



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

TESIS DOCTORAL

**Metodología adaptativa
para procesos colaborativos de evaluación
en entornos de aprendizaje**

Autora: Raquel M. Crespo García
Ingeniera de Telecomunicación

Director: Abelardo Pardo Sánchez.
Doctor en Informática

Marzo 2007

Tribunal nombrado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Carlos III de Madrid, el día ___ de _____ de _____.

Presidente

Vocal

Vocal

Vocal

Secretario

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ___ de _____ de _____ en _____.

Calificación:

EL PRESIDENTE

EL SECRETARIO

LOS VOCALES

A Juan Pedro.
A mis padres y a mi hermano.

*The only way to discover the limits of the possible
is to go beyond them into the impossible.*

Arthur C. Clarke

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, a mi director Abelardo Pardo, por su apoyo y consejos durante la realización de este trabajo y por sus ánimos en los momentos en que más los necesité.

A los coordinadores de las asignaturas en que se han desarrollado las experiencias prácticas de esta tesis, José Jesús y Julio, por su disposición a innovar y aplicar cualquier iniciativa que pudiera ayudar a los alumnos. A los profesores de dichas asignaturas, Paco y Jorge, por su inestimable ayuda y desinteresada colaboración. Y, por supuesto, a los alumnos que han participado, por el tiempo y el interés dedicados.

A todos los compañeros del Departamento de Ingeniería Telemática. A Carlos Delgado Kloos por darme la oportunidad de formar parte de él. A mis compañeros de investigación del grupo Gradient y a los de docencia, por ese empeño infatigable en superar las dificultades y mejorar día a día. A Jesús, por ser el compañero de despacho ideal y mucho más que eso. A Mari Carmen, por recordarme que hay que centrarse en lo importante y no en lo urgente. Y a todos los que me dejo sin nombrar, aunque no me olvido de vosotros.

A mis compañeros del GSI y de Daedalus, por compartir mucho más que un trabajo. Aunque hace tiempo que nuestros caminos se separaron, espero que nunca estemos lejos del todo.

A mi familia, de manera especial a mis padres, Vicente e Irene, por darme todo el cariño que una hija pudiera desear, porque si he llegado hasta aquí ha sido gracias a ellos, y por enseñarme desde siempre que la educación es el mayor tesoro de una persona. A mi hermano David, que siempre tiene otro punto de vista, por los buenos y malos ratos. Y a todos, por aguantarnos estoicamente al portátil y a mí en tantas ocasiones.

A mis amigos, por serlo de verdad y estar siempre ahí pese a distancias y ausencias. A Julio, por aguantarme hasta en la sopa, sobre todo en la sopa. Al resto de la panda de los J, Josemi, JJ, Patricia, Luis y Laura, por tantas risas, acordes, orejas y buenos ratos, que sigamos explorando grutas juntos. A José Antonio, Pit, David y Eva, Pablo y Cecilia, Pedro y Kathi, Juan Luis y Ana, por compartir ilusiones e ideales, por aventuras y encuentros inolvidables, por convertirse en mis amigos de toda la vida aunque nos encontráramos más tarde. A Ana, por estar ahí desde siempre. Y a los amigos de Guadalajara, Rubén, César, Guada y Natalia, por adoptarme sin reservas, por perdonarme que os robara a Juan Pedro y hacerme sentir una más del grupo como si nos conociéramos de toda la vida.

Por último, a Juan Pedro por su apoyo incondicional, su paciencia sin límites y su comprensión infinita, por creer en mí y darme la confianza que yo nunca he tenido en lo que hago, por hacer que la vida merezca la pena y, sobre todo, por todas las horas que esta tesis nos ha robado. Espero poder compensártelas a partir de ahora.

Soy afortunada de contar con vosotros. Gracias a todos.

Resumen

La evolución de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones está suscitando profundos cambios sociales. Esta transformación plantea nuevos retos educativos derivados de la necesidad de preparar a los individuos para la Sociedad del Conocimiento.

Paralelamente, las tendencias pedagógicas actuales ponen el énfasis en tres factores clave en el proceso de aprendizaje. Por una parte, el rol activo desempeñado por el estudiante, protagonista de su propio desarrollo formativo. Por otra, la realidad social del aprendizaje, insistiendo en la importancia de las interacciones entre los alumnos y el aprendizaje colaborativo. Finalmente, la necesidad de adaptación al alumno, en respuesta a los modelos de aprendizaje cognitivo.

En sintonía con los nuevos modelos pedagógicos, la introducción de las nuevas tecnologías en el ámbito educativo ha abierto múltiples posibilidades, facilitando el seguimiento del alumno, el acceso personalizado a los contenidos y la interacción entre los diferentes actores del proceso, dando pie a escenarios participativos en los que prima la iniciativa del alumno.

En consecuencia, en las últimas décadas la actividad educativa se está viendo sometida a profundos cambios, reflejo de la transformación experimentada por la sociedad, la evolución de las teorías pedagógicas en que se sustenta y la introducción de nuevas tecnologías. Parte consustancial al proceso educativo, la evaluación no escapa a esta evolución. Así, asistimos a un auge de modelos de evaluación *alternativos*, caracterizados por la participación activa de los alumnos y un propósito marcadamente formativo.

Entre ellos, la metodología de revisión entre iguales se encuadra perfectamente en las tendencias pedagógicas actuales, asumiendo el alumno la responsabilidad de evaluador y facilitando el intercambio de conocimiento mediante la colaboración entre autores y revisores. No obstante, la aplicación de la revisión entre iguales en entornos educativos generalmente obedece a un planteamiento indiferenciado, ignorando las pautas de adaptación al alumno derivadas de las

propias corrientes pedagógicas en que se sustenta.

Esta tesis aborda el problema de integrar la adaptación al alumno, clave en la pedagogía actual, en la metodología de evaluación entre iguales.

A raíz del estudio de los modelos pedagógicos, se plantea la influencia del perfil cognitivo del alumno en los resultados del proceso de revisión entre iguales y la consecuente conveniencia de adaptar dicho proceso en función de las características de los estudiantes. El análisis de las actividades y mecanismos de aprendizaje asociados a la evaluación entre iguales conduce a identificar el proceso de asignación de revisores como el mecanismo de actuación característico de la metodología en el que integrar la adaptación al alumno.

Partiendo de dichas premisas, se ha propuesto un modelo genérico, flexible, expresivo e intuitivo, para especificar los criterios de asignación de revisores. Para facilitar la adopción de la metodología, se ha desarrollado un sistema de asignación de revisores que, mediante el modelo anterior, permite introducir en dicho proceso de selección criterios pedagógicos y de adaptación adicionales a los requisitos intrínsecos de validez del proceso.

Finalmente, la evaluación empírica ha sido objetivo prioritario de esta tesis, lo que ha llevado a la aplicación de la metodología propuesta en entornos educativos reales. Su uso en dos asignaturas de muy diferente naturaleza ha permitido contrastar y refinar las ideas teóricas desarrolladas, y evaluar la validez, generalidad y usabilidad tanto del modelo teórico propuesto como del sistema implementado. Los resultados experimentales validan las hipótesis en que se fundamenta esta tesis, confirmando la influencia del nivel de desempeño del alumno y el efecto del criterio de asignación de revisores en los resultados del proceso.

Abstract

The evolution of the Information and Communication Technologies is causing deep social changes. This transformation raises new educational challenges, stemmed from the necessity to train the individuals for the Knowledge Society.

In parallel, current pedagogical trends emphasize three key factors in the learning process. On one hand, the active role played by the student, main character of his/her own formative development. On the other hand, the social nature of learning, insisting on the importance of interactions among the students and collaborative learning. Finally, the need to adapt the learning process according to student's characteristics, in response to cognitive learning models.

According to novel pedagogical models, the introduction of Information and Communication Technologies in the educational context gives new chances, making easy student monitoring, access to personalized contents and interaction among the different actors involved in the process, generating scenarios in which students' active participation and initiative prevail.

Therefore, during the last decades the educational activity has been experimenting deep changes, reflection of the social transformation, the evolution of the pedagogical theories on which it is based and the introduction of new technologies. Evaluation, as an inherent part of the educational process, is also affected by this evolution. Thus, a peak of alternative evaluation models, characterized by active participation of the students and a strong formative propose, can be witnessed.

Among them, peer review fits naturally in the current pedagogical framework, making the students take the responsibility of evaluation and facilitating knowledge exchange by means of collaboration between authors and reviewers. Nevertheless, application of peer review in educational environments usually follows a non-differentiating approach, ignoring the guidelines about adaptation promoted by the very same schools of pedagogy on which it is based.

This thesis tackles the problem of integrating adaptation to the student, essential for current pedagogy, in the educational peer review methodology.

As a result of the study of pedagogical models, it is proposed the influence of the student's cognitive profile in the results of the peer review process, and the consequent need for adapting such process depending on students' characteristics. The analysis of the activities and learning mechanisms related to peer evaluation leads to identify the author-reviewer matching process as the characteristic mechanism of the methodology in which the adaptation should be integrated.

Based on the previous premises, a generic, flexible, expressive and intuitive model has been proposed for specifying the criteria to be applied for matching the reviewers. In order to facilitate the adoption of the proposed methodology, a reviewers assignment system has been developed which, based on the latter model, allows to consider pedagogical and adaptive criteria in the process of reviewers selection, in addition to the validity requirements intrinsic to the process.

Finally, a main objective of this thesis has been its empiric evaluation, which has led to the application of the proposed methodology to real educational environments. Its application to two completely different subjects has allowed to contrast and adjust the theoretical ideas proposed, and to evaluate the validity, capacity for generalization of the proposed model as well as the developed system. Experimental results validate the hypotheses on which this thesis is based, confirming the influence of the student's level of knowledge and the effect of the reviewers matching criteria in the process results.

Índice

Resumen	i
Abstract	iii
1 Introducción y objetivos	1
1.1 Introducción y motivación	1
1.2 Escenarios	4
1.2.1 Escenario I: dispersión temática	4
1.2.2 Escenario II: dispersión de nivel	5
1.2.3 Escenario III: dispersión de intereses	6
1.3 Planteamiento del problema	6
1.4 Objetivos	9
1.5 Estructura del documento	10
2 Estado del arte	13
2.1 Fundamentos tecnológicos	14
2.1.1 El papel de las TIC en la enseñanza	14
2.1.2 Minería de datos en enseñanza	17
2.2 Fundamentos pedagógicos	20
2.2.1 Aprendizaje condicionado	22
2.2.2 Aprendizaje por observación	23
2.2.3 Aprendizaje cognitivo	25
2.3 Aprendizaje colaborativo	27

2.3.1	Aprendizaje colaborativo mediado por el ordenador . . .	29
2.3.2	Aprendizaje asistido entre compañeros	29
2.4	Revisión entre iguales	30
2.4.1	Metodología	30
2.4.2	Dimensiones	34
2.5	Revisión entre iguales en el ámbito educativo	35
2.5.1	Caracterización	35
2.5.2	La revisión entre iguales como proceso de evaluación . .	37
2.5.3	La revisión entre iguales como proceso educativo	39
2.5.4	La revisión entre iguales como proceso institucional . . .	46
2.5.5	Experiencias de aplicación	46
2.5.6	Sistemas de soporte	48
2.6	Conclusiones	56
3	Metodología de revisión entre iguales adaptativa	59
3.1	La adaptación como respuesta a la diversidad	59
3.2	Análisis de la adaptabilidad del proceso de revisión entre iguales	60
3.2.1	Fase de desarrollo: resolución del problema y/o desarro- llo del proyecto planteado	61
3.2.2	Fase de revisión: análisis crítico y evaluación de solucio- nes propuestas por compañeros	61
3.2.3	Fase de evaluación de revisiones: análisis crítico y eva- luación de revisiones realizadas por otros compañeros . .	62
3.2.4	Conclusiones	63
3.3	Consideraciones pedagógicas	64
3.4	Integración de mecanismos de adaptación en la metodología de revisión entre iguales	66
3.5	Modelo del alumno	67
3.5.1	Definición del modelo	68
3.5.2	Captura de datos	71
3.5.3	Conclusiones	75

3.6	Modelo de especificación de criterios de asignación	77
3.6.1	Requisitos	77
3.6.2	Taxonomía de criterios de asignación de revisores	77
3.6.3	Definición del modelo	79
3.6.4	Aproximación borrosa al problema de clasificación	84
3.6.5	Ampliación del modelo: consideración de casos basados en la relación entre autor y revisor	87
3.7	Control de calidad	88
4	Sistema de soporte para la metodología de revisión entre igua- les adaptativa	93
4.1	Arquitectura	94
4.2	Algoritmo de optimización	95
4.2.1	Población	96
4.2.2	Función de ajuste (<i>fitness function</i>)	97
4.2.3	Operadores genéticos	98
4.2.4	Redefinición de cromosomas y operadores	99
4.3	Conclusiones	100
5	Marco experimental	103
5.1	Caso de estudio I: Inteligencia en Redes de Comunicaciones . . .	103
5.1.1	Contexto	104
5.1.2	Motivación	105
5.1.3	Objetivos	108
5.1.4	Planteamiento y desarrollo	108
5.1.5	Resultados	110
5.1.6	Problemas y dificultades encontrados	117
5.1.7	Opiniones de los alumnos	117
5.1.8	Conclusiones	119
5.2	Caso de estudio II: Organización de Contenidos Audiovisuales .	119
5.2.1	Contexto	120

5.2.2	Motivación	121
5.2.3	Objetivos de la experiencia	125
5.2.4	Planteamiento	126
5.2.5	Metodología	127
5.2.6	Hipótesis de partida	133
5.2.7	Modelo de datos	134
5.2.8	Edición 2003-2004	135
5.2.9	Edición 2004-2005	145
5.2.10	Problemas encontrados	162
5.2.11	Resultados comparativos	164
5.2.12	Conclusiones	167
6	Conclusiones	169
6.1	Conclusiones	169
6.2	Contribuciones de esta tesis	171
6.2.1	Estudio del estado del arte	171
6.2.2	Análisis de las posibilidades de adaptación	172
6.2.3	Evaluación de la influencia del nivel del alumno	172
6.2.4	Propuesta de un modelo de especificación de criterios de asignación de revisores	173
6.2.5	Desarrollo de un algoritmo de asignación de revisores	173
6.2.6	Evaluación experimental de la metodología propuesta	174
6.2.7	Bases para un estudio en profundidad de factores adicio- nales con influencia en el proceso	174
6.3	Revisión de los escenarios propuestos	175
6.4	Vías de investigación futuras	176
6.4.1	Modelo del alumno	176
6.4.2	Variables categóricas	177
6.4.3	Integración en sistemas de gestión de revisión entre igua- les y plataformas de e-learning	177

6.4.4	Ampliación del estudio empírico	177
6.4.5	Extensión a otras metodologías educativas y contextos .	178
	Referencias	179
	A Planes de estudios	193

Índice de Tablas

2.1	Principales modelos de aprendizaje (s. XX).	22
2.2	Roles en la metodología de revisión entre iguales: ejemplos en diferentes contextos de aplicación.	31
2.3	Tipología de la revisión entre iguales en educación superior. . .	36
5.1	Caso de estudio I: Inteligencia en Redes de Comunicaciones. . .	104
5.2	Temario de la asignatura.	106
5.3	Cuestionario de revisión.	111
5.4	Caso de estudio I: Proyectos desarrollados.	112
5.5	Caso de estudio II: Organización de Contenidos Audiovisuales. .	120
5.6	Resumen del cuestionario de revisión de aplicaciones.	130
5.7	Resumen del cuestionario de evaluación de revisiones recibidas. .	132
5.8	OCA 2003-2004: criterios de asignación de revisores.	138
5.9	OCA 2003-2004: participación.	138
5.10	OCA 2003-2004: distribución de alumnos en función del nº de prácticas en que participaron	139
5.11	OCA 2004-2005: participación.	153
5.12	OCA 2004-2005: efecto en los revisores.	159
5.13	OCA 2004-2005: efecto en los autores.	161
A.1	Plan de estudios - Ingeniería de Telecomunicación.	198
A.2	Plan de estudios - Ingeniería Técnica de Telecomunicación (especialidad Sonido e Imagen).	200

Índice de Figuras

1.1	Modelo de interacción de Moore, ampliado por Anderson y Garrison.	8
2.1	Proceso de revisión.	33
2.2	Proceso de revisión (modelo en espiral).	33
2.3	Taxonomía de Bloom para el dominio cognitivo.	42
3.1	Núcleo de conocimiento y zona de desarrollo próximo.	65
3.2	Adaptación del proceso de revisión entre iguales: actuación sobre la asignación de revisores.	67
3.3	Distribución de calificaciones de los estudiantes (rombos) y prototipos (triángulos) [izda.]. Prototipos de parejas autor-revisor [dcha.].	82
3.4	Distribución del estilo de aprendizaje de los estudiantes (rombos) y prototipos (triángulos) [izda.]. Prototipos de parejas autor-revisor [dcha.].	83
3.5	Distribución de calificaciones.	85
3.6	Conjunto tradicional (no borroso).	86
3.7	Conjunto borroso.	86
4.1	Arquitectura lógica del sistema de asignación de revisores.	94
4.2	Mapa resultante para el ejemplo 3.6.3.	101
5.1	Evolución del número de alumnos matriculados en IRC.	105
5.2	Comparativa del número medio de respuestas correctas entre autores y no autores.	113

5.3	Comparativa del número medio de respuestas correctas entre autores y revisores.	114
5.4	Distribución de respuestas de autores	115
5.5	Distribución de respuestas de revisores	115
5.6	Tiempos de revisión.	116
5.7	Evolución de la asistencia a clase de prácticas en Laboratorio de Programación.	123
5.8	OCA 2003-2004: cuestionario de revisión de aplicaciones.	129
5.9	OCA 2003-2004: cuestionario de evaluación de revisiones.	131
5.10	OCA 2003-2004: distribución de notas previas.	136
5.11	OCA 2003-2004: participación.	139
5.12	OCA 2003-2004: distribución de parejas autor-revisor.	141
5.13	OCA 2003-2004: aprendizaje subjetivo.	144
5.14	OCA 2003-2004: aprendizaje por revisión, relación entre el nivel de la práctica evaluada y el aprendizaje referido por el revisor.	145
5.15	OCA 2004-2005: listado de juegos seleccionados.	147
5.16	OCA 2004-2005: mapa de asignaciones (ciclo I, grupo I).	150
5.17	OCA 2004-2005: mapa de asignaciones (ciclo I, grupo II).	151
5.18	OCA 2004-2005: distribución de las calificaciones de la 2ª entrega.	152
5.19	OCA 2004-2005: participación.	154
5.20	OCA 2004-2005: distribución de asignaciones según la diferencia de nivel entre revisor y entrega (ciclo I, grupo II).	156
5.21	OCA 2004-2005: distribución de asignaciones según la diferencia de nivel entre las entregas asignadas a un mismo revisor (ciclo I, grupo I).	156
5.22	OCA 2004-2005: evolución del nivel medio de las entregas en función del criterio de asignación de revisores.	157
5.23	OCA 2004-2005: evolución de la diferencia del nivel medio de las entregas respecto a la media global según el criterio de asignación de revisores.	158
5.24	OCA 2004-2005: evolución del nivel medio de las entregas en función del criterio de asignación de revisores.	159

5.25	OCA 2004-2005: efecto de las revisiones sobre los revisores con perfil de desempeño bajo, en función del nivel de la entrega evaluada.	160
5.26	OCA 2004-2005: efecto de las revisiones sobre los autores con perfil de desempeño bajo, en función del nivel del revisor.	161
5.27	OCA: comparativa de la calificación media.	165
5.28	OCA: comparativa de la distribución de calificaciones de prácticas.	166
5.29	OCA: comparativa de la distribución de calificaciones de prácticas (detalle).	166

Capítulo 1

Introducción y objetivos

Aprendiendo enseñarás, enseñando aprenderás.

Proverbio latino

Learning is not compulsory... neither is survival.

W. Edwards Deming

En este capítulo se realiza una introducción a esta tesis doctoral. En primer lugar, se plantean las motivaciones que han dado lugar a la elaboración de la tesis, presentándose seguidamente, una serie de escenarios de aplicación. A continuación, se enumeran de forma concisa los objetivos de la misma. Posteriormente, se describe el plan de trabajo planteado para su elaboración. A continuación, se describe brevemente la evolución seguida para el desarrollo de la tesis. Finalmente, se describe la organización del resto de capítulos de este documento.

1.1 Introducción y motivación

La evolución de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) está suscitando profundos cambios sociales. Esta transformación plantea nuevos retos educativos en la necesidad de preparar a los individuos para la Sociedad del Conocimiento. Las necesidades formativas cambian y se hace

énfasis en habilidades cognitivas como la discriminación de información; habilidades sociales, como capacidades comunicativas, de liderazgo, de trabajo en equipo, etc.; y habilidades afectivas como la motivación y la responsabilidad. También cambia la organización de las actividades de aprendizaje, que experimentan un fenómeno de distribución tanto en el tiempo como en el espacio. En el tiempo, el aprendizaje se alarga hasta abarcar toda la vida del individuo *-lifelong learning-*. En el espacio, cobra auge el aprendizaje a distancia y virtual, en respuesta a la globalización y a la necesidad de disponibilidad horaria y geográfica de los alumnos que implica el que el aprendizaje se simultanee con la vida laboral.

Todo ello hace que el concepto de aprendizaje haya roto los límites espaciales, temporales y de contenido tradicionales. La enseñanza refleja, lógicamente, este cambio y, poco a poco, los cambios tecnológicos se ven reflejados en la aplicación de nuevas metodologías educativas o la facilitación de otras. Esta evolución se plasma en las tendencias principales que presenta la pedagogía actual:

- Incorporación de nuevas tecnologías en las aulas: ordenadores, Internet, conexiones wireless, universidades virtuales... cada día son más comunes en nuestro sistema educativo.
- Involucración del alumno, considerado protagonista activo del proceso de aprendizaje en vez de receptor pasivo de la información. Factores afectivos como la motivación están detrás de esta tendencia, así como la preparación del alumno para una vida laboral en la que la autonomía y la capacidad de decisión son fundamentales.
- Énfasis en la interacción entre los actores involucrados en el proceso de aprendizaje, especialmente entre los alumnos. El auge de las metodologías de aprendizaje colaborativo y cooperativo responde así a los nuevos modelos pedagógicos, que subrayan la importancia de la interacción con otros individuos en el proceso de aprendizaje, y a la necesidad de formar a los alumnos en metodologías de trabajo colaborativo demandadas por la sociedad actual.
- Personalización del proceso de aprendizaje, adaptándolo a las características, necesidades, requisitos e intereses de cada alumno, en respuesta a los modelos de aprendizaje cognitivo.

Parte esencial e intrínseca del proceso educativo, la evaluación no escapa a esta transformación. *Cómo evaluamos determina qué y cómo se aprende* [47].

En otras palabras, la evaluación se encuentra en el núcleo mismo del proceso de enseñanza y aprendizaje, cumple una importante función orientadora en dicho proceso y, por tanto, cualquier proyecto de mejora de la calidad de la enseñanza tiene que plantearse seriamente la cuestión de cómo evaluar el aprendizaje [146].

Paulatinamente, está cambiando el concepto de evaluación, tradicionalmente considerada en su faceta de evaluación de resultados, orientada a una concepción de “certificación de calidad”, corroboración de haber superado el alumno los objetivos didácticos previstos. Esta concepción tradicional de la evaluación condiciona a los alumnos y marca profundamente todo el proceso de aprendizaje, llevando a algunos autores a afirmar que en el proceso educativo “*conseguimos lo que evaluamos*” [107].

Aunque el sistema educativo actual mantiene esta función de la evaluación, introduce también una concepción de la misma más orientada al servicio del aprendizaje, la evaluación como diagnóstico de la situación con vistas a orientar la acción educativa.

La evaluación formativa intenta mejorar el aprendizaje mientras está ocurriendo, para maximizar el éxito, en vez de simplemente determinar el éxito o el fracaso sólo después del evento. El objetivo es ayudar a los alumnos a planificar su propio aprendizaje, identificar sus propios puntos fuertes y debilidades, apuntar áreas de corrección y desarrollar habilidades meta-cognitivas, personales y profesionales.

Esta concepción de la evaluación al servicio de la enseñanza, en definitiva, como instrumento de aprendizaje, unido al énfasis de las modernas teorías pedagógicas en fomentar la responsabilidad del alumno en el proceso de aprendizaje, lleva a una variación en el rol del alumno también en el proceso de evaluación. De mero sujeto pasivo de la evaluación, a agente activo, co-partícipe y responsable de la misma. En esta línea se sitúan la mayoría de iniciativas de auto-evaluación y evaluación entre iguales en el ámbito educativo.

Este contexto de transición conforma el marco en que se sitúa esta tesis, cuyo objetivo es aunar las tendencias pedagógicas clave (nuevas tecnologías, pro-actividad, interacción, personalización) en el proceso de evaluación, en un intento de mejorar y facilitar el proceso de aprendizaje. Dada la distancia que habitualmente se observa entre modelos teóricos y aplicaciones reales, esta tesis plantea como eje fundamental el énfasis en la validación empírica y en la propuesta de soluciones útiles y aplicables en escenarios educativos reales. Las técnicas de evaluación colaborativa involucran activamente al alumno en el proceso de evaluación, a la vez que fomentan el intercambio de conocimiento y la interacción con otros compañeros de aprendizaje. Con el concurso de las

nuevas tecnologías como facilitador, esta tesis pretende integrar, además, la personalización en dicho proceso, de acuerdo con los principios de adaptación que imbuyen la pedagogía actual.

1.2 Escenarios

En este apartado se plantean varios escenarios representativos de diversas situaciones educativas y se analiza la adecuación de la metodología de revisión entre iguales para cada uno de ellos.

1.2.1 Escenario I: dispersión temática

Julio imparte un curso sobre inteligencia artificial (IA). Se pretende que al final del curso el alumno conozca los fundamentos básicos de la IA y las áreas donde estas tecnologías pueden proporcionar avances más significativos.

Al final de la asignatura, los alumnos tienen que elaborar una práctica final para demostrar que son capaces de diseñar e implementar un sistema informático dotado de inteligencia que resuelva aspectos concretos de ingeniería. Esta práctica, escogida entre una lista de propuestas, se desarrolla en grupo y es obligatoria.

Pese al éxito y buen funcionamiento de la asignatura, existen ciertas inquietudes y posibilidades de mejora. Un punto particularmente crítico es evitar una posible visión sesgada del curso, ya que el temario es interesante, pero compartimentado, cubriendo contenidos muy diversificados. La práctica, pese a sus múltiples beneficios, agudiza este problema puesto que profundiza en un único aspecto de la asignatura.

A esto se añade la necesidad de desarrollar habilidades transversales fundamentales para un profesional de las tecnologías de la información, como redacción, exposición pública y evaluación de un proyecto.

El escenario expuesto configura un entorno ideal para la metodología de evaluación entre iguales. Fomenta el desarrollo de un trabajo en profundidad, con los beneficios que conlleva, facilitando además un estudio abordable de otros temas de la asignatura. Siendo la familiarización de los alumnos con otros temas diferentes de su propio trabajo el objetivo principal de la experiencia, es fundamental tenerlo en consideración en el proceso de asignación de revisores. Se trata de un escenario en el que la adaptabilidad del proceso de evaluación entre iguales aparece intrínsecamente ligada a sus objetivos didácticos.

1.2.2 Escenario II: dispersión de nivel

Inés estudia un curso de diseño de páginas web a distancia. No ha experimentado dificultades para entender los conceptos teóricos y ha examinado ya el material disponible sobre etiquetas HTML. Sin embargo, a la hora de diseñar un sitio web no es consciente de todas las posibilidades ni tiene aún la capacidad de llevarlas a cabo. Como es un curso a distancia, resulta complicado observar la evolución de sus compañeros y no tiene claro si su ritmo y nivel son adecuados.

Conscientes de la necesidad de referencias, más acuciante en un entorno de enseñanza a distancia en el que los alumnos no interactúan de forma presencial, los responsables del curso solían fomentar el acceso de los alumnos a los trabajos de sus compañeros. Asimismo, respondiendo a la necesidad de realimentación, se enviaban comentarios personalizados sobre el sitio web diseñado a medida que éste evolucionaba.

Sin embargo, debido a problemas de plagio detectados en ediciones anteriores, se ha eliminado el acceso de los alumnos a los proyectos de sus compañeros. Tampoco es sostenible el envío de comentarios personalizados por parte de la plantilla docente debido al notable aumento de alumnos. Como solución, este año está previsto que cada alumno del curso revise el sitio web de uno de sus compañeros.

Sin embargo, el sitio adjudicado a Inés para revisar resulta excesivamente complejo para ella. Su autor, Juan, ha aplicado extensamente sus conocimientos de Javascript para incorporar dinamismo a los contenidos de su web. Inés no está familiarizada con este lenguaje, de modo que le resulta muy atractivo el sitio recibido pero supera sus conocimientos para comprender la implementación. No puede enviar a Juan comentarios de interés, salvo relativos a cuestiones estéticas. Además, al no disponer de acceso a los sitios web de otros compañeros, se siente frustrada y desanimada al constatar que su nivel es muy inferior al de Juan.

En este caso, la revisión entre iguales no sólo no culmina sus objetivos pedagógicos sino que resulta incluso contraproducente. Juan no recibe comentarios útiles e Inés no extrae tampoco ningún beneficio por la excesiva complejidad del trabajo a evaluar. Peor aún, como resultado, está desanimada y se está planteando abandonar el curso pensando que no es capaz de seguir el ritmo.

1.2.3 Escenario III: dispersión de intereses

Ana está siguiendo un curso de posgrado sobre cooperación al desarrollo. Uno de los atractivos del curso es su carácter interdisciplinar, así como la heterogeneidad de su audiencia, con alumnos procedentes de perfiles técnicos, bio-sanitarios, legales, etc.

Cada alumno desarrolla un proyecto, que expone brevemente al final del curso. Siguiendo sugerencias de alumnos de ediciones previas, los alumnos se apoyan entre sí durante el desarrollo del proyecto. Cada uno revisa el trabajo de otro, de modo que no sólo puede ofrecerle comentarios de utilidad, sino también puede efectuar comparaciones con su propio proyecto, incorporar ideas y familiarizarse en profundidad con otro proyecto además del propio.

Esta metodología ha ofrecido mejores resultados cuando la asignación de revisiones se realizaba de acuerdo a los intereses y perfiles de los alumnos. Al tratarse de estudios exhaustivos, los alumnos aplican su bagaje de conocimientos previos y tienden a tratar temáticas acordes con su formación. Pese a su dimensión interdisciplinar, la revisión de estudios orientados a disciplinas ajenas al alumno resultaba desmotivadora y poco provechosa. Por el contrario, la revisión de proyectos de temática relacionada con el propio resultaba en una fructífera simbiosis con el autor, siendo muchos de los problemas y casuísticas encontrados de aplicación a la propia experiencia.

La adaptación del proceso de revisión de acuerdo al perfil e intereses de los alumnos implicados constituye en escenarios como el propuesto un valor añadido a la experiencia.

Todos los escenarios expuestos comparten su adecuación para la aplicación de la metodología de revisión entre iguales. Comparten asimismo la conveniencia de adaptar el proceso en función del perfil de los alumnos involucrados para obtener los beneficios didácticos previstos. En todos los casos, la asignación de revisores influye en el resultado final del proceso.

1.3 Planteamiento del problema

La introducción de las nuevas tecnologías en el ámbito educativo ha abierto múltiples posibilidades en sintonía con los nuevos modelos pedagógicos. La irrupción en las aulas de redes de ordenadores y muy especialmente de dispositivos móviles interconectados ha abierto la puerta a escenarios participativos.

Asimismo, la interacción de los estudiantes con los sistemas y plataformas de soporte, facilita el acceso a los materiales por parte de los alumnos, así como el seguimiento de su actividad y evolución y, con ello, la adaptación del proceso educativo a sus necesidades.

Actualmente, tanto las teorías pedagógicas como la evolución de las necesidades formativas tienden a una concepción del proceso de aprendizaje centrada en el alumno como protagonista activo. Parte consustancial del proceso educativo, la evaluación no escapa a esta evolución. En consecuencia, asistimos a un auge de procesos de evaluación *alternativos*, auto-evaluación y revisión entre iguales principalmente, caracterizados por la participación activa de los alumnos y un propósito marcadamente formativo. Por otra parte, los nuevos modelos de aprendizaje enfatizan también la necesidad de adaptación al alumno.

Esta tesis integra ambas tendencias, adaptación y participación activa, en el proceso de evaluación. El marco de la tesis es la revisión entre iguales, metodología de evaluación que incorpora la participación activa del estudiante en el proceso de evaluación. El objetivo es analizar sus posibilidades de personalización, adaptación al alumno, y definir un modelo del proceso que las incluya, así como la tecnología necesaria para su implantación en las aulas.

Para ello, se parte como base del modelo de interacción propuesto por Moore [87] y posteriormente ampliado por Anderson y Garrison [4, 5]. El modelo de interacción ideado por Moore, uno de los más aceptados, modela el proceso educativo como un sistema en el que destaca tres tipos de interacciones fundamentales: estudiante-contenido, estudiante-profesor y estudiante-estudiante. Posteriormente, Anderson y Garrison ampliaron el modelo para reflejar también las interacciones profesor-profesor, profesor-contenido y contenido-contenido, tal como se representa en la figura 1.1.

El modelo de Moore adolece de la falta de consideración del papel de la tecnología en el proceso. En la actualidad, la tecnología ha irrumpido con fuerza en el escenario educativo abarcando todas las actividades relacionadas con el mismo, incluyendo las comunicaciones (tanto entre alumnos como entre alumnos y profesores), el acceso a los contenidos o la gestión administrativa, por citar algunos ejemplos significativos. El substrato tecnológico en que se desenvuelve el proceso de aprendizaje influye a menudo en las relaciones que se establecen entre los distintos actores del mismo y, por tanto, debería incorporarse en el modelo como marco activo.

Desde la perspectiva del estudiante existen, pues, tres líneas de interacción susceptibles de ser adaptadas:

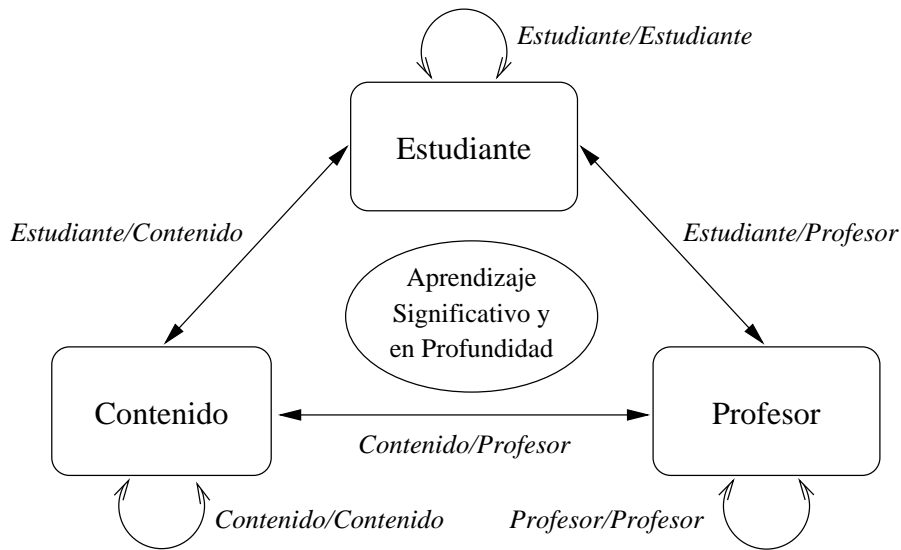


Figura 1.1: Modelo de interacción de Moore, ampliado por Anderson y Garrison.

- **Interacción profesor-alumno:** el profesor adapta de forma natural su interacción con el alumno, adaptándose a las necesidades de éste, tal como recogen modelos como las teorías conversacionales de Pask [96] y Laurillard [76].
- **Interacción alumno-contenidos:** ámbito tradicional de los sistemas de tutoría inteligente, la adaptación de contenidos contempla la selección de materiales y ejercicios en función del perfil del alumno.
- **Interacción estudiante-estudiante:** la adaptación sobre esta línea se puede realizar en la fase previa, actuando sobre el establecimiento de relaciones entre los alumnos (potenciando o atenuando determinadas relaciones) -estructural- o durante su desarrollo -regulativa- .

Esta tesis se centra en la adaptación de las interacciones que se producen en el proceso de revisión entre iguales, concretamente en las relaciones que se establecen entre autores y revisores, y las posibilidades que ofrece la tecnología en este sentido. ¿Es indiferente para un alumno revisar un trabajo u otro? ¿Cualquier alumno puede revisar de forma equivalente cualquier trabajo? La respuesta a priori parece ser negativa. Por ejemplo, parece evidente que el nivel de un trabajo influirá en lo que el alumno revisor pueda aprender de él; al igual que los conocimientos del revisor influirán en la información que podrá facilitar al autor del trabajo que evalúe.

En el caso de la revisión entre iguales, la adaptación de esta línea de interacción implica actuar sobre el proceso de asignación de revisores, que se realizaría de acuerdo a criterios configurables basados en el perfil de los alumnos y las características del trabajo a evaluar. El papel de la tecnología consiste en liberar al profesor de tareas rutinarias, facilitando la gestión del proceso y, muy especialmente, la aplicación de criterios didácticos en el proceso de asignación de revisores.

Esta tesis se enmarca, pues, en la adaptación de la interacción estudiante-estudiante, aunque implícitamente abarca también la adaptación de contenidos, puesto que guiar la selección de un determinado revisor (interacción estudiante-estudiante) implica que éste evalúe un determinado trabajo (interacción estudiante-contenido).

Tal como se recoge en la revisión del estado del arte, la probable influencia del criterio de asignación de revisores en el proceso se deduce del modelo de desarrollo cognitivo propuesto por el constructivismo social y ha sido señalada por diversos autores, así como la ciertamente extraña ausencia de estudios al respecto. El objetivo de esta tesis es confirmar la posible influencia de estos factores en el proceso y proporcionar los mecanismos necesarios para adaptar el proceso en función del perfil del alumno.

1.4 Objetivos

- Estudio del estado del arte y trabajos relacionados más relevantes en el ámbito de la revisión entre iguales, tanto desde la perspectiva pedagógica como tecnológica.
 - Estudio de las corrientes pedagógicas vigentes, con especial énfasis en aquéllas por las que se justifica el uso docente de la metodología de revisión entre iguales.
 - Revisión de los fundamentos de la metodología de revisión entre iguales y su aplicación en el ámbito educativo.
 - Revisión de sistemas y tecnologías de soporte para revisión entre iguales en el contexto educativo.
- Análisis de la posibilidad de personalización de la metodología de revisión entre iguales en función del perfil de los agentes involucrados en el proceso.

- Análisis de factores de influencia en los resultados del proceso de revisión entre iguales. Concretamente, análisis de la influencia del perfil cognitivo del alumno.
 - Análisis de los mecanismos de actuación inherentes al proceso susceptibles de incorporar la adaptación al alumno.
 - Análisis de criterios de selección de revisores y su posible efecto en los resultados del proceso de revisión.
-
- Definición de una metodología de revisión entre iguales adaptativa, que incorpore la posibilidad de personalizar el proceso en función del perfil de los actores involucrados en el mismo.
 - Construcción de un modelo de usuario que posibilite la personalización del proceso de revisión entre iguales.
 - Definición de un mecanismo de asignación de revisores genérico, que posibilite la implementación de diferentes criterios de selección, como medio para la personalización del proceso de revisión entre iguales en función del perfil de los agentes (autores y revisores) involucrados.
 - Desarrollo de un sistema capaz de realizar la asignación de revisores de acuerdo con unos criterios preestablecidos, basados en el perfil de los actores involucrados.
 - Estudio de aplicabilidad de la metodología desarrollada: análisis de resultados, dificultades y posibles soluciones.

1.5 Estructura del documento

En el capítulo 2 se presenta un estudio del estado del arte en el ámbito de las tecnologías más relacionadas con esta tesis, así como de los fundamentos pedagógicos de la misma. En primer lugar, se describe el contexto tecnológico general, con una breve panorámica de la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el ámbito educativo, así como una introducción a la minería de datos y su posible utilidad en enseñanza. A continuación se realiza un repaso de las principales corrientes pedagógicas vigentes. Finalmente, se analizan las metodologías educativas más directamente relacionadas con esta tesis, así como los sistemas de soporte desarrollados para las mismas: en primer lugar el aprendizaje colaborativo, como marco genérico; y

por último la revisión entre iguales, como metodología concreta en la que se centra este trabajo.

En el capítulo 3 se presentan las ideas fundamentales que han servido como inspiración para este trabajo y se desarrolla la metodología de revisión entre iguales adaptativa, núcleo de esta tesis, que introduce la adaptación al alumno en la metodología de revisión entre iguales basándose en la actuación sobre el proceso de asignación de revisores.

En el capítulo 4 se describe el sistema desarrollado para dar soporte a la metodología propuesta. Se discute la arquitectura del sistema así como los resultados obtenidos.

En el capítulo 5 se comentan varias experiencias de aplicación de la metodología propuesta desarrolladas en cursos reales.

Finalmente, en el capítulo 6 se exponen, a modo de conclusión, las principales contribuciones y líneas de trabajo futuro.

Capítulo 2

Estado del arte

*The beginning of knowledge is the discovery
of something we do not understand.*

Frank Herbert

La práctica educativa está marcada por dos líneas de influencia principales: la teoría psico-pedagógica en la que se sustenta el proceso de aprendizaje y las demandas formativas planteadas por la sociedad. En la actualidad se observan profundos cambios, fruto de la evolución de ambas.

Por una parte, la evolución de la sociedad, con el nacimiento de la Sociedad de la Información y del Conocimiento, plantea nuevos retos educativos. A la demanda de nuevas competencias, no sólo cognitivas sino también sociales y afectivas, se une la necesidad de formación continua y permanente, a medida para cada individuo.

Por otra, la evolución de la pedagogía y su tendencia actual hacia una concepción más activa del aprendizaje, con énfasis en dos factores principales: la **adaptación** al alumno, basada en modelos de aprendizaje significativo como el propuesto por Ausubel o el constructivismo; y la **interacción** con otros compañeros de aprendizaje, cuya importancia destacan las teorías del constructivismo social (zona de desarrollo próximo, andamiaje) y el modelo de aprendizaje por observación.

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) pueden contribuir de forma decisiva en esta evolución del proceso de aprendizaje, proporcionando herramientas de apoyo y generando nuevos escenarios educativos.

En esta sección se introduce en primer lugar una panorámica general de las posibilidades abiertas por las nuevas tecnologías en el ámbito educativo (cfr. apartado 2.1). A continuación se resume la evolución de la psicología educativa a lo largo del siglo XX, junto con los principales modelos de aprendizaje planteados (cfr. apartado 2.2). Esta evolución conduce, por una parte, a la personalización del aprendizaje, y, por otra, a la introducción de metodologías de aprendizaje colaborativo, que se comenta en el apartado 2.3. Entre ellas, la revisión entre iguales, descrita en el apartado 2.4, y cuya aplicación en el contexto educativo, ámbito de esta tesis, se desarrolla en el apartado 2.5. Por último, en el apartado 2.6 se resumen las conclusiones de este análisis del estado de la cuestión.

2.1 Fundamentos tecnológicos

En esta sección se ofrece una panorámica general de las tecnologías de la información y las comunicaciones aplicadas a la enseñanza (cfr. apartado 2.1.1). Se introducen asimismo las posibilidades de aplicación de la tecnología de minería de datos en el ámbito educativo, una de las líneas emergentes en la actualidad, como herramienta de análisis y modelado que facilita el diagnóstico y adaptación del proceso educativo (cfr. apartado 2.1.2). Por motivos de homogeneidad y coherencia, no se incluyen en esta sección las aportaciones tecnológicas a las metodologías didácticas más directamente ligadas a este trabajo, como son los sistemas de soporte para aprendizaje colaborativo y revisión entre iguales, sino que se desarrollan en las secciones dedicadas a dichas metodologías (cfr. apartados 2.3.1 y 2.5.6, respectivamente).

2.1.1 El papel de las TIC en la enseñanza

La historia de la incorporación de las nuevas tecnologías a la enseñanza es una historia de grandes expectativas y grandes decepciones. Con la aparición de prácticamente cada nueva tecnología (radio, televisión, informática) surgía un inmediato entusiasmo por su aplicación a la enseñanza. Sin embargo, hasta ahora, ninguna de ellas había respondido a las ilusiones despertadas y la educación convencional continúa siendo el paradigma fundamental hoy en día.

Probablemente la causa última radica en una explicación muy sencilla: muchos de los patrocinadores de las nuevas tecnologías centraban su atención en las características de la tecnología en sí. Dichas cualidades se utilizaban entonces para desarrollar una experiencia educativa que, a menudo, era esen-

cialmente la misma que se estaba desarrollando con la tecnología preexistente. Sin embargo, la cuestión fundamental no es ésta, sino qué se desea que los alumnos aprendan. El foco de cualquier proyecto educativo debe ser siempre el objetivo pedagógico que persigue. Partiendo de esta premisa, deben estudiarse las alternativas y técnicas, tanto tecnológicas como no-tecnológicas, que mejor contribuyan a alcanzarlo.

De la experiencia previa de incorporación de nuevas tecnologías al ámbito educativo se deducen dos conclusiones fundamentales, que deben tenerse muy presentes en cualquier proyecto futuro:

- Lo importante no es la tecnología, sino que el estudiante aprenda: la tecnología es la herramienta, no el fin.
- La incorporación de una nueva tecnología a la enseñanza no debe limitarse a un cambio de medio, sino que deben explotarse las nuevas posibilidades que abre. Un enunciado que parece evidente (al igual que el anterior), pero que rara vez se cumple, al menos en un principio.

En la actualidad se vive un renovado entusiasmo debido al potencial abierto por lo que se ha dado en llamar *eLearning*. La diferencia respecto a *revoluciones* previas que finalmente no alcanzaron las expectativas prometidas radica en que tanto la sociedad como los propios sectores tecnológico y educativo parecen mostrar suficientes signos de madurez para romper la tendencia negativa que se había seguido hasta la fecha.

Las nuevas tecnologías están cada vez más presentes en la vida cotidiana, con lo que está desvaneciéndose una de las principales barreras que dificultaban su integración en el proceso educativo. Por otra parte, los nuevos retos planteados por las necesidades formativas que demanda la sociedad del conocimiento conducen a la búsqueda de nuevas soluciones en las que dichas tecnologías tienen un papel indiscutible. Finalmente, los profesionales tecnológicos y educativos están cobrando conciencia mutua y la incorporación de la tecnología en la enseñanza se aborda como un proyecto necesariamente multidisciplinar.

En conclusión, en la actualidad se vive una auténtica eclosión tecnológica en el ámbito educativo, que abarca múltiples líneas de actuación.

Una de las líneas con una trayectoria histórica más longeva es la personalización, primero de los contenidos, con los sistemas de tutoría inteligente, y más recientemente del proceso de aprendizaje en general. Hoy en día, la adaptación al alumno continúa considerándose uno de los factores clave en la eficiencia del proceso siguiendo los postulados constructivistas.

El uso de los ordenadores como apoyo a la interacción es más reciente. Actualmente sin embargo, las aplicaciones que facilitan la interacción entre los alumnos, y entre éstos y el profesorado son un recurso de uso común. Y el auge de las aplicaciones de soporte para aprendizaje colaborativo, auspiciadas especialmente por el éxito de Internet, es un fiel reflejo de la importancia concedida a estas metodologías en la pedagogía actual. En el apartado 2.3 se discute este tema con mayor profundidad.

Otra línea más reciente aún la constituyen las tecnologías de ubicuidad e inteligencia ambiental, que ofrecen nuevas funcionalidades para la distribución de contenidos y la interacción entre profesores, alumnos, dispositivos y contenidos, configurando nuevos entornos de aprendizaje.

En un contexto tan rico, variado y cambiante, la necesidad de estandarización surge de forma natural a partir del auge de las aplicaciones tecnológicas en enseñanza y los intentos de compartición, reutilización e interoperabilidad. En este sentido, son numerosas las iniciativas de regulación mediante estándares y especificaciones para diferentes aspectos del proceso educativo, entre las que cabe destacar las lideradas por IEEE LTSC [65] e IMS [67] y las especificaciones de SCORM [118] entre otras. En [42] se realiza una revisión exhaustiva de los distintos estándares y especificaciones propuestos para el proceso educativo.

Un indicador sintomático de esta evolución es el florecimiento de plataformas educativas (o plataformas de *eLearning*), sistemas que integran en un único entorno múltiples funcionalidades de apoyo a la docencia [88, 144], generalmente diseñados de acuerdo a la arquitectura cliente-servidor. Este sector ha experimentado una evolución vertiginosa en los últimos años, pasándose de la práctica inexistencia de plataformas a una proliferación de soluciones muy competitivas. Entre la oferta comercial, cabe destacar WebCT [153] y Blackboard [14], que aglutinan en la actualidad la mayor parte del mercado en lo referente a instituciones educativas superiores y una parte muy significativa de la enseñanza media. Sin embargo, recientemente han comenzado a aparecer también plataformas que siguen la filosofía de código abierto, entre las que destacan dotLRN [33] y Moodle [86].

Lo más significativo de esta irrupción tecnológica es que no sólo afecta a procesos de enseñanza a distancia o autoaprendizaje, que venían constituyendo el entorno natural de aplicación de las nuevas tecnologías, sino que la tecnología se ha convertido en un elemento presente cada vez con mayor protagonismo también en la enseñanza tradicional y presencial.

Al estar inmersos en el proceso de cambio, es difícil determinar el impacto real, pero ya se atisban cambios significativos en la experiencia educativa cotidiana. Servicios como la publicación web de los materiales (en vez de las

tradicionales copias impresas), sistemas de gestión electrónica de entregas, foros de discusión, correo electrónico, etc. son ya utilizados de forma común y empiezan a hacerse imprescindibles.

2.1.2 Minería de datos en enseñanza

La minería de datos o descubrimiento de conocimiento se define como:

knowledge discovery is the nontrivial extraction of implicit, previously unknown, and potentially useful information from data. [46]

La minería de datos engloba un conjunto multidisciplinar de técnicas para la explotación de grandes volúmenes de datos. Aplicadas a un amplio rango de dominios (comercial, sanitario, financiero, deportivo, etc.) entre las técnicas más habituales, combinadas a menudo con lógica borrosa, podemos citar el análisis de agrupamientos o *clustering* (algoritmo de las C-medias, mapas autoorganizativos), clasificación automática (redes neuronales, árboles de decisión [102, 103]), detección de asociaciones (*análisis de la cesta de la compra*) [2, 125] y episodios frecuentes en secuencias [3, 82], etc.

El ya citado artículo de Frawley et al. [46] constituye una buena introducción al tema y puede encontrarse más información sobre esta tecnología en el libro de J. Han y M. Kamber [62]. Otras referencias interesantes son [1] (si bien más orientado hacia la perspectiva de la inteligencia artificial) y [98] y su continuación [38] (más orientados a la investigación).

La aplicación de la minería de datos al ámbito educativo aún se encuentra en una etapa embrionaria. Existe un indudable interés por trasladar estas técnicas a un ámbito que tradicionalmente ha absorbido con celeridad, con mayor o menor éxito, las innovaciones tecnológicas. Sin embargo, aún no existen más allá de algunas incursiones que podríamos calificar de simbólicas. Iniciativas como el *International Working Group on Educational Data Mining* [94] surgen con el objetivo de aunar esfuerzos y facilitar la investigación en este campo:

La minería de datos educativa (*educational data mining*) es una disciplina emergente, que se refiere al desarrollo de métodos para la exploración de los datos provenientes del marco educativo, y a la utilización de dichos métodos para una mejor comprensión de los estudiantes, y del entorno en que se desenvuelve su aprendizaje.

El interés de aplicar estas tecnologías en el contexto educativo radica en la tendencia a una instrucción personalizada, adaptada a las necesidades, características y situación de cada alumno. El descubrimiento de patrones de aprendizaje comunes o la definición de modelos facilitados por la minería de datos pueden ayudar a un mejor diagnóstico y comprensión de la situación, lo que redundará en una mejor práctica educativa.

La mayoría de experiencias de aplicación de minería de datos en el ámbito educativo se refieren al empleo de técnicas de minería de uso web para analizar los patrones de navegación de los alumnos a través de los materiales publicados on-line de los cursos. A menudo, el objetivo de los resultados obtenidos es informativo. Es decir, mejorar el conocimiento del alumno y del proceso de aprendizaje para perfeccionar su desarrollo, mejorando el diseño de los contenidos del curso u otros aspectos del proceso educativo [63] (p. ej. en [129] se estudia el posible uso de técnicas de minería de datos para formación de grupos de aprendizaje colaborativo en función de las actividades de navegación de los alumnos). Pero también existen experiencias donde el objetivo es aplicar de forma automática la información extraída en la orientación del proceso de aprendizaje, típicamente selección automática de contenidos [127, 150]

La minería web, aplicación de técnicas de minería de datos al análisis de la *World Wide Web*, consta de tres vertientes: minería de uso web (análisis de los accesos de los usuarios a las páginas web), minería de contenidos web (relacionada con la extracción automática de información de las páginas) y minería de estructura web (análisis de los enlaces entre páginas).

Aplicada a la enseñanza, suele consistir en el análisis de los patrones de navegación de los alumnos, complementado en ocasiones con información adicional introducida por los alumnos al registrarse (minería de uso web), generalmente mediante algoritmos de detección de asociaciones y patrones frecuentes en secuencias [3], combinados con algoritmos de agrupamiento y clasificación (cfr. por ejemplo [61]). También se ha utilizado para recomendar contenidos en función de las páginas visitadas [93, 127] y para analizar el comportamiento de aprendizaje de los alumnos [156]. Algunos trabajos incorporan además el análisis de contenidos para obtener un modelo más exacto del alumno [128].

Aplicaciones de otro tipo de técnicas de minería de datos, más allá de la minería de uso web comentada previamente son ciertamente escasas. Podemos citar como ejemplos las dos siguientes:

- En los proyectos PLATON¹. y master.web². se desarrolla una plataforma de soporte para teleformación vía web que incluye herramientas de análisis basados en minería de datos. Concretamente, la plataforma desarrollada incluía:
 - Análisis de agrupamientos (*clustering*), para identificación de perfiles entre los alumnos.
 - Análisis de asociaciones y secuencias para detección de patrones de navegación frecuentes entre los alumnos al examinar los contenidos de cada curso (*minería de uso web*).
 - Árboles de decisión, para detección de reglas en el proceso de aprendizaje, identificar alarmas y facilitar la propuesta de soluciones.
- La universidad de Singapore realizó también un proyecto en el año 2000 de uso de minería de datos para selección de alumnos para clases de apoyo [80]. Dentro del programa de educación para superdotados, “Gifted Education Programme” (GEP), del Ministerio de Educación, se aplicaron técnicas de minería de datos para decidir qué alumnos necesitaban clases de refuerzo. Según los autores, los resultados fueron mucho más precisos que con el sistema tradicional, consistente en establecer un umbral de nivel para cada asignatura.

Una posible explicación de esta escasez de experiencias, más allá de la aplicación de minería de uso web, radica en las especiales características del escenario educativo. Así, el número de alumnos en las clases presenciales no es tan elevado como para requerir el uso de técnicas de minería de datos. Por regla general, es suficiente el cálculo de estadísticas básicas para visualizar tendencias generales. Por otra parte, el contacto personal y la experiencia docente facilitan a los profesores el conocimiento de sus alumnos y sus patrones de aprendizaje. Por último, también puede aducirse la complejidad de este tipo de análisis como otro potencial factor disuasorio.

Sin embargo, en escenarios de aprendizaje a distancia o virtual el contacto personal se diluye en gran medida, con lo que se hace necesario recurrir a medios alternativos para recopilar información sobre la experiencia educativa. Por

¹Plataforma Avanzada de Teleformación ON-line PLATON: proyecto desarrollado por UPM, DAEDALUS, SIP y Anaya dentro de la convocatoria de ayudas a PYMES para proyectos de I+D de la CAM (1999). B.O.C.M.: 23/Junio/1999, N° 147. Referencia: 09/0049/1999

²master.web: proyecto desarrollado por UPM, DAEDALUS, Grupo Álamo y Anaya dentro del programa PROFIT del Ministerio de Ciencia y Tecnología (2000). Referencia: FIT-150200-2000-84

otra parte, la recolección de datos sobre la actividad de los usuarios en un sitio web es sencilla. La conjugación de ambos factores, necesidad de información y disponibilidad de datos, justifica que la práctica totalidad de experiencias de aplicación de minería de datos en el ámbito educativo se centre en el análisis de los patrones de navegación de los alumnos a través de los materiales publicados on-line.

En esta tesis se estudia la posible aplicación de algoritmos procedentes de la minería de datos y la inteligencia artificial con vistas a la adaptación y personalización del proceso de aprendizaje.

2.2 Fundamentos pedagógicos

Una definición de aprendizaje comúnmente aceptada es la propuesta por Hilgard y Marquis, que entienden por aprendizaje “un cambio más o menos permanente de conducta que ocurre como resultado de la experiencia”. Esta definición se entiende en sentido genérico, de forma que el aprendizaje se define como un cambio permanente de conducta mediante adquisición de conocimientos o habilidades a través de la experiencia, la cual puede incluir el estudio, la observación, la práctica, la enseñanza, etc. dependiendo del tipo de aprendizaje que sea.

El aprendizaje surge a partir de la necesidad de adaptarse al medio. Se trata de un proceso complejo al que la psicología ha dedicado una considerable atención, que ha derivado en el desarrollo de múltiples teorías que intentan explicarlo. Estas teorías se han visto fuertemente influenciadas por la concepción subyacente de los mecanismos de conocimiento humanos, por lo que se incluye una breve referencia a las principales teorías sobre la percepción.

La *percepción* es un proceso bipolar que depende, en parte, de las características de los estímulos que activan los órganos de los sentidos, y, en otra parte, de las características de la persona que percibe (experiencias, motivaciones, expectativas, aptitudes, personalidad, etc.). En función del énfasis concedido a cada uno de estas facetas (objetiva y subjetiva), surgen en el siglo XX tres corrientes psicológicas (cfr. [130] para más información):

Escuela asociacionista

Las teorías **asociacionistas** (Wilhelm Wundt, fundador del primer instituto de psicología experimental) sostienen que la vida psíquica en su totalidad (percepción, memoria, sentimientos, inteligencia y conciencia) puede reducirse

a elementos primarios, que se asocian entre sí. Consideran la percepción como un mosaico de sensaciones, de tal manera que la sensación viene a ser una especie de “átomo cognoscitivo” **anterior** a la percepción, la cual surge cuando el sujeto **asocia** las sensaciones entre sí. En esta teoría, la percepción se explica íntegramente por sus elementos (sensaciones). Aprender, en el marco de esta teoría, consiste en asociar estímulos (impresiones de los sentidos) y respuestas.

Escuela funcionalista

La teoría **funcionalista** (William James) rechaza la reducción de la vida mental a elementos simples. Considera en cambio la conciencia más bien una “corriente” continua que no se puede fraccionar y que la vida mental está toda en función de las finalidades de la vida humana. Según James, “parte de lo que percibimos proviene, a través de los sentidos, del objeto que tenemos delante; otra parte procede siempre de nuestra propia mente”. Destaca, pues, los aspectos subjetivos de toda percepción (motivaciones, interés, etc.); en este aspecto, sigue teniendo vigencia.

Escuela de la Gestalt

La teoría asociacionista resulta excesivamente simplista para explicar los procesos cognitivos humanos. Como reacción a dicha corriente, la **Gestalt** o “**Escuela de la Forma**” (Köhler, Koffka, Wertheimer) defiende que la percepción no puede reducirse a una suma de sensaciones previas, sino que es un “todo” anterior a sus partes (sensaciones) y superior a la suma de las mismas. La sensación es sólo “condición” de la percepción; percibimos de golpe e inmediatamente totalidades, objetos completos. Es decir, insiste en el carácter de “totalidad” de lo percibido: lo percibido es una *Gestalt*, es decir, una forma, una figura estructurada. Introduce, así, el concepto de *Einsicht* o “intuición”, “comprensión súbita”, como mecanismo de solución de problemas, frente al ensayo y error propugnado por la escuela asociacionista. Pero interpreta la percepción desde la teoría física del *campo de fuerzas*, afirmando que el campo perceptivo se organiza por sí mismo, según leyes propias, prescindiendo de la actividad del sujeto. La teoría gestáltica desplazó a la asociacionista y sigue actualmente vigente, pero resulta parcial porque no tiene en cuenta los factores subjetivos de la percepción.

Cada una de estas corrientes tiene su reflejo en la psicología educativa, dando lugar a las diferentes concepciones del aprendizaje que defienden las principales escuelas del siglo XX: conductista y cognitiva. La tabla 2.1 sintetiza

Modelo cognitivo	Escuela pedagógica	Modelo de Aprendizaje	Fundamentos
Asociacionismo	Conductismo	Condicionamiento clásico, respondiente o pavloviano <i>Pavlov, Escuela rusa</i>	Asociación estímulo-respuesta; inconsciente
		Condicionamiento operante o instrumental <i>Thorndike, Skinner</i>	Refuerzo
<i>Gestalt</i> ("Escuela de la forma")	Cognitivismo	Aprendizaje verbal significativo <i>Ausubel</i>	Estructura lógica del material, relación con conocimientos previos
		Aprendizaje por descubrimiento <i>Bruner</i>	Inducción, ensayo y error
		Aprendizaje constructivista <i>Novak</i>	Proceso interno, activo, de construcción del conocimiento; reorganización cognitiva, fruto del conflicto cognitivo
		Constructivismo social <i>Vygotsky</i>	Interrelaciones

Tabla 2.1: Principales modelos de aprendizaje (s. XX).

las principales teorías del aprendizaje desarrolladas durante el siglo pasado, cuyas características fundamentales se resumen en los siguientes apartados (cfr. [116] para más información).

2.2.1 Aprendizaje condicionado

Basada en las teorías asociacionistas de G. Wundt, la escuela conductista concibe el aprendizaje como el resultado de la formación de conexiones entre estímulos y respuestas observables (formación de hábitos de conducta).

El conductismo reduce la conducta a la asociación de un estímulo exterior y una respuesta del organismo. Toda la vida psíquica se reduce al aprendizaje

de respuestas. El neoconductismo actual (Hull, especialmente) ha tenido que aceptar la existencia de procesos subjetivos que se interponen entre estímulo y respuesta.

En esta escuela se distinguen el conductismo clásico (fundado por J. Watson [152], basándose en los trabajos de I. P. Pavlov) y el conductismo instrumental (E. L. Thorndike) u operante (B. F. Skinner).

En general, los principios psicológicos derivados del asociacionismo, el condicionamiento clásico y el conductismo se emplean para el aprendizaje de automatismos o hábitos de conducta y conocimientos puramente memorísticos. También se aplican frecuentemente en *e-Learning*, asociando sonidos agradables o desagradables y mensajes de ánimo o correctivos a las respuestas correctas o incorrectas, respectivamente, en ejercicios de auto-evaluación.

Condicionamiento clásico (I. P. Pavlov)

Un estímulo (*estímulo natural o incondicionado*) produce de manera natural una respuesta (*respuesta incondicionada*). A este estímulo se le asocia otro, inicialmente neutro (*estímulo condicionado*), de modo que finalmente el estímulo condicionado genera la misma respuesta que el incondicionado. Según esta teoría, pues, el aprendizaje consiste en *asociar* una respuesta (inicialmente ligada a otro estímulo) a un estímulo (inicialmente neutro).

Condicionamiento instrumental u operante (E. L. Thorndike, B. F. Skinner)

Esta teoría está basada en el concepto de *refuerzo*. En su esquema más simple, ante una conducta (que se produce inicialmente de forma espontánea) se aplica un refuerzo positivo (recompensa) si se quiere mantener, o negativo (castigo) si se quiere eliminar. En este caso, la respuesta del sujeto es activa (de ahí el nombre “operante”), puesto que el refuerzo es posterior.

2.2.2 Aprendizaje por observación

El aprendizaje por observación se enmarca dentro de la teoría del aprendizaje social -que se ocupa del aprendizaje de la conducta social, entendida ésta como la suma de interacciones de un sujeto con su ambiente- y complementa la tesis del refuerzo. El modelo de aprendizaje social consiste en la modificación de la propia conducta a partir de la observación de la conducta de otro indivi-

duo. La imitación y el modelado son los dos principales factores de este tipo de aprendizaje. Aunque el motivo de la imitación se desconoce, tanto animales como humanos aprenden así buena parte de sus conductas.

Según A. Bandura, este aprendizaje sigue las siguientes fases:

1. adquisición (el sujeto observa una conducta en otro individuo (modelo), identificándola suficientemente);
2. retención (esa conducta se almacena activamente en la memoria);
3. ejecución (llegado el caso, el sujeto la reproduce -colabora la memoria-);
4. reforzamiento (al imitar, el sujeto puede ser reforzado).

Y los principales mecanismos, también según Bandura, que actúan en este tipo de aprendizaje son:

1. Información: la observación de los refuerzos que usualmente reciben otros sujetos permite una clara visión de la conexión entre un acto y sus consecuencias.
2. Motivación: un sujeto se siente motivado a actuar a pesar de su fracaso si observa que a otros esta conducta les conduce al éxito.
3. Evaluación: el sujeto puede crear nuevos refuerzos para su conducta observando las reacciones de rechazo o aprobación de los demás.
4. Influencia: cuando el sujeto observa que otros reciben compensación por realizar una tarea, él mismo se esfuerza por realizar tareas similares.

Como se ve, este tipo de aprendizaje se combina con el condicionamiento operante: pueden surgir muchas conductas por imitación, pero se adquieren definitivamente al ser reforzadas.

El aprendizaje por observación (complementado por los refuerzos del condicionamiento operante) es uno de los principales mecanismos de aprendizaje en la infancia. Se emplea también en educación para enseñar nuevas conductas (desde la mejor pronunciación en la enseñanza de un idioma extranjero, hasta unas actitudes sociales concretas), para provocar o estimular conductas ya conocidas (motivando a un alumno para que imite la conducta de otro compañero-modelo) y, finalmente, para fortalecer o extinguir inhibiciones (castigo ejemplar).

2.2.3 Aprendizaje cognitivo

La mayor parte del aprendizaje humano, especialmente el aprendizaje formal que se produce en los centros educativos, supone un proceso de complejidad muy superior al mero esquema descrito por los conductistas. Basado en la teoría de la Gestalt y los trabajos de J. Piaget, el cognitivismo considera el aprendizaje el resultado de una reorganización de percepciones y de la formación de nuevas relaciones.

La psicología cognitiva (o cognoscitiva) considera los procesos de conocimiento como los más determinantes de la conducta humana. Utiliza con frecuencia el modelo cibernético para interpretar el modo como la actividad cognitiva del hombre recibe y elabora la “información” que recibe del mundo.

La psicología cognitiva desarrolla una concepción del aprendizaje como procesamiento de la información, fuertemente influenciado por el modelo de comunicación de Shannon [119] y el funcionamiento de los ordenadores. Desde este punto de vista, el aprendizaje significativo es el procesamiento mental de nuevas informaciones que conduce a su relación con el conocimiento previamente adquirido [115].

Concede, pues, un papel activo y constructivo al alumno, al considerarlo procesador activo de la información recibida en vez de receptáculo pasivo de la misma. Y destaca también la influencia (en el aprendizaje significativo) del conocimiento previo, clave para la significación: la nueva información es significativa cuando puede ser relacionada con lo que ya se conoce.

Desde este punto de vista, el aprendizaje depende tanto de características subjetivas del individuo (procesos cognitivos, factores afectivos, etc.), como de factores externos (dificultad del material, etc.).

En resumen, según la perspectiva cognitivista, el aprendizaje supone dar sentido a la información, organizarla, almacenarla en la memoria y aplicarla. Estas teorías han dado lugar a multitud de modelos, entre ellos el aprendizaje verbal significativo, el aprendizaje por descubrimiento y el aprendizaje constructivista, incluida su variante del constructivismo social (cfr. [114] para más información).

Aprendizaje verbal significativo (D. Ausubel) [9]

La característica fundamental de este modelo es la estructura lógica de los contenidos a aprender. Propone un modelo de enseñanza expositiva, en el cual el profesor proporciona a los alumnos contenidos significativos y estructurados

y el alumno integra la información nueva con sus conocimientos previos.

Aprendizaje por descubrimiento (J. Bruner) [16]

En este modelo, opuesto al aprendizaje memorístico y contrapuesto también a las tesis de Ausubel, el alumno aprende principios generales induciéndolos a partir de secuencias de problemas, que resuelve mediante ensayo y error.

Aprendizaje constructivista (J. Novak) [91]

La teoría constructivista concibe el aprendizaje como un proceso de reorganización cognitiva, un proceso constructivo interno. Cuando una nueva información se contrapone a la estructura previa de conocimiento, *conflicto cognitivo*, el alumno tiene que resolver el conflicto, reorganizando sus conocimientos y construyendo una nueva estructura cognitiva.

Constructivismo social (L. S. Vygotsky) [149]

Rama derivada del constructivismo, mantiene el papel activo del alumno como constructor de su conocimiento, pero enfatiza la importancia de la interacción con otros actores del proceso de aprendizaje, especialmente los compañeros. En este contexto, el conflicto cognitivo surge al contraponer las estructuras de conocimiento propias con las de los demás. El aprendizaje se ve, pues, influenciado por el entorno y por la interacción con profesores y compañeros.

Aprendizaje asistido -*scaffolded learning*- (Thomas y Gallimore)

Relacionado con las teorías de Vygotsky, Thomas y Gallimore desarrollan el concepto de andamiaje. Proponen el modelo de desempeño asistido (*scaffolded learning*), que implica la enseñanza en la zona de desarrollo próximo, el andamiaje del aprendizaje por medio de la asistencia responsable y la transferencia de la responsabilidad al alumno conforme aprende. El alumno actúa por sí mismo en la medida de lo posible y aprende por medio de sus errores. El profesor interviene cuando los errores pueden ser costosos o peligrosos.

Ninguna teoría explica completamente por sí sola el aprendizaje que se produce en el proceso educativo, sino que cada una de ellas hace énfasis en un

aspecto del aprendizaje. Así, el condicionamiento clásico (inintencional, por supuesto) está detrás de muchas reacciones negativas de los alumnos, como el miedo a los exámenes. El condicionamiento operante proporciona técnicas muy útiles para la modificación de la conducta. Pero es preciso recurrir a los modelos más complejos del cognitivismo para explicar la mayoría de procesos de aprendizaje que se producen en los centros educativos.

El constructivismo social constituye el marco pedagógico de esta tesis. Se plantea la utilidad de la revisión entre iguales como instrumento de aprendizaje al permitir a los alumnos comparar su trabajo con el desarrollado por otros compañeros y favorecer el aprendizaje en profundidad mediante la evaluación crítica.

2.3 Aprendizaje colaborativo

La evolución del concepto de enseñanza y aprendizaje trasciende la mera discusión teórica y tiene inmediatas consecuencias en la práctica educativa. El foco del proceso se desplaza desde el profesor, inicialmente transmisor del conocimiento para considerarse después facilitador del aprendizaje, hacia el alumno, que pasa de ser receptor pasivo de la información transmitida a constructor activo de su propio conocimiento. El alumno es responsable de su propio aprendizaje, y éste no se produce de forma aislada sino en un determinado entorno. Otros actores involucrados en el proceso, profesores y alumnos, influyen en dicho aprendizaje.

Todo ello conlleva lógicamente una evolución paralela de la práctica educativa. El énfasis en las clases magistrales, paradigma de la visión centrada en el profesor como transmisor del conocimiento, se reduce. El alumno cobra un papel más activo y se tiende asimismo a una orientación más personalizada del proceso docente.

Técnicas como el aprendizaje basado en casos, en problemas, etc. cobran relevancia en este nuevo contexto didáctico. Y se concede un papel primordial al aprendizaje colaborativo, potenciado principalmente mediante el desarrollo de trabajos en grupo. Otras técnicas, como la tutoría entre compañeros o la evaluación entre iguales, enfatizan la concepción colaborativa del aprendizaje sustentada por el constructivismo social.

La introducción del aprendizaje colaborativo en las aulas responde además a las nuevas necesidades formativas generadas por la *Sociedad de la Información*. Si el paradigma de la Sociedad Industrial era la cadena de montaje, con su división del trabajo en tareas simples y mecánicas para cada individuo, el

trabajador del conocimiento rara vez desempeña su profesión de forma individual. Por el contrario, se favorece la cooperación, la formación de equipos de trabajo, la interacción, así como el intercambio de conocimiento como factores fundamentales para el éxito. Técnicas como el trabajo en equipo, *mentoring*, *coaching*, etc., son habitualmente utilizadas en el ámbito laboral. El aprendizaje de la metodología de trabajo en equipo y la colaboración así como de las habilidades necesarias para este tipo de actividades se convierte en parte fundamental de la formación de estos futuros profesionales.

La pedagogía actual presta especial atención, pues, a la interacción entre los distintos actores involucrados en el proceso de aprendizaje y, entre ellas, a la interacción entre los propios alumnos. Dentro del marco general de la influencia de la interacción entre compañeros en el proceso de aprendizaje, se distinguen dos grandes líneas de actuación:

1. Aprendizaje colaborativo
2. Aprendizaje asistido por compañeros

Basadas ambas en el constructivismo social, en el primer caso se trata de potenciar y aprovechar la sinergia del equipo de trabajo, y formar al alumno en las metodologías de trabajo colaborativo; el segundo está más relacionado con el concepto de andamiaje. En esta segunda línea de apoyo entre compañeros se enmarca la revisión entre iguales.

Las técnicas de aprendizaje colaborativo están basadas en el uso de relaciones recíprocas; los enfoques de tutoría entre compañeros han acentuado la complementariedad de roles en la relación de aprendizaje [44]. Hay cierta evidencia de que el enfoque de aprendizaje colaborativo es más apropiado para tareas de resolución de problemas y aquéllas que implican el manejo de ideas y comprensión de conceptos. Por el contrario, tareas que implican el aprendizaje de reglas y aplicación de principios, diseñadas más para elaborar el repertorio de habilidades del niño, pueden ser más apropiadas para enfoques de tutoría [44].

Pese a que los primeros estudios sobre Instrucción Asistida por Ordenador (CAI) comenzaron a aparecer entre finales de los años 60 y principios de los 70, el uso de las nuevas tecnologías para facilitar la interacción y el aprendizaje colaborativo es sorprendentemente más reciente. Internet y, muy particularmente la web, junto con el correo electrónico y más recientemente los sistemas de mensajería instantánea (*chat*) han venido a cambiar este panorama.

2.3.1 Aprendizaje colaborativo mediado por el ordenador

La investigación sobre aprendizaje colaborativo y CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) ha ido evolucionando y afrontando diversos problemas. En los años noventa, se centra especialmente en el estudio de procesos grupales, en declive del estudio de características y resultados. Con el auge de los entornos de aprendizaje a distancia, surge recientemente una nueva línea centrada en la identificación de estrategias computacionales que favorezcan el aprendizaje del grupo [123].

Este énfasis en la mediación y apoyo a los estudiantes en procesos de aprendizaje colaborativo se cimenta, fundamentalmente, en modelos y ontologías de interacción de aprendizaje colaborativo, una de las principales líneas de investigación actuales en este campo [77]. La utilidad de estos modelos, que ayudan en el análisis, comprensión y predicción de patrones de comportamiento grupales, es variada: identificación automática de roles de los miembros del grupo; comprensión de los procesos cognitivos que subyacen bajo actividades de aprendizaje colaborativo como compartición de conocimiento o conflicto cognitivo. También su naturaleza, haciendo énfasis unos en factores sociales, independientes del dominio, o bien orientados otros al apoyo de tareas concretas, ligados a un dominio específico.

Actualmente, una parte importante de los esfuerzos de investigación se centra en el análisis automático de la interacción en equipos de trabajo, fundamentalmente, detección automática de roles y guiado automático para mejorar dicha interacción (corrección de situaciones en las que existen roles no desempeñados adecuadamente por ningún miembro, miembros que no desempeñan alguno de los roles esperados, etc.) [77].

Más en la línea del presente trabajo se circunscriben investigaciones sobre la formación de grupos de estudiantes de acuerdo a las características de sus integrantes, como [11].

2.3.2 Aprendizaje asistido entre compañeros

El aprendizaje asistido entre compañeros (*Peer Assisted Learning* - PAL) consiste en la adquisición de conocimientos y habilidades mediante el soporte y la ayuda activos entre compañeros o iguales [134].

Engloba diversos métodos, siendo el más extendido la **tutoría entre compañeros** (*peer tutoring*) [37, 132]. Basado en la idea de “aprender enseñan-

do”, se caracteriza por un reparto de papeles específico: en un determinado momento, un alumno desempeña el papel de tutor mientras el otro (u otros) el de *tutorizado(s)*.

Independientemente de la técnica concreta aplicada, el aprendizaje asistido por compañeros se beneficia, en general, de la mayor proximidad y empatía entre los compañeros que desempeñan los distintos papeles (ayudante y ayudado), frente a la distancia que existiría respecto un educador (profesor, tutor, consejero, etc.) profesional.

Esta tesis se centra en la **evaluación entre iguales**. En [135] puede encontrarse información adicional sobre otras técnicas de aprendizaje asistido por compañeros, como modelado entre compañeros (*peer modeling*), educación entre iguales (*peer education*), orientación entre compañeros (*peer counseling*) o supervisión entre iguales (*peer monitoring*).

2.4 Revisión entre iguales

La *revisión entre iguales*, *revisión entre pares* o *co-evaluación* (peer review o peer assessment) consiste en evaluar el trabajo de un colega³, con similar nivel de conocimientos y de experiencia.

2.4.1 Metodología

La metodología de revisión entre iguales define tres roles a desempeñar por los actores involucrados en el proceso:

- autor (evaluado): individuo que, individual o colaborativamente, realiza el trabajo a evaluar
- revisor (evaluador): individuo que, individual o colaborativamente, realiza la evaluación
- supervisor: individuo que supervisa el proceso de evaluación, pudiendo actuar sobre él y/o modificar sus resultados

Según la definición de revisión entre iguales, la característica distintiva de esta metodología respecto a otros procesos de evaluación es la similitud entre

³colega: (Del lat. *collega*). 1. com. Compañero en un colegio, iglesia, corporación o ejercicio. [106]

<i>Rol</i>	<i>Contexto científico</i>	<i>Contexto educativo</i>
Autor	Investigador (escritor de un artículo)	Alumno (autor de un trabajo)
Revisor	Investigador	Alumno
Supervisor	Editor de la publicación	Profesor

Tabla 2.2: Roles en la metodología de revisión entre iguales: ejemplos en diferentes contextos de aplicación.

autores y revisores, que pueden identificarse como pertenecientes a un mismo colectivo. Puede tratarse de investigadores de un determinado campo (caso de la revisión entre iguales aplicada a la publicación de artículos científicos) o alumnos de un curso (aplicación en enseñanza), como se refleja en la tabla 2.2.

El supervisor, en cambio, suele ser una figura superior a aquellos en la jerarquía. Como el editor (caso de las publicaciones) o el profesor (caso de la enseñanza). Aunque estrictamente no responde a la filosofía de la revisión entre iguales (no es un “igual”), su inclusión en el modelo responde a motivos de orden pragmático y organizativo: se necesita una figura con autoridad para mediar ante posibles conflictos, responsabilizarse de cuestiones organizativas, etc. En cualquier caso, su introducción no altera la naturaleza simétrica del proceso, al no desempeñar el papel de evaluador sino ocasionalmente.

A su vez, el proceso de revisión se estructura en dos fases fundamentales:

1. Desarrollo:

El autor o los autores, según la metodología de trabajo utilizada sea individual o colaborativa, realiza(n) un determinado proyecto. La metodología de revisión entre iguales no impone restricción alguna sobre la naturaleza de dicho proyecto, simplemente se trata de algo a evaluar.

2. Revisión:

Una vez disponible, el trabajo realizado es evaluado por un determinado número de revisores. A diferencia de metodologías de evaluación tradicionales, basadas en un modelo jerárquico y asimétrico en el que los evaluadores pertenecen a un nivel superior a los evaluados, la característica definitoria de la revisión entre iguales es que los revisores tienen un nivel de conocimientos y una experiencia similares a las de los autores. Al igual que la fase de desarrollo, la revisión puede realizarse de forma

individual o colaborativa. Por último, el resultado de la evaluación, bien completo o al menos un resumen, suele redirigirse a los autores.

A estas fases fundamentales del proceso, puede añadirse de forma opcional, una fase final en la que se evalúan las revisiones, bien por los propios autores a las que se dirigen o bien por otros independientes⁴. Entre los parámetros que puede incluir esta evaluación podemos citar variables como la claridad de las explicaciones, la exhaustividad de la revisión, su utilidad, la conformidad del autor con los comentarios de los revisores, etc. Dicha información puede redirigirse a su vez a los revisores o bien utilizarse únicamente como instrumento de control de calidad.

Por último, existe una fase intermedia adicional, generalmente oculta y transparente para los actores protagonistas del proceso (autores y revisores), que consiste en la asignación de revisores a cada uno de los trabajos⁵. Es decir, determinar qué revisores evalúan cada trabajo.

Por tanto, tal como se muestra en la figura 2.1, un proceso genérico de revisión entre iguales se articula en ciclos compuestos por las cuatro fases descritas previamente:

1. Desarrollo o solución del problema
2. Asignación de revisores
3. Revisión
4. Evaluación de las revisiones (opcional)

Por otra parte, el autor puede incorporar los comentarios recibidos en la(s) revisión(es) a su propio trabajo, generando una nueva versión del mismo y dando lugar a un nuevo ciclo de revisión. Es decir, frecuentemente no se trata de un proceso lineal y cerrado, sino que se repite en sucesivos ciclos de revisión a lo largo del tiempo según un modelo iterativo e incremental (modelo en espiral reflejado en la figura 2.2) puesto que cada ciclo supone una progresiva mejora respecto a los resultados obtenidos en el anterior.

⁴Obviamente, tal como se advierte en [151] podrían añadirse, aunque en la práctica nunca se hace, sucesivas etapas de evaluación sobre los resultados de la anterior (evaluación de la evaluación de la revisión, etc.), pero cuidando de no caer en un ciclo infinito.

⁵Si bien la asignación de revisores suele realizarse de forma oculta a los usuarios, en algunos contextos se involucra a los propios revisores en el proceso, por ejemplo, permitiéndoles seleccionar los trabajos que prefieren revisar [29].

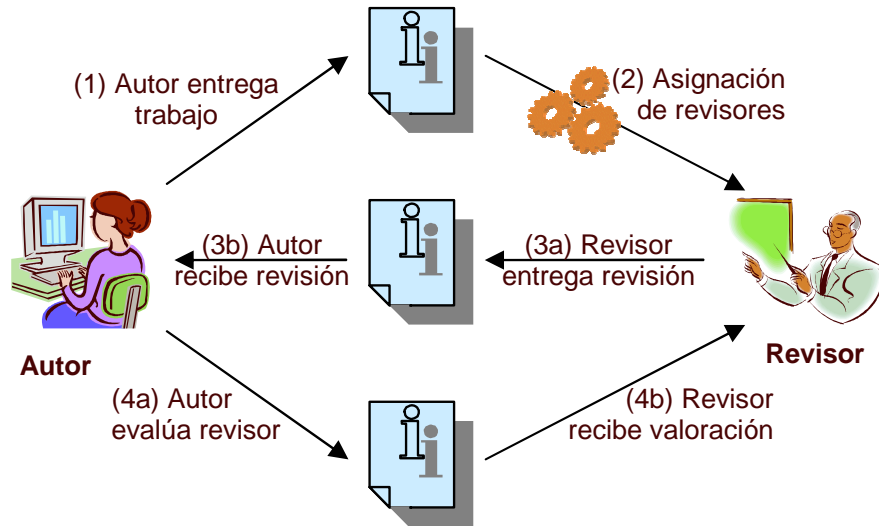


Figura 2.1: Proceso de revisión.

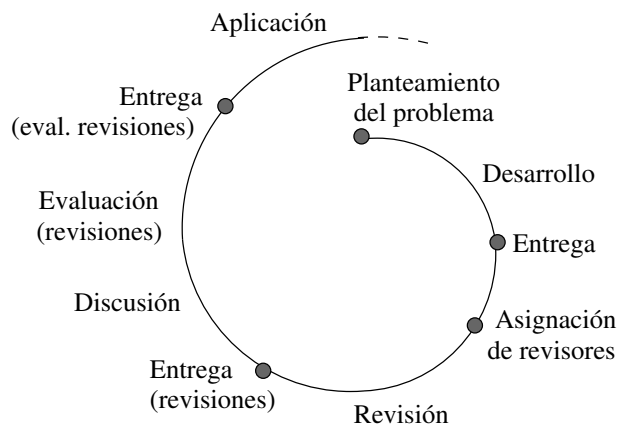


Figura 2.2: Proceso de revisión (modelo en espiral).

2.4.2 Dimensiones

Los objetivos del proceso de revisión entre iguales varían lógicamente dependiendo del contexto de aplicación. Sin embargo, pueden distinguirse dos fundamentales, que frecuentemente aparecen de forma conjunta:

- Evaluación orientada a obtener una medida de calidad de lo evaluado
- Evaluación orientada a la mejora y perfeccionamiento de lo evaluado.

Es decir, al igual que cualquier proceso evaluador, la revisión entre iguales consta de dos dimensiones fundamentales: *sumativa* (o acumulativa) y *formativa*.

El objetivo en el primer caso es obtener, mediante el proceso de evaluación, una valoración o calificación del trabajo evaluado, una medida de su calidad. Este es el objetivo que prima en la aplicación de la revisión entre iguales a la evaluación de artículos científicos, por ejemplo. Así, en el número inicial de la revista *Journal of Engineering Education*, Edward W. Ernst, editor fundador de la misma, destaca en [34] (citado en [101]) la importancia de una revisión entre iguales de calidad para el desarrollo de la publicación.

La dimensión formativa, en cambio, hace referencia a las posibilidades de mejora y aprendizaje que suscita el proceso de evaluación en sí. Como ejemplo en este caso podemos citar los procesos de revisión de software durante su desarrollo con vistas a la detección y depuración de errores.

Generalmente cualquier proceso de evaluación, aunque potencie una de ellas, participa en cierta medida de ambas dimensiones. Así, aunque el objetivo primario de la revisión de artículos sea determinar su calidad con vistas a su posible inclusión o exclusión en una revista o congreso, el autor recibe también información crítica sobre el trabajo realizado que le permite mejorarlo.

En definitiva, dadas sus características y posibilidades, se trata de una metodología ampliamente utilizada en múltiples aplicaciones y muy diversos campos. Entre los contextos de aplicación más asentados podemos citar el entorno científico, donde se asume que “el progreso científico depende en gran medida del proceso de revisión entre iguales” [122] (citado en [72]). Relacionado con éste, pero también referido a otros campos aparte del científico, uno de los usos más frecuentes es la revisión de artículos para su publicación en congresos o revistas [34] (citado en [101]). También se utiliza en el ámbito profesional, tanto como instrumento de mejora de la calidad del trabajo realizado [8] (citado

en [72]) y de las habilidades profesionales, Esta tesis se centra en su aplicación en el ámbito educativo, escenario lógico de uso de la metodología dadas sus posibilidades de generación, evaluación crítica, compartición y difusión del conocimiento.

2.5 Revisión entre iguales en el ámbito educativo

En el ámbito educativo, Topping define en [133] la revisión entre iguales como:

“peer assessment is defined as an arrangement in which individuals consider the amount, level, value, worth, quality, or success of the products or outcomes of learning of peers of similar status.”

Aunque puede aplicarse a otros actores involucrados en el proceso educativo, por ejemplo, los profesores [20, 133], este trabajo se centra en su utilidad como instrumento de aprendizaje, de modo que se restringe a la aplicación de la metodología a los alumnos.

En [133] se realiza un exhaustivo estudio del uso de la revisión entre iguales en la enseñanza superior. Si bien los fundamentos pedagógicos y motivaciones apenas han experimentado variaciones desde entonces, sí se observa una notable evolución en los sistemas de soporte, prácticamente inexistentes entonces (cfr. apartado 2.5.6), así como un mayor énfasis en la posible dimensión colaborativa del proceso [37, 151, 136], llegando incluso a proponerse nuevas definiciones de la evaluación entre iguales destacando este aspecto, como la incluida en [37], donde se considera la evaluación entre iguales “the process whereby groups rate their peers”.

2.5.1 Caracterización

No existe un modelo único del proceso de revisión entre iguales, dadas las múltiples manifestaciones y variantes que puede adoptar. En la tabla 2.3 se resume la tipología de clasificación propuesta en [133] en función de las variables identificadas como características de la metodología en el contexto educativo.

La revisión entre iguales en el ámbito educativo integra una naturaleza dual. En tanto acción educativa, mantiene las dimensiones educativas en que

Variable	Rango
1 Temática/área curricular	Cualquiera
2 Objetivos	Respecto a plantilla docente y respecto a alumnos Eficacia (ahorro de tiempo) o beneficios cognitivos/afectivos
3 Enfoque	Cuantitativo/sumativo o cualitativo/formativo o ambos
4 Resultados (producto/salida)	Tests/notas/calificaciones o informe escrito o presentaciones orales u otras actuaciones calificadas
5 Relación respecto a evaluación por parte de la plantilla docente	Sustitutiva o complementaria
6 Peso oficial	Sí o no
7 Direccionalidad	Unidireccional, recíproco o mutuo
8 Privacidad	Anónimo, confidencial o público
9 Contacto	A distancia o personal
10 Año (curso)	Igual o diferente
11 Habilidad	Igual o cruzada
12 Constelación de evaluadores	Individual, parejas o grupos
13 Constelación de evaluados	Individual, parejas o grupos
14 Lugar	Dentro o fuera de clase
15 Tiempo	Horario oficial o tiempo libre o informalmente
16 Requisitos	Obligatorio o voluntario, para evaluadores/evaluados
17 Recompensa	Créditos del curso u otros incentivos o refuerzo por participación

Tabla 2.3: Tipología de la revisión entre iguales en educación superior.

se proyecta ésta. En tanto acción evaluativa, se distinguen a su vez las correspondientes dimensiones sumativa y formativa características de la evaluación. La revisión entre iguales se sitúa pues en un hiperespacio definido por la combinación de las dimensiones de la evaluación (sumativa y formativa) por una parte, y las dimensiones educativas (intelectual, afectiva, social, etc.) por otra.

En las siguientes secciones se analiza el proceso desde ambas perspectivas.

2.5.2 La revisión entre iguales como proceso de evaluación

Al igual que todo proceso de evaluación, en cualquier campo de aplicación, el uso de la revisión entre iguales en enseñanza puede obedecer a propósitos de evaluación sumativa, formativa o ambos. Pese a su uso en ambos sentidos, existe una tendencia generalizada a considerar la evaluación entre iguales como *co-evaluación formativa*, es decir, primariamente un instrumento de aprendizaje, más que de calificación [136].

En cuanto a la dimensión sumativa del proceso, la revisión entre iguales puede utilizarse como instrumento calificador. Puede ayudar así a reducir la carga docente asociada a labores de corrección, especialmente en entornos educativos masificados, liberando tiempo al docente que puede dedicarse a otras tareas educativas. Plantea la ventaja adicional de proporcionar varias medidas, procedentes de diversos revisores, lo cual debería redundar en una mayor objetividad y fiabilidad.

Un caso en el que cobra especial relevancia e interés la evaluación de compañeros es en la valoración de las contribuciones individuales en metodologías de trabajo en grupo. Aparte de sus indudables ventajas y beneficios educativos, el trabajo en equipo plantea la problemática de la evaluación. La solución más común es establecer una calificación común para todo el grupo, basada en la evaluación del resultado global. Sin embargo, muy frecuentemente, las contribuciones individuales de cada uno de los miembros del equipo no son equivalentes entre sí, de modo que esta aproximación tradicional no resulta justa. Por ello, algunos autores [105, 126] plantean la conveniencia de incorporar a la metodología de trabajo colaborativo la evaluación de los compañeros por parte de cada miembro del grupo, de modo que la contribución individual de cada uno de ellos quede delimitada con mayor precisión. En este sentido se circunscriben experiencias como las descritas en [58, 71, 50, 69].

Sin embargo, la fiabilidad de los alumnos como evaluadores suscita profundas desconfianzas. Ni los docentes, ni los propios alumnos confían, en general,

en las capacidades evaluadoras de estos últimos. Las causas radican por una parte en la posible falta de los conocimientos necesarios, tanto respecto a la materia evaluada como en cuanto al proceso de evaluación en sí; en general, en el menor bagaje de conocimientos de los alumnos en comparación con el profesor, evaluador tradicional. Y, por otra, en cuestiones éticas como falta de objetividad, compañerismo mal entendido, etc.

Aunque la gran mayoría de estudios publicados en la literatura describen resultados positivos, existe una minoría significativa de casos cuyos resultados cuestionan la validez y fiabilidad de las calificaciones asignadas por los alumnos (cfr. [133] para una relación detallada de estudios de fiabilidad y validación).

Así, los resultados en [36] muestran que las calificaciones agregadas de los compañeros eran muy similares a los de la plantilla docente, siendo ligeramente más frecuente la sobrevaloración que la infravaloración. También en [112, 104] existe una evidente correspondencia con las evaluaciones de la plantilla docente, aunque la percepción subjetiva de los alumnos mantiene su escepticismo y preferían la evaluación tradicional del profesor.

Por el contrario, los resultados en [48] muestran que, si bien en media no hay diferencias significativas entre las calificaciones asignadas por los compañeros y las asignadas por la plantilla docente, sí existe diferencia significativa entre las desviaciones estándar de ambas; además, la correlación entre ambas es sólo moderada.

La dimensión formativa de la revisión entre iguales plantea menor controversia que su dimensión sumativa. No obstante, suscita también reticencias debido fundamentalmente a la posible falta de capacidad de los alumnos para discernir errores e incorrecciones, como se señala muy gráficamente en [12] citando el viejo proverbio “un ciego guiando a otro ciego”. También suscita reticencias entre los alumnos, acostumbrados a la evaluación tradicional, centrada en el profesor [136]. Algunos docentes temen que, en lugar de ayudar a los alumnos en su aprendizaje, la evaluación de compañeros facilite la difusión de errores entre ellos. Por otra parte, Topping [133] restringe la utilidad de la realimentación proporcionada por los compañeros al caso en que los autores puedan reaccionar en función de la misma.

En este caso, sin embargo, las experiencias prácticas arrojan resultados positivos, en múltiples y muy diversos entornos como humanidades (p. ej. psicología [36]), informática (p. ej. programación [151], sistemas operativos [51, 79], arquitectura de ordenadores [56]) o ingeniería [52, 81, 105]. Especialmente si los alumnos tienen la oportunidad de incorporar los resultados de la revisión a su propio trabajo [51, 54] (modelo en espiral).

En resumen, si bien la utilidad de la revisión entre iguales como instrumento de evaluación sumativa en el ámbito educativo resulta discutible y requiere mecanismos de control para asegurar su calidad, los resultados prácticos en diferentes experiencias confirman la utilidad de la co-evaluación formativa como instrumento de aprendizaje.

2.5.3 La revisión entre iguales como proceso educativo

La acción educativa se proyecta en diversas dimensiones, que se corresponden con las diferentes dimensiones de la persona y que no son más que la expresión de prioridades de la educación. Evidentemente, la educación es una realidad pluridimensional, que presenta dimensiones tan diferenciadas como la educación física, afectiva, intelectual, social, estética, moral, etc. Estas dimensiones educativas pueden entenderse como alternativas o direcciones que toma la acción educativa en un momento concreto frente a otras posibles direcciones y significan en la práctica educativa la acción específica y preferente del educador en una dirección o sentido determinado [116].

Sin embargo, no se trata en absoluto de dimensiones “totalmente escindidas o desconectadas unas de otras (no hay ningún acto puramente cognitivo, ni afectivo, ni social, porque la respuesta es siempre total del hombre)” [17] (citado en [116]). La acción educativa tiene, pues, un carácter multidimensional, lo que significa que una misma actividad permite el logro de objetivos de distinta naturaleza.

No existe una taxonomía definitiva de dimensiones educativas. Una de las más extendidas y utilizadas, es la propuesta por Bloom [15], en la que los objetivos educativos se organizan en tres dominios fundamentales:

- afectivo: valores, sentimientos y emociones
- cognoscitivo: habilidades intelectuales (cognitivas y meta-cognitivas)
- psico-motriz: destrezas, habilidades motoras

En [116] se amplía la relación de dimensiones educativas, citando entre otras las siguientes: educación física (y psicomotriz), afectiva, intelectual, social, moral, estética, ética y religiosa.

Tal como se recoge en [147], Birenbaum [13] resume las competencias que se requieren de un individuo en la “edad de la información” en cuatro categorías:

- **Competencias cognitivas** como solución de problemas, pensamiento crítico, formulación de preguntas pertinentes, búsqueda de la información relevante, realización de juicios informados, uso eficiente de la información, realización de observaciones, investigaciones, invención y creación, análisis de datos o presentación de trabajos y conclusiones de forma eficiente, tanto oralmente como por escrito.
- **Competencias metacognitivas** que le capaciten para la autorreflexión y la autoevaluación.
- **Competencias sociales** que le permitan participar y, en su caso, dirigir discusiones de grupo, persuadir, trabajar cooperativamente, etc.
- **Disposiciones afectivas** que hagan posible un trabajo eficaz, tales como la perseverancia, la motivación intrínseca, un buen nivel de iniciativa y una actitud responsable, así como la percepción de autoeficacia, o la suficiente independencia, flexibilidad y capacidad para enfrentarse a situaciones frustrantes cuando resulte necesario.

Seguiremos esta última taxonomía para el análisis de los efectos educativos de la metodología de revisión entre iguales, si bien agrupando las dos primeras como niveles del dominio cognoscitivo o intelectual, puesto que, aunque puede proyectarse también en otras dimensiones, existe consenso general en la literatura en destacar los efectos de la metodología de revisión entre iguales en los dominios:

1. Intelectual o cognoscitivo (tanto a nivel cognitivo como meta-cognitivo)
2. Afectivo (motivación, implicación del alumno en el proceso, responsabilidad, aprendizaje activo)
3. Social (habilidades comunicativas)

El examen del proceso (cfr. figura 2.1) permite realizar un análisis preliminar de su posible influencia y efectos en el aprendizaje del alumno:

1. **Desarrollo** Los beneficios pedagógicos, tanto cognitivos como motivacionales, del desarrollo de un trabajo sobre una determinada materia, ya sea de naturaleza teórica o práctica, están generalmente asumidos. Entre ellos, podemos destacar la mejor comprensión de los conceptos teóricos, aprendizaje en profundidad del tema o el aprendizaje de conocimientos procedimentales, aparte del simple aumento en el tiempo dedicado a la tarea.

2. **Revisión** Tal como se remarca en [31] (citado en [151]) “peer assessment is not only a tool to provide a peer with constructive feedback which is understood by the peer. Above all, peer assessment is a tool for the learner himself.” Los beneficios pedagógicos de esta etapa están ligados al concepto de *aprendizaje por observación*. Revisar el trabajo de un compañero mejora la percepción del problema, así como del conjunto de posibles soluciones. Asimismo, si se realiza de forma colaborativa, la revisión puede aflorar nuevas discusiones sobre temas no considerados previamente [37, 151]. Aparte de estos efectos en el nivel cognitivo, ya se han comentado previamente su posible efecto positivo sobre la motivación y el desarrollo de habilidades meta-cognitivas del alumno. La presión social y una cierta competitividad derivada de la comparación del propio trabajo con el de los compañeros, intrínseca del proceso, constituyen factores de influencia en la motivación del alumno. Por otra parte, al asociarse generalmente a la redacción de algún tipo de informe de evaluación, en el que se plasma tanto el juicio del revisor como los criterios que lo justifican, contribuye además al desarrollo de capacidades meta-cognitivas, como las capacidades de análisis crítico, razonamiento y argumentación, aparte, por supuesto, de la expresión escrita.
3. **Realimentación (recibida)** Finalmente, quizás las posibilidades de aprendizaje más obvias del proceso radican en la recepción de realimentación sobre el propio trabajo. Dicha realimentación puede complementar el propio punto de vista y ayudar a mejorarlo [52, 54], plantear soluciones alternativas, presentando una visión más completa y ayudando en definitiva a los alumnos en la comprensión de los diferentes aspectos de un concepto.

Diferentes autores asocian diversos efectos sobre el aprendizaje de los alumnos a la metodología de revisión entre iguales, fundamentalmente relacionados con los dominios cognoscitivo (tanto en el nivel cognitivo como meta-cognitivo), afectivo y social. Si bien los mecanismos de actuación concretos no han sido estudiados tan en detalle, en [135] se justifican los beneficios de la metodología (en el dominio cognitivo) por el incremento que implica en una serie de variables relacionadas con el proceso de aprendizaje, entre las que se citan el tiempo dedicado a la tarea, participación, implicación, práctica o la responsabilidad.

A continuación, se discuten los efectos de la metodología de revisión entre iguales en diferentes dimensiones educativas [133], con especial atención al dominio cognoscitivo al ser el que comúnmente se prioriza en la educación formal.

Dominio cognoscitivo (nivel cognitivo y meta-cognitivo)

Perspectiva del evaluador Según la taxonomía de objetivos educativos propuesta por Bloom en [15], los objetivos cognitivos se estructuran en una pirámide ordenada por complejidad, en la que cada nivel supone el dominio de los inferiores. Como se puede observar en la figura 2.3, en su propuesta original, el equipo dirigido por Benjamin Bloom sitúa en el nivel superior de dicha taxonomía los objetivos de evaluación. Aunque posteriormente se ha discutido dicha propuesta, intercambiando los niveles de evaluación y síntesis o situando ambas en un nivel de complejidad equivalente, se mantiene la evaluación como uno de los niveles más complejos en la pirámide.



Figura 2.3: Taxonomía de Bloom para el dominio cognitivo.

Ello explica el potencial asociado a la metodología de revisión entre iguales como instrumento de desarrollo, no sólo de los niveles inferiores sino también de los superiores, al implicar la realización de actividades cognitivamente exigentes por parte del evaluador, que pueden ayudarle a consolidar, reforzar y profundizar la comprensión. Entre dichas actividades, en [143] se citan la revisión, síntesis, clarificación, proporcionar realimentación, diagnóstico de errores, identificación de lagunas de conocimiento e identificación de desviaciones respecto al ideal. Por su parte, en [59] se destaca el proceso de cuestionar el trabajo objeto de la evaluación, el planteamiento de preguntas inteligentes y apropiadas.

La expresión *aprender enseñando*, frecuentemente aplicada a la tutoría de compañeros, se convierte en *aprender evaluando* en este contexto. El proceso de evaluación es un proceso reflexivo: implica la realización de actividades

situadas en los niveles superiores de la taxonomía de Bloom; pero también implica un incremento en el tiempo dedicado a la tarea pensando, comparando, contrastando y comunicando [133].

Perspectiva del evaluado Los efectos de la metodología de co-evaluación desde la perspectiva del alumno evaluado están directamente relacionados con la disponibilidad de realimentación sobre su trabajo. La realimentación se reconoce asociada a una mayor efectividad del proceso de aprendizaje en un amplio rango de escenarios. Sin embargo, algunos autores [133] restringen su utilidad a la posibilidad de reacción ante la misma por parte del autor (lo cual enfatiza aún más la importancia de su inmediatez).

La realimentación permite [10, 26, 74, 89]:

- identificar y corregir errores (previo incluso a la acumulación de subsiguientes errores)
- consolidar aciertos
- descubrir posibilidades de mejora
- identificar el siguiente paso a desarrollar
- hacerse una idea más precisa respecto a la propia situación (evitando riesgos de sobreestimación o infravaloración)
- mayor tiempo dedicado a la tarea
- reflexión posterior sobre el trabajo realizado

Dicha información puede caracterizarse mediante un conjunto de atributos descriptivos fundamentales, que facilita su comparación con otros mecanismos de evaluación.

- volumen
- diversidad
- objetividad⁶

⁶La objetividad está relacionada con la diversidad de fuentes de evaluación, pero también con la materia evaluada y el instrumento de evaluación utilizado. Así los tests de respuesta múltiple son el ejemplo paradigmático de evaluación objetiva, mientras que en la corrección de una poesía intervienen probablemente elementos subjetivos aparte de los meramente formales.

- inmediatez (retardo)
- frecuencia
- calidad (englobando factores como exactitud, profundidad, etc.)

Así, al disponerse de un conjunto de evaluadores significativamente más amplio que en la evaluación tradicional realizada por el profesor, la información disponible será mayor, posiblemente menos subjetiva al integrar diversas fuentes y llegará a su destinatario con un menor retardo. En contrapartida, la menor experiencia y conocimientos de los alumnos respecto al profesor cuestiona su capacidad como evaluadores y la calidad de la realimentación que pueden proporcionar.

Pese a que algunos autores [133] sostienen que el aumento en el volumen y diversidad de la información disponible así como la disminución del retardo compensa la posible (probable) disminución de calidad, ésta sigue considerándose un factor clave, cuestionándose incluso la aplicabilidad de la metodología en el ámbito educativo. Sin embargo, como se vio en el apartado anterior (cfr. apartado 2.5.2) un amplio rango de estudios experimentales avalan la utilidad de la metodología en este contexto.

Por último, tal como se recoge en [133], hay que tener en cuenta que diferentes tipos de realimentación pueden tener diferentes efectos en diferentes estudiantes.

Perspectiva común Se distinguen diferentes tipos de realimentación en función de su profundidad: correctiva, de refuerzo, explicaciones didácticas y realimentación crítica [18]. Obviamente, los beneficios sobre el aprendizaje de evaluador y evaluado quedan absolutamente supeditados a la profundidad de la evaluación realizada. Así, si se reduce a la simple identificación de errores y respuestas correctas (evaluación correctiva), el proceso supone un desafío mínimo para ambos y los beneficios consiguientes serán asimismo mínimos. Para alcanzar las expectativas de la metodología en toda su potencialidad, debería fomentarse una evaluación en profundidad, dotando a los evaluadores de los instrumentos y formación necesarios para cuestionar, explicar y asentar conocimientos (conceptuales, procedimentales y actitudinales) más allá de la simple indicación de la respuesta correcta.

Por otra parte, la involucración activa del alumno en el proceso de evaluación conlleva también efectos en su aprendizaje. Así, la discusión, especificación y aplicación de criterios de evaluación claros dilucida a su vez la materia evaluada, centrando la atención de los alumnos en los puntos clave.

Asimismo, la disponibilidad de trabajos evaluados facilita la identificación de las características identificativas de un buen nivel, frente a un rendimiento pobre.

Por último, el proceso comparativo intrínseco a la metodología permite al alumno situarse respecto a sus compañeros y respecto a los objetivos del curso (*referencia a la norma*).

Dominio afectivo

En diversas experiencias se ha observado resistencia por parte de los alumnos a asumir responsabilidades evaluativas. Sin embargo, la evaluación entre iguales involucra a los alumnos directamente en el proceso de aprendizaje y evaluación. Esta mayor implicación puede potenciar su responsabilidad y motivación.

La motivación es un factor al que cada vez se concede más importancia en la teoría y práctica docente por su influencia en el proceso de aprendizaje. Muchos estudiantes, especialmente aquéllos con escasa motivación y cuyos resultados no son buenos [99], prestan escasa atención al aprendizaje y están poco dispuestos a realizar procesos de alto nivel cognitivo.

El impacto motivacional de la metodología se ha comprobado en diversas experiencias prácticas, por efecto de factores como la presión social, competitividad, percepción como más fácilmente alcanzables de los objetivos superados por los compañeros, mejora en la confianza en sí mismo del alumno, etc.

Por otra parte, el intercambio de papeles entre los alumnos, que actúan tanto como evaluados como evaluadores, fomenta la empatía hacia los demás. Contribuye asimismo a desarrollar una actitud madura ante las críticas, tanto al realizarlas como al recibirlas.

Dominio social

Tal como se recoge en [133], también se potencian otros objetivos importantes en el desarrollo del alumno, como el trabajo en grupo o el aprendizaje activo; habilidades sociales, como la capacidad de negociación; o asertivas, como la argumentación de la propia opinión y la aceptación o rechazo de sugerencias.

2.5.4 La revisión entre iguales como proceso institucional

Por último, en [133] se señalan también efectos respecto a la dimensión institucional del proceso educativo. La evaluación entre iguales puede proporcionar a los alumnos una mejor perspectiva de los procesos de evaluación institucionales [49]. En consecuencia, los alumnos podrían desarrollar una mayor confianza en dichos procesos y mayor tolerancia hacia sus inevitables problemas e injusticias. Alternativamente, si los procesos institucionales de evaluación son inadecuados, puede generarse una presión positiva hacia su mejora al concienciarse de ello los alumnos.

Se ha sostenido que la evaluación entre iguales supone un menor coste en términos de recursos docentes que la evaluación tradicional, y que los alumnos están preparados para su aplicación (p. ej. [49]). Sin embargo, otros autores (p. ej. [35]) advierten de que puede no haber ahorro de tiempo a corto o medio plazo, puesto que establecer un proceso de evaluación entre iguales de calidad requiere a su vez tiempo para su organización, la formación de los alumnos y la supervisión del proceso. Si la co-evaluación se realiza de forma complementaria en vez de sustitutiva, es imposible el ahorro, y se incurrirá en costes extra o costes de oportunidad. Sin embargo, podría haber beneficios metacognitivos para la plantilla docente al igual que para los alumnos: la evaluación entre iguales puede llevar a analizar y clarificar los objetivos y propósitos, criterios y escala de puntuación de la evaluación.

2.5.5 Experiencias de aplicación

Las primeras experiencias de aplicación de la metodología de revisión entre iguales en el ámbito educativo se refieren a la evaluación de trabajos escritos. Si bien surgen inicialmente de forma natural en el contexto de asignaturas directamente relacionadas con la expresión escrita [45, 117, 27], tanto en la propia lengua como en el aprendizaje de un segundo idioma [154, 68, 92, 85], la extensión a otras disciplinas, no específicamente literarias o lingüísticas pero con altos requisitos de expresión escrita, resulta inmediata. Surgen probablemente motivados en principio por la necesidad de realizar ejercicios de redacción frecuentes, dada la naturaleza de la asignatura, y la carencia de recursos por parte de la plantilla docente para corregirlos y proporcionar a los alumnos la realimentación necesaria para extraer el máximo provecho de sus trabajos.

Es también muy frecuente, aunque su eficacia resulta más controvertida [133], su aplicación como instrumento de evaluación de trabajos de expresión

oral, tales como la exposición de trabajos y proyectos ante la clase [36, 48]. En este caso, la sobrecarga que implica la revisión para los alumnos es menor, puesto que el tiempo requerido para el examen del trabajo a evaluar está contenido en el horario docente.

La incorporación en el contexto de las disciplinas científico-técnicas fue posterior. La orientación inicial de la metodología hacia la revisión de ensayos y redacciones, no concuerda con la naturaleza de los ejercicios y prácticas de este tipo de disciplinas, más dirigidas al desarrollo formal y la resolución de problemas (con un resultado final concreto) y encaminados a la adquisición y fijación de conocimientos procedimentales más allá de la consolidación de los conceptos teóricos.

Aún así, la investigación científica se plasma en la redacción de artículos cuyo proceso de publicación se rige frecuentemente por la metodología de revisión entre iguales. Esta es la base de iniciativas como la descrita en [131, 100, 113], en la que se propone la redacción y revisión entre iguales de ensayos sobre temas de la asignatura para el aprendizaje de química. En [126] se describe otra experiencia de aplicación, en geografía, en un curso de microclimatología.

También se mantiene la naturaleza ensayística de los trabajos en experiencias en ámbitos técnicos, teniendo en cuenta que el desarrollo de habilidades meta-cognitivas se mantiene como un requisito prioritario también en estos ámbitos.

Por ejemplo, en [72] se presenta una experiencia de aplicación de revisión entre iguales en la enseñanza de ingeniería, concretamente en un curso sobre bases de datos, cuyo objetivo es mejorar la expresión escrita de estudiantes de Informática. Paralelamente a la mejora de la expresión escrita, se persigue un objetivo más ambicioso: promover un cambio de paradigma en el aprendizaje, de modo que los alumnos sean responsables de su propio aprendizaje.

Sin embargo, debido al contexto socio-tecnológico en que se encuadran la mayoría de estas iniciativas, marcado por el espectacular auge de la web y la familiaridad de los alumnos (y los profesores) con la tecnología, muchas de estas iniciativas se basan en el uso de páginas web como medio de soporte de la información en lugar de documentos textuales clásicos.

Entre ellas podemos citar la descrita en [56], en la que se propone el diseño de páginas web sobre temas del curso (Arquitectura de ordenadores) y la revisión entre iguales se aplica como mecanismo para mejorar la calidad de dichos materiales.

Sin embargo, aunque mucho más escasas, existen también algunas experiencias de revisión entre iguales aplicadas a trabajos y proyectos específicamente

técnicos. Así, en [51] se utiliza la revisión entre iguales para corregir y proporcionar realimentación a los alumnos sobre sus diseños.

Tal como se explica en [151], la metodología de revisión entre iguales resulta especialmente relevante en la enseñanza y aprendizaje de programación. Debido a las dimensiones y complejidad de las actuales aplicaciones software comerciales, la mayoría de los programadores profesionales trabajan en equipo y la revisión entre iguales forma parte del propio ciclo de desarrollo de software (pruebas unitarias, de integración, de regresión, etc.). Asimismo, la revisión de código ajeno puede contribuir al desarrollo de las habilidades depurativas que forman parte esencial del bagaje de conocimientos procedimentales imprescindibles para estos profesionales. La importancia de esta metodología en la profesión queda patente en el código ético de la ACM [8] (citado en [72]):

“Quality professional work, especially in the computing profession, depends on professional reviewing and critiquing. Whenever appropriate, individual members should seek and utilize peer review as well as provide critical review of the work of others.”

Al igual que experiencias previamente citadas en otros campos, también la experiencia descrita en [79], desarrollada en una universidad de Taiwan, en una clase de Sistemas Operativos con 143 alumnos de tercer curso de Ciencias de la Computación, se inspira en el proceso de publicación de artículos científicos para formar un auténtico entorno de aprendizaje basado en dicho modelo. El estudio concluye, a partir del análisis de los resultados y las opiniones de los alumnos, que los alumnos muestran una mejoría no sólo respecto a los conocimientos relativos al curso, sino también en cuanto a habilidades metacognitivas (como pensamiento crítico, planificación, supervisión, regulación) y motivación, gracias al uso de la metodología de revisión entre iguales.

Al ser una metodología ampliamente utilizada en enseñanza, existen numerosas referencias sobre su aplicación en muy diversos campos. Aunque el uso más común y asentado es el relacionado con la evaluación de trabajos de redacción y expresión escrita [45, 64, 90, 72, 27] y oral [48], también se han publicado experiencias de revisión de otro tipo de actividades en ingeniería [84, 83, 51] y ciencias de la computación [51, 79, 52, 54, 151].

2.5.6 Sistemas de soporte

La incorporación de nuevas tecnologías como soporte para revisión entre iguales es mucho más reciente. Aunque la enseñanza fue uno de los primeros

campos de aplicación de los ordenadores, sorprendentemente sólo desde los años 90 se han utilizado como medio de interacción entre compañeros [52]. Y las primeras aplicaciones de soporte del proceso de revisión entre iguales para entornos educativos desarrolladas datan de 1995 [133, 52].

En la revisión del estado del arte publicada en el año 1998 [133], sólo se cita un artículo de la Universidad de Portsmouth [142] describiendo un sistema de soporte para la revisión entre iguales. La funcionalidad del sistema incluía funciones organizativas y de registro, asignación aleatoria de revisores a los alumnos, inserción de calificaciones (tanto compañeros como profesores), integración de calificaciones provistas por compañeros y profesores y cálculo de las calificaciones globales ponderadas, y generación de realimentación para los alumnos.

Desde entonces, se han desarrollado diversos sistemas. La irrupción de la web y su incontenible popularidad provocaron el uso de este medio, tan familiar para los alumnos, como base para la mayoría de los sistemas de soporte.

En la actualidad, existen diversos sistemas de revisión entre iguales, basados en la web prácticamente en su totalidad. Algunos más extendidos, utilizados en diferentes instituciones, son herramientas distribuidas comercialmente, como CPR [21, 131, 100, 113]. Otros, aún restringido por el momento su uso a los propios creadores, están en fase pre-comercial, como PG [51, 52, 54, 53, 57, 56, 55]. La mayoría, sin embargo, corresponden a soluciones ad hoc, proyectos propios desarrollados por el mismo entorno docente que los aplica, como los utilizados en [71, 12, 136, 151]. Por otra parte, algunos sistemas de e-learning incluyen funcionalidad de soporte para revisión entre iguales, por ejemplo [32].

A continuación se describen algunos sistemas de soporte para el proceso de revisión entre iguales, haciendo especial hincapié en el criterio de asignación de revisores utilizado.

Calibrated Peer Review (CPR)

Como se explica en [131], Calibrated Peer ReviewTM(CPR) [21] es una herramienta educativa basada en la web que potencia el aprendizaje de los alumnos mediante la redacción de trabajos sobre temas clave en un curso. Los alumnos escriben ensayos breves sobre un tema específico, propuesto por el profesor, guiados por un conjunto de preguntas preparadas para fomentar el pensamiento crítico y ayudar a los alumnos a organizar sus ideas. Una vez entregados los ensayos, se realiza una etapa de entrenamiento para la revisión. Los estudiantes leen y califican tres documentos de “calibración”, preparados a priori, con el objetivo de evaluar su competencia como revisores. Una vez

demuestran un cierto nivel como evaluadores, leen y evalúan anónimamente tres ensayos de sus compañeros y, finalmente, su propio ensayo. Según sus autores, la realización habitual de ejercicios de este tipo enseña a los estudiantes a articular las ideas para evaluar críticamente y coherentemente a sus iguales y su propio trabajo.

Es decir, CPR contempla una etapa intermedia de entrenamiento y cualificación del alumno como revisor, después de entregar su propio trabajo y antes de plantearle la revisión de ningún compañero. Durante esta fase, el alumno debe evaluar tres trabajos previamente preparados y sus respuestas se comparan con las revisiones del propio profesor. Sólo cuando el alumno ha superado satisfactoriamente dicha etapa pasa a la fase de evaluación. Esta etapa de entrenamiento tiene que diseñarse específicamente para cada trabajo propuesto, puesto que la competencia del alumno en un determinado tema no garantiza su competencia en otro diferente.

Los resultados del proceso, tanto de la etapa de entrenamiento como de las revisiones, son accesibles mediante informes de resultados. Cada alumno puede comprobar sus propios resultados así como las evaluaciones recibidas. Asimismo, el profesor dispone también de informes de resultados globales, con los datos del conjunto de los alumnos.

Las principales ventajas de CPR, siempre según sus autores, derivan de la metodología de trabajo implantada por el sistema. Teóricamente, CPR facilita la realización de trabajos escritos frecuentemente, con los beneficios que ello supone, sin que el profesor se vea desbordado por el tiempo necesario para su corrección. En primer lugar, los alumnos deben realizar un trabajo escrito sobre un determinado tema. En segundo lugar, deben leer y analizar otra serie de trabajos sobre ese mismo tema. Simplemente la repetición y el incremento en el tiempo dedicado constituyen una ayuda en el proceso de aprendizaje, como lo demuestra el hecho de que las últimas revisiones se realizan mucho más rápido que las primeras. Pero además del trabajo sobre el tema en sí, se fomentan una serie de habilidades meta-cognitivas, básicas en la formación del alumno: capacidad de síntesis, extracción de las ideas fundamentales, articulación de las propias ideas, razonamiento y justificación de las mismas, pensamiento crítico, incluso simplemente redacción y expresión escrita.

Una limitación inherente a este sistema es la naturaleza de los trabajos asignados a los alumnos. Se trata siempre de ejercicios de redacción. Aunque ello no restringe sus áreas de aplicación, puesto que se trata de una técnica absolutamente genérica y extendida a cualquier disciplina, sí cuestiona su utilidad para el aprendizaje de conocimientos procedimentales.

Una disciplina en la que esta limitación cobra especial relevancia es en

programación. Aparte del indudable interés que la redacción de memorias, informes, etc. puede tener en la formación de un futuro ingeniero, el bagaje de conocimiento fundamental a adquirir por los alumnos es la habilidad técnica necesaria para el desarrollo de programas -conocimiento procedimental-. En realidad, lo que ocurre en este caso es que los alumnos aprenden un nuevo “lenguaje”: el del ordenador. Y es su capacidad de expresión en “ese lenguaje” la que deben trabajar especialmente.

Por tanto, en escenarios como el descrito, interesa claramente la posibilidad de asignar ejercicios de otra naturaleza aparte de la redacción. Máxime teniendo en cuenta que la expresión escrita se trabaja en la etapa de revisión o que puede pedirse como complemento al trabajo práctico (por ejemplo, una memoria).

Peer Grader (PG)

PG (**P**eer **G**rader) es un sistema genérico de evaluación entre iguales basado en la World Wide Web. Desarrollado por Edward F. Gehringer, PG ha sido utilizado en la Universidad del Estado de Carolina del Norte durante los últimos 12 años aproximadamente. En la actualidad, su uso está orientándose al desarrollo de materiales educativos [56, 55], fomentando la participación del alumno en el proceso de diseño.

Los alumnos preparan sus trabajos y los envían al sistema. Dichos trabajos se asignan a otros alumnos para revisarlos y evaluarlos. El sistema permite la comunicación entre autores y revisores, así como la actualización de los trabajos por parte de los primeros. Admite asimismo la entrega de conjuntos arbitrarios de páginas web para revisión, característica única en el momento de su desarrollo en el año 2000.

Otra característica diferenciadora del sistema (en el momento de su desarrollo) es la implementación de la fase de evaluación de revisiones (cfr. figura 2.1), posibilitando a los alumnos evaluar la realimentación recibida como medida de control de calidad.

El criterio de asignación de revisores utilizado en PG intenta minimizar el riesgo de que algún trabajo quede sin revisar. Para ello, utiliza un algoritmo dinámico de asignación bajo demanda. Es decir, en lugar de asignar a priori un conjunto de trabajos para evaluar a cada alumno, espera a que el alumno solicite realizar una revisión para asignársela. Así se intenta garantizar que dicha revisión no quedará sin hacer. Para evitar futuras situaciones de conflicto, típicamente casos en las que quedan prácticas sin revisar y aún hay revisores libres pero no pueden asignarse a dichas prácticas pendientes porque se violaría

alguna de las restricciones (por ejemplo, el único revisor que queda para una práctica es autor de la misma), aplica algoritmos de asignación de recursos [57].

Esta aproximación ataca un problema fundamental de la metodología de revisión entre iguales: las revisiones no entregadas. El algoritmo intenta asegurar una solución *viable* (aunque no siempre con éxito), que minimice este problema. No aborda, sin embargo, el problema de la adaptación, sino que mantiene la aleatoriedad como característica intrínseca del criterio de asignación. Cualquier alumno se considera apto para realizar una revisión cualquiera, independientemente de su perfil, siempre que no implique que se asignen en el futuro revisores no válidos a otros trabajos.

OASYS

OASYS [12], acrónimo de On-line Assessment SYStem, desarrollado por Ward y Bhalerao, data de enero de 2000 y es uno de los primeros sistemas de soporte del proceso de revisión entre iguales basados en la web para cursos de programación. OASYS2 [151, 120, 121] es una evolución del sistema anterior, desarrollada por Sitthiworachart, Joy y Ward en 2002.

Se trata de un sistema híbrido, que combina corrección automática de preguntas de respuesta múltiple (MCQ) con evaluación entre iguales anónima para preguntas de respuesta libre. El sistema plantea tests vía web compuestos por preguntas cerradas, de respuesta múltiple, y preguntas abiertas de respuesta libre. Las primeras se corrigen mediante un sistema de evaluación automática; las segundas son evaluadas por los compañeros.

OASYS2 amplía la funcionalidad del sistema considerando también programas completos y facilitando la corrección de los mismos mediante una batería automática de pruebas de caja negra (pruebas de entrada-salida) que complementa la calificación de los compañeros. Desarrollado en 2002, es una adaptación de OASYS para revisión entre iguales de programas completos (código). Se apoya en el sistema BOSS [70] para la entrega vía web de los trabajos. Mantiene el carácter híbrido de su antecesor (OASYS) al integrar evaluación automática, mediante una batería de pruebas tipo caja negra (pruebas de entrada-salida) y la evaluación entre compañeros.

Para realizar la evaluación, los revisores disponen no sólo del programa entregado, sino también de los resultados de la batería de pruebas. Si bien esta información complementaria es útil para facilitarles la comprensión del código, plantea el riesgo de que algunos evaluadores decidan sus calificaciones basándose exclusivamente en los resultados de las pruebas.

OASYS utilizaba la revisión entre iguales para calificar tests de respuestas cortas realizados bajo condiciones de examen. OASYS2 evolucionó para realizar la revisión entre iguales de programas completos, escritos por los alumnos fuera del horario lectivo oficial. Sin embargo, la diferencia fundamental entre ambos casos son los patrones de comunicación utilizados. Así, en OASYS las revisiones se realizaban de forma individual. Sin embargo, la experiencia de uso de OASYS2 se basa en la definición colaborativa de evaluación entre iguales de Falchicov (cfr. apartado 2.5) de modo que contempla la discusión en grupo de las evaluaciones. Incorpora además al proceso, la etapa de evaluación de revisiones, principalmente con la intención de fomentar una realimentación de calidad (control de calidad del proceso).

El sistema de asignación de revisores también varía entre ambos entornos. OASYS aplica asignación dinámica de revisores, bajo demanda, aplicando un algoritmo que intenta equilibrar las asignaciones. Cuando un alumno solicita un trabajo para revisar, el sistema le asigna uno de la pila, elegido de forma no-determinística entre los que comparten haber sido calificados hasta ese momento el mínimo número de veces. Sin embargo, en OASYS2, al tener que planificar previamente las sesiones de evaluación en grupo, la asignación de revisores se realizaba también previamente, de forma no-dinámica. Además, todos los alumnos de un grupo deben revisar las mismas prácticas para poder discutir sus evaluaciones entre sí. En consecuencia, en OASYS2 los alumnos se organizaban en grupos (de tres), y cada grupo de revisores se asociaba a un conjunto de entregas (tres) realizadas por alumnos de otro grupo.

Según los autores, la organización en grupos de los evaluadores constituye una mejora significativa respecto a OASYS. Los evaluadores realizan comparaciones entre las entregas y son animados a reflexionar sobre sus decisiones mediante la discusión con sus compañeros, en vez de realizar juicios de forma aislada.

Una característica interesante de la experiencia descrita en [12] es que considera la habilidad de los alumnos en el proceso de asignación. Basándose en los resultados de la evaluación automática, se intenta asignar a cada alumno ejercicios de diferentes niveles para evaluar. También en [120], donde los grupos estaban formados por alumnos de distinta habilidad, determinada por sus resultados en un ejercicio previo. Así, cada evaluador discute sus calificaciones con un grupo de compañeros de variadas habilidades; cada evaluador observa y evalúa un conjunto de entregas probablemente de variada calidad; cada entrega recibe un conjunto de calificaciones de evaluadores de variada habilidad.

Se trata, pues, de una de las escasas experiencias que incorporan el nivel de los alumnos en el criterio de asignación, aunque no analiza el impacto de

esta incorporación. Sin embargo, no se incorpora realmente la adaptación en el proceso, puesto que el perfil de revisiones es idéntico para todos los alumnos. Por otra parte, el nivel de los alumnos suele mostrar una distribución continua permitiendo rara vez distinguir claramente fronteras de niveles rígidas, algo que también sería interesante considerar al introducir estos datos en el proceso de asignación. En definitiva, sería interesante introducir una mayor versatilidad de los criterios de clasificación y asignación así como un modelo de representación más acorde con los datos reales, tal como se plantea en este proyecto.

OPAS (Online Peer Assessment System)

OPAS (Online Peer Assessment System) [136] es un sistema de revisión entre iguales vía web, caracterizado por incorporar una etapa de discusión tras las revisiones. OPAS acentúa así la naturaleza colaborativa del proceso, potenciando la interacción entre autores y revisores. Integra también funcionalidad multimedia, posibilitando la evaluación de presentaciones grabadas en vídeo.

OPAS parte de una concepción de la revisión entre iguales como un caso particular de aprendizaje colaborativo en el que el proceso de aprendizaje se estructura mediante un determinado guion de colaboración (*collaboration script*) [30], es decir, un esquema más o menos fijo, un conjunto de reglas y fases que regulan la colaboración. La introducción del concepto de guion de colaboración complementa la tipología definida por Topping (cfr. tabla 2.3), facilitando la especificación formal de la funcionalidad de los sistemas de soporte y su consiguiente comparativa.

Siguiendo las recomendaciones de Topping [133], admite varias fases de entrega y revisión, de modo que los alumnos puedan responder a la realimentación recibida, al igual que PG (cfr. apartado 2.5.6).

En cuanto a los criterios de asignación de revisores, OPAS permite asignar los revisores de forma automática (aleatoriamente, evitando auto-revisión), manual, o combinando ambas. También permite definir grupos, de modo que los miembros de cada grupo se revisen unos a otros los trabajos.

Web-based Peer Review System (WBP)

El sistema WPR [79], desarrollado en 1998, tiene la apariencia de un sitio web y está diseñado con el objetivo de desempeñar varias funciones:

1. canal de distribución de información y centro de gestión para la entrega de trabajos y revisión de compañeros;

2. medio de interacción entre compañeros y construcción de conocimiento;
3. repositorio central de archivo para los procesos de construcción de conocimiento.

El profesor puede crear un nuevo curso en la página raíz del sistema WPR mediante un formulario plantilla que puede modificarse de acuerdo a los requisitos específicos de cada curso. Una vez creado, se genera automáticamente un nuevo directorio con el nombre del curso. Simultáneamente, todas las demás páginas relevantes se generan también de forma automática, y se enlazan algunos programas al nuevo directorio.

Mediante la página de administración del curso, la plantilla docente puede realizar de forma efectiva tareas de gestión del proceso de aprendizaje, como mantener registros de fichas de alumnos, publicar enunciados, solicitar evaluaciones de compañeros, fijar programas de evaluación, visualizar entregas de los alumnos y resultados de evaluación.

Por su parte, mediante el centro de información del curso, los alumnos pueden presentar y modificar sus trabajos o revisar los de otros compañeros. El formato de las entregas de los alumnos es HTML, para facilitar el acceso a las mismas, y la entrega se realiza mediante un programa CGI, que copia los ficheros en el sitio web, en el directorio del alumno.

Para mantener el anonimato en el proceso de evaluación, con vistas a asegurar la equidad y buenas intenciones de las críticas, el sistema asocia un número de serie a cada ejercicio. Asimismo, realiza un duplicado de cada ejercicio, antes de la evaluación, para mantener las diferentes versiones con vistas a su posterior análisis.

Team Developer

Team Developer [83], un cuestionario basado en ordenador, está diseñado para proporcionar a cada alumno realimentación constructiva y formativa respecto a su desempeño en varias habilidades cognitivas y actitudinales específicas.

El objetivo del sistema es facilitar, mediante la introducción del ordenador, la implantación de procesos de evaluación multi-origen⁷ simplificando los procesos de recopilación, análisis y disseminación de los datos.

⁷Es decir, procesos en los que diferentes actores desempeñan el papel de evaluadores, típicamente combinando las evaluaciones del profesor, los compañeros y el propio alumno

La aplicación básica permite a los alumnos miembros de un equipo evaluarse, tanto a sí mismos como a sus compañeros de grupo, para identificar habilidades basadas en comportamientos que han resultado importantes para ingenieros profesionales. A partir de los datos recopilados, genera automáticamente informes, proporcionando a cada alumno una realimentación confidencial con los resultados de su auto-evaluación y la evaluación realizada por sus compañeros de grupo para cada punto del cuestionario y señalando puntos fuertes así como áreas de posible desarrollo globales.

Existen cientos de publicaciones sobre diferentes aspectos del proceso de revisión, aplicaciones prácticas, casos de estudio, dificultades y beneficios, herramientas de soporte, etc. En [133] puede encontrarse una completa revisión sobre la aplicación de la revisión entre iguales en educación superior.

No obstante, es sorprendente la escasez de referencias en la literatura sobre cómo asignar revisores a los autores o a los trabajos. Y ello pese a considerarse uno de los factores de influencia clave en los beneficios del proceso de revisión en el aprendizaje del alumno [133]. Generalmente, los criterios de asignación se reducen a asociación aleatoria y, normalmente, ciega. Tampoco suelen proporcionarse detalles sobre los algoritmos utilizados para su implementación ([57] es una excepción). Dado el volumen de publicaciones asociado a esta materia, así como su extensa trayectoria, resulta ciertamente extraña esta laguna.

2.6 Conclusiones

En los últimos años, la evaluación entre iguales mediada por ordenador ha experimentado una notable evolución, especialmente en el ámbito educativo. Tras una etapa inicial en la que las aplicaciones, así como su difusión, eran escasas, está en lo que podría denominarse la etapa de eclosión de la tecnología. El número de aplicaciones comienza a aumentar y empiezan a surgir aplicaciones comerciales (cfr. apartado 2.5.6). Es probable que en un lapso de tiempo cercano se alcance la madurez.

Por ello, es un momento en el que es necesario reflexionar sobre las características y requisitos de la metodología de revisión entre iguales desde la perspectiva del entorno educativo.

La orientación constructivista de la pedagogía actual conlleva un esfuerzo constante por implicar de forma activa al alumno en el proceso de aprendizaje. En esta corriente se enmarca el creciente auge de la revisión entre iguales en el ámbito educativo.

También se observa una tendencia en la pedagogía actual al énfasis de las metodologías de aprendizaje colaborativo y cooperativo. Así, en los últimos años se observa una tendencia paralela hacia la orientación colaborativa de la metodología de revisión entre iguales, bien como complemento de metodologías de aprendizaje colaborativo tradicionales (trabajo en grupo sobre un proyecto) o bien como metodología colaborativa en sí (discusión de las revisiones en grupo).

Sin embargo, la pedagogía actual también aboga por adaptar el proceso educativo en función de las características del alumno, para optimizar su rendimiento, facilitar el aprendizaje, mejorar su calidad y asegurar la motivación del estudiante. Y, si bien se observa en la metodología una tendencia a la orientación colaborativa, no se observa una respuesta similar a las necesidades de personalización.

¿Qué posibilidades de adaptación presenta el proceso de revisión entre iguales? Uno de los posibles puntos de actuación es la adaptación de contenidos, en la etapa de planteamiento del problema, previa al proceso de revisión. Esta posibilidad se enmarca en las tecnologías de adaptación de contenidos y constituye la línea tradicional de los sistemas de tutoría inteligente. Otro posible punto de actuación, específico de la metodología, radica en el proceso de asignación de revisores.

Existen cientos de publicaciones sobre diferentes aspectos del proceso de revisión, aplicaciones prácticas, casos de estudio, dificultades y beneficios, herramientas de soporte, etc. En [133] puede encontrarse una completa revisión sobre la aplicación de la revisión entre iguales en educación superior.

Sin embargo, sorprendentemente, apenas se encuentran referencias en la literatura sobre cómo asignar revisores a los autores o a los trabajos. Y ello pese a considerarse uno de los factores de influencia clave en los beneficios del proceso de revisión en el aprendizaje del alumno [133]. En este sentido, existen algunos trabajos que guían la revisión potenciando la diversidad [90, 151]. Sin embargo, por regla general, los criterios de asignación se reducen a asociación aleatoria y, normalmente, ciega.

Dado el volumen de publicaciones asociado a esta materia, así como su extensa trayectoria, resulta ciertamente extraña esta laguna. Esta tesis intenta cubrir esta ausencia y responder a los retos planteados por la orientación adaptativa de la pedagogía actual. Se centra, pues, en el estudio de las posibilidades de adaptación específicas de la metodología de revisión entre iguales en el ámbito educativo, basadas fundamentalmente en la manipulación del proceso de asignación de revisores.

Capítulo 3

Metodología de revisión entre iguales adaptativa

*If knowledge can create problems,
it is not through ignorance that we can solve them.*

Isaac Asimov

En este capítulo se define la metodología de revisión entre iguales que incorpora las posibilidades de adaptación al alumno y se propone un modelo de implementación genérico.

3.1 La adaptación como respuesta a la diversidad

La diversidad es una realidad cada vez más patente en las aulas en la actualidad. A factores diferenciadores presentes de forma constante en cualquier proceso educativo, como el estilo de aprendizaje, la capacidad intelectual, etc. se suman ahora otros producto de la evolución social: inmigración, conocimiento de la lengua, globalización, formación continua. Tanto en la educación presencial como a distancia o virtual, reglada y no reglada, la diversidad del alumnado suscita nuevos retos y posibilidades.

La diversidad implica una diferente respuesta por parte de los alumnos a un mismo proceso (educativo, comunicativo, de aprendizaje, de colaboración,

etc.). Este hecho no tiene porqué ser negativo, si la metodología educativa se adecua a dicha diversidad. Indudablemente, puede suponer un efecto enriquecedor para el proceso de aprendizaje, si se explota la complementariedad de los distintos perfiles, experiencias y conocimientos. Sin embargo, probablemente sí puede generar efectos indeseables si se intenta aplicar una acción indiferenciada a los distintos alumnos. O al menos, no se alcanzará todo el potencial del proceso.

Las teorías pedagógicas modernas, y muy especialmente el constructivismo, reconocen la diversidad de los alumnos y sugieren como respuesta la adaptación. El constructivismo sostiene que el nuevo conocimiento se construye en la mente de los alumnos, a partir de los esquemas conceptuales previos que cada uno de ellos posee. Para garantizar la eficacia del proceso de aprendizaje, es necesario conocer previamente la situación de partida del alumno, de modo que pueda utilizarse como punto de anclaje de los nuevos conceptos, es decir, una concepción personalizada del proceso de aprendizaje.

La adaptación del proceso de aprendizaje requiere una fase de análisis, previa al desarrollo del proceso, y una fase de aplicación durante el mismo. La primera, partiendo del reconocimiento de la diversidad de los alumnos, consiste en el análisis sobre la forma en que influyen dichas diferencias en el proceso de aprendizaje y de las posibilidades de manipulación que ofrecen. La información recopilada en esta fase de análisis previo permite definir las estrategias de adaptación que se llevarán a cabo en la fase de aplicación. Durante el desarrollo del proceso, determinar con la máxima precisión posible la situación concreta de cada alumno en un instante determinado, es un requisito crítico para poder ofrecerle las opciones más adecuadas para potenciar los efectos positivos del proceso.

Cualquier proceso educativo en el que exista diversidad es, pues, susceptible de adaptarse para mejorar la eficacia del mismo. En los siguientes apartados se analizan las posibilidades de adaptación que presenta la revisión entre iguales como proceso de aprendizaje.

3.2 Análisis de la adaptabilidad del proceso de revisión entre iguales

En un entorno educativo, la adaptación del proceso de revisión entre iguales se centra en la adaptación de las distintas actividades que desarrolla el alumno durante el proceso (cfr. apartado 2.4.1).

En los siguientes apartados se analizan las posibilidades de adaptación de cada una de ellas, que radican en diferentes mecanismos en función de las diferentes actividades desarrolladas por el alumno.

3.2.1 Fase de desarrollo: resolución del problema y/o desarrollo del proyecto planteado

Adaptar esta actividad implica variar el planteamiento del problema, bien el problema a resolver, la temática, la metodología propuesta, las técnicas de resolución a utilizar, etc., en función del perfil del alumno.

En realidad no se trata de una actividad específica y diferenciadora de la revisión entre iguales, sino que corresponde a una casuística equivalente a otros procesos educativos, como aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en problemas, trabajo en equipo, etc.

En consecuencia, la adaptación en esta fase no requiere una metodología específica, sino que sigue patrones ya definidos para procesos educativos similares, entroncando directamente con la tecnología de adaptación de contenidos, adaptación de trabajo en grupo, etc.

3.2.2 Fase de revisión: análisis crítico y evaluación de soluciones propuestas por compañeros

La evaluación por parte de los alumnos es la actividad característica de la revisión entre iguales. Por este motivo, la metodología propuesta centra la adaptación del proceso en la adaptación de esta actividad.

Los mecanismos de adaptación pueden actuar en dos líneas:

1. Adaptación del trabajo propuesto para evaluar, es decir, asignar para revisar un trabajo determinado a un determinado alumno en función de las características del primero y del perfil del último.
2. Adaptación de las tareas y criterios de evaluación, instando al revisor a centrarse en determinados aspectos del trabajo evaluado en vez de en otros en función de su perfil (o del perfil del autor).

La segunda línea plantea una serie de problemas inherentes que desaconsejan su aplicación. El fundamental es la incoherencia que introduce en las

evaluaciones, de cara a los autores. Cada alumno podría ser evaluado de diferentes formas y, pese a los potenciales beneficios que supuestamente supondría para el revisor la adaptación, rompe la objetividad deseable en todo proceso de evaluación. A esto hay que añadir la no desdeñable carga de trabajo que supone para el profesor plantear diversos cuestionarios y criterios de evaluación.

Todo ello conduce a centrar la adaptación en el proceso de asignación de revisores. El guiado de dicho proceso implica siempre una actuación sobre las interacciones entre los alumnos, puesto que se definen las relaciones autor-revisor que se establecen entre ellos. Implica asimismo adaptación de contenidos, puesto que el material analizado por los revisores será convenientemente seleccionado. Por ejemplo, en el caso de plantearse en la fase de desarrollo diferentes alternativas temáticas, el proceso de asignación de revisores podría controlarse de modo que se complementara el trabajo de los alumnos asignándose a los revisores material sobre la opción no seleccionada.

3.2.3 Fase de evaluación de revisiones: análisis crítico y evaluación de revisiones realizadas por otros compañeros

En esta actividad cabe distinguir dos alternativas dependiendo de la casuística concreta del escenario de aplicación.

Caso 1: evaluación de revisiones de otros alumnos por parte de alumno neutro, distinto de autor y revisor.

Caso 2: evaluación de revisiones recibidas por parte del propio autor (o autores).

El primer caso, la evaluación de las revisiones se realiza por parte de terceros alumnos, diferentes tanto del autor como del revisor, se encuadra en el caso general de evaluación de un material dado, de modo que las posibilidades de adaptación coinciden con las analizadas para la fase de revisión de un proceso genérico (cfr. apartado 3.2.2).

El caso más habitual, sin embargo, plantea el análisis de las revisiones recibidas por parte de los propios autores. En este caso, la adaptación se basa en la selección previa del revisor o revisores, de modo que sus comentarios se adecuen a las necesidades del autor. La adaptación se centra de nuevo en el proceso de asignación de revisores.

3.2.4 Conclusiones

A lo largo de esta sección se han analizado los potenciales mecanismos de adaptación al alumno susceptibles de aplicación en el proceso de evaluación entre iguales. Dichos mecanismos se encuadran en dos actuaciones genéricas:

1. Adaptación de contenidos
2. Adaptación de interacciones

De todos los posibles tipos de interacción que involucran al alumno en un proceso educativo (alumno-profesor, alumno-contenido y alumno-alumno, según el modelo de Moore [87]), la interacción alumno[autor]-alumno[revisor] es la característica del proceso de evaluación entre iguales, en relación con otros procesos educativos. La adaptación del proceso se centra, en consecuencia, en adaptar dicha interacción.

Por otra parte, al existir dos alumnos involucrados, la adaptación puede enfocarse desde dos puntos de vista alternativos, según se priorice la adaptación al alumno-revisor, o bien, la adaptación al alumno-autor. La primera busca potenciar los efectos de los mecanismos de aprendizaje por observación asociados al proceso de revisión. La segunda enfatiza el aprendizaje asociado a la recepción de realimentación sobre el propio trabajo. Ambas alternativas no son excluyentes sino que por lo general se intentarán potenciar ambos tipos de aprendizaje. Dependiendo del énfasis relativo que se adjudique a los diversos mecanismos de aprendizaje involucrados en el proceso de revisión entre compañeros, dicha adaptación se realizará en referencia al alumno-autor, priorizando el aprendizaje asociado a la recepción de realimentación sobre el propio trabajo; o bien en referencia al alumno-revisor, priorizando el aprendizaje por observación. La metodología propuesta engloba ambas posibilidades así como su combinación, permitiendo definir de forma dinámica los objetivos concretos dependiendo del escenario de aplicación.

En los apartados siguientes se plantea la incorporación de la adaptación a la metodología de revisión entre iguales así como una arquitectura genérica de implementación. La metodología propuesta es genérica, de modo que los criterios de adaptación concretos son definidos por el docente en tiempo de aplicación, dependiendo del contexto educativo de la experiencia y de los objetivos didácticos perseguidos.

3.3 Consideraciones pedagógicas

El uso de la metodología de revisión entre iguales en enseñanza se fundamenta en la teoría del constructivismo social del aprendizaje (cfr. apartado 2.2.3) [133, 79], aunque sus raíces se remontan a las teorías de Piaget [97] sobre el *conflicto cognitivo* [133]. También actúan otros mecanismos de aprendizaje, como el aprendizaje por observación (cfr. apartado 2.2.2), el concepto de refuerzo (cfr. apartado 2.2.1) o el aprendizaje por descubrimiento (cfr. apartado 2.2.3).

El constructivismo (cfr. apartado 2.2.3), cuyo máximo exponente es Novak, sostiene que el nuevo conocimiento se construye a partir de la experiencia y el conocimiento previo [42]. Según esta teoría, el aprendizaje es un proceso interno de reorganización cognitiva [116], supone construir o modificar la estructura interna de conocimiento previa del individuo en respuesta al conflicto cognitivo. La concepción constructivista del aprendizaje afirma que el conocimiento no se recibe o descubre de forma pasiva, sino que se adquiere de forma activa. El alumno es, pues, responsable último de su aprendizaje.

El constructivismo social [108, 109, 110, 111], rama derivada del constructivismo basada en las ideas de Vygotsky, aunque mantiene la responsabilidad del individuo en el desarrollo de su propia estructura de conocimiento, reivindica la importancia de la interacción con otros individuos en el proceso de aprendizaje. Concibe al individuo como un ser social y el conocimiento como un producto también social. Según esta teoría, el conocimiento además de formarse a partir de las relaciones con el ambiente, es la suma del factor del entorno social. Los nuevos conocimientos se forman a partir de los propios esquemas de la persona productos de su realidad, y su comparación con los esquemas de los demás individuos que lo rodean.

Es decir, considera el aprendizaje un proceso de construcción compartida del conocimiento mediante la interacción (por ejemplo, discusión, diálogo, etc.). El papel del profesor es el de experto que facilita a los alumnos su aprendizaje, mediante recursos y prácticas apropiadas, y crea un ambiente de aprendizaje motivador, facilitando la interacción y participación activa de los alumnos.

La idea básica del constructivismo social es que las personas construyen (de forma activa) su conocimiento a través de un diálogo continuo con otros individuos. Desde esta perspectiva, el aprendizaje conlleva, pues, tanto un proceso interno personal como una dimensión social. En definitiva, esta teoría del aprendizaje conduce a reconocer los efectos de la interacción social en el proceso de aprendizaje.

El constructivismo social explica los efectos de la interacción mediante el concepto de *zona de desarrollo próximo* (en adelante, *ZDP*), definida como la región imaginaria existente entre el nivel real de desarrollo (capacidad para resolver un problema de manera independiente) y el nivel de desarrollo potencial (resolución de un problema, pero con la intervención y guía de alguien como puede ser un profesor o con la ayuda de un compañero más capaz, más hábil o con más visión que él mismo). Es decir, considera que el conocimiento de un individuo tiene un núcleo central que es *propio*, que es capaz de utilizar en el desempeño autónomo de tareas. Circundando ese núcleo existe una región, la zona de desarrollo próximo, en la que el individuo tiene algún conocimiento, pero necesita ayuda para desempeñar las tareas que dependen de ese conocimiento.

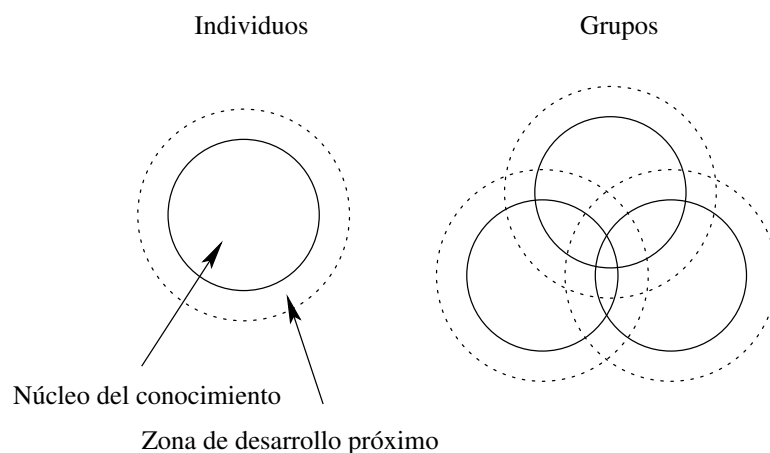


Figura 3.1: Núcleo de conocimiento y zona de desarrollo próximo.

Al interaccionar los alumnos entre sí, ciertas partes del conocimiento nuclear de cada uno de ellos se solapan con el de otros y, lo que es más importante, la ZDP de un alumno se solapa con el conocimiento nuclear de otros. Desde este modelo, se concluye que el núcleo del conocimiento colectivo es mayor que el de cada individuo, pero también que cada persona puede apoyar el desarrollo cognitivo del grupo proporcionando un andamiaje para otros en dominios donde su conocimiento no puede ser aún utilizado de forma autónoma (ver el modelo simbólico representado en la figura 3.1 [78]).

Surge así el modelo de aprendizaje asistido (*scaffolded learning*). Del modelo de la ZDP se desprende también que el nivel de desarrollo de los individuos tiene una marcada influencia en los potenciales resultados de su interacción. Los beneficios de dicha interacción serán escasos si no existe intersección o si

ésta se limita al núcleo de conocimiento de ambos. Serán en cambio especialmente positivos si se produce un solapamiento entre el núcleo de conocimiento de un alumno y la ZDP de otro, puesto que serán capaces de apoyarse mutuamente y expandir sus respectivos núcleos de conocimiento propios mediante esos apoyos.

Cualquier iniciativa de aprendizaje colaborativo debería tener en cuenta estas consideraciones, guiando cuidadosamente el proceso de interacción. En el caso de la revisión entre iguales implica que el proceso de asignación de revisores no es neutro respecto a los objetivos de aprendizaje sino que previsiblemente influye en sus resultados. Diversos autores coinciden en este juicio, pero coinciden también en destacar la escasa atención dedicada a este problema [133, 57], como se concluye de la revisión del estado del arte. Ésta es precisamente la línea de actuación de este proyecto.

3.4 Integración de mecanismos de adaptación en la metodología de revisión entre iguales

A partir de las consideraciones pedagógicas desarrolladas en el apartado anterior, se postula la influencia de la estrategia de asignación de revisores en los resultados educativos del proceso de revisión entre iguales, y la consecuente necesidad de atender criterios pedagógicos en dicha asignación.

La hipótesis subyacente es que las características de los alumnos, autor y revisor, influyen en los resultados del proceso. Así, la asignación de un alumno como revisor de un trabajo no es indiferente, sino que puede resultar más o menos adecuada en función de los perfiles del autor, del revisor y del trabajo desarrollado.

La metodología de Revisión entre Iguales Adaptativa propuesta tiene como objetivo adaptar el proceso de evaluación entre iguales en respuesta a la diversidad de los alumnos. La adaptación se realiza mediante la selección del revisor (o revisores) más apropiados para cada entrega en función de criterios pedagógicos, basándose en el perfil de los alumnos, tal como se justifica previamente.

La metodología propuesta mantiene los roles y la estructura básica del proceso de revisión entre iguales (cfr. sección 2.4.1), pero introduce la adaptación al alumno en el proceso, actuando fundamentalmente sobre la etapa de asignación de revisores, tal como se justifica en los apartados anteriores. Subsidiariamente, también es necesario considerar la incorporación de mecanismos

de captura de datos que permitan determinar el estado del alumno con vistas a posibilitar dicha adaptación.

La adaptación del proceso, representado esquemáticamente en la figura 3.2, se apoya en tres pilares:

- *Modelo del alumno*. Es necesario disponer de información sobre el estatus del alumno para poder adaptar el proceso de forma efectiva de acuerdo a sus necesidades.
- *Criterios pedagógicos*. Las estrategias de adaptación deben supeditarse en todo momento a los objetivos didácticos del proceso de aprendizaje. En este sentido, en función del contexto concreto de desarrollo, deberán seleccionarse unos criterios de asignación de revisores u otros.
- *Algoritmo de asignación de revisores*. Una vez definido el estado de los alumnos, así como los criterios pedagógicos a aplicar, es necesario un mecanismo efectivo que permita implementar dicha estrategia.

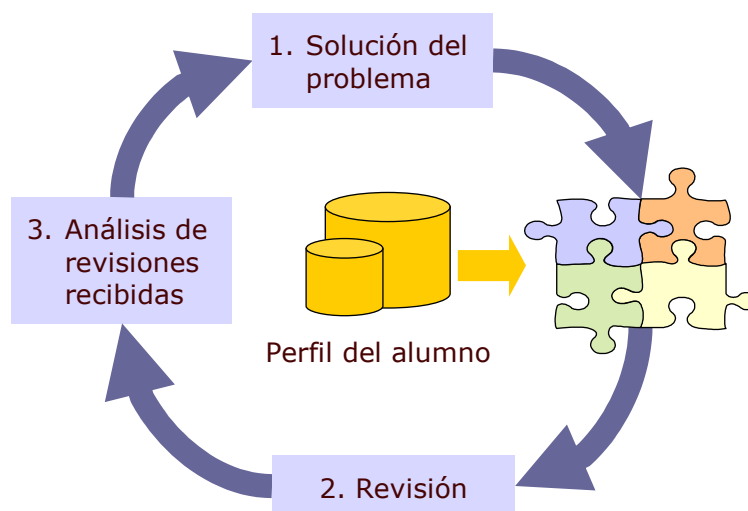


Figura 3.2: Adaptación del proceso de revisión entre iguales: actuación sobre la asignación de revisores.

3.5 Modelo del alumno

La base del proceso de adaptación al alumno radica en la información disponible sobre el mismo. El *modelo del alumno*, o *perfil*, se define como el

conjunto de variables utilizadas para caracterizarlo.

El modelo debe tener en cuenta la idiosincrasia de la interacción autor-revisor en la metodología de revisión entre iguales. A diferencia de otros procesos colaborativos de aprendizaje, en este caso la naturaleza de la interacción no es directa, sino mediada. Los alumnos no interactúan directamente entre sí, sino que la interacción se produce a través de los artefactos entregados: las soluciones al problema planteado, por parte de los autores; y la realimentación resultante del proceso de evaluación, por parte de los revisores.

Es decir, adaptar la interacción autor-revisor implica adaptar la interacción revisor-solución, la interacción autor-realimentación o ambas. En consecuencia, debe considerarse la caracterización de las soluciones y revisiones de los alumnos, para una correcta adaptación.

El modelo también debe considerar la naturaleza dinámica de la realidad representada. El estado del alumno no es estático e invariable sino que evoluciona en el tiempo. El aprendizaje supone un proceso de actuación y cambio de dicho estado, o, más específicamente, de algunas variables de estado, tal como resalta la definición constructivista del mismo como reorganización cognitiva (cfr. apartado 3.3). El modelo debe, lógicamente, reflejar dicha evolución.

3.5.1 Definición del modelo

Selección de características

La elección de las variables a considerar depende del escenario concreto de aplicación y los objetivos finales perseguidos con la adaptación, buscando siempre aquéllas cuya influencia sea más significativa en el desarrollo y resultados del proceso.

Asumiendo como objetivo prioritario la mejora del aprendizaje del alumno, en este trabajo se propone un modelo del alumno centrado en factores cognitivos, relacionados con el conocimiento de la materia de estudio por parte del alumno, siguiendo la corriente pedagógica constructivista y las teorías de Vygotsky sobre la zona de desarrollo próximo, de acuerdo a la discusión pedagógica expuesta previamente (cfr. capítulo 2 y apartado 3.3).

Se trata, por otra parte, de una decisión frecuente en el ámbito de los sistemas de tutoría inteligente, que centran el modelo del alumno en la representación del conocimiento en el ámbito del tutor.

Esta decisión se justifica, además de por las citadas teorías, por la especial naturaleza de la interacción entre autores y revisores. A diferencia de metodo-

logías cooperativas en las que los miembros del grupo interactúan entre sí para desarrollar un trabajo común, en el proceso de revisión entre iguales la interacción no se desarrolla de forma directa sino frecuentemente a través de los resultados entregados ¹. En este contexto, las variables relacionadas con la personalidad pierden relevancia, respecto a estudios de formación de grupos en función de las características de sus miembros [11, 60, 43].

Además de las justificaciones teóricas expuestas previamente, la selección de variables cognitivas como componentes del modelo ha sido validada experimentalmente en diversos contextos. Tal como se desarrolla en detalle en el capítulo 5, los datos experimentales obtenidos corroboran la influencia del nivel de conocimiento en los resultados del proceso. Dicha relación se refleja tanto sobre los resultados de aprendizaje subjetivo como objetivo.

En cualquier caso, no se descarta la influencia de factores alternativos, en especial si el objetivo prioritario es otro distinto. Así, en el caso de que la motivación del alumnado fuera un objetivo prioritario del proceso, se recomendaría integrar en el modelo variables representativas de los intereses y preferencias del estudiante. El análisis de la potencial influencia en el proceso de otras variables queda fuera del ámbito de estudio de este trabajo, planteándose como trabajo futuro.

Naturaleza dinámica del modelo

El estado del alumno no se mantiene invariante sino que experimenta una evolución continua. Dependiendo de su evolución temporal a lo largo del proceso, las variables se clasifican en:

- *Estáticas*: aquéllas que pueden asumirse razonablemente invariantes en el tiempo, al menos en cuanto a la duración del proceso. Por ejemplo, el sexo o el estilo de aprendizaje.
- *Dinámicas*: aquéllas que experimentan una variación significativa durante el desarrollo del proceso. El ejemplo paradigmático de esta categoría es el conocimiento del alumno sobre la materia objeto del proyecto desarrollado.

El modelo debe reflejar esta naturaleza dinámica de la información y actualizarse convenientemente a lo largo del proceso de modo que refleje lo más

¹Como excepción, cabe recordar los procesos de revisión entre iguales en los que la evaluación se realiza de forma presencial y directa, mediante una discusión en persona entre autores y revisores.

fielmente posible el estado real del alumno en cada momento.

Estructura del modelo

En este trabajo se propone la representación del estado del alumno mediante un modelo vectorial, al igual que en [42] y [11]. El alumno se representa en un espacio multi-dimensional mediante un vector cuyos componentes reflejan su nivel de desempeño en diferentes aspectos. La representación vectorial ofrece una correspondencia directa con los objetivos didácticos, familiares para el profesor, pudiendo integrarse o desglosarse jerárquicamente en diferentes niveles de detalle, según la granularidad necesaria.

Formalmente:

$$\vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (3.1)$$

siendo s_1, s_2, \dots, s_n el nivel de desempeño del alumno en diferentes aspectos de la materia, de acuerdo a los objetivos didácticos.

La elección del espacio vectorial como formalismo matemático para la representación del modelo responde a su adecuación a los requisitos de expresividad y usabilidad planteados. Por una parte su proyección directa sobre los objetivos didácticos lo hace idóneo para la representación del estado de conocimiento de los alumnos. Esta correspondencia no se traduce sin embargo en una pérdida de la capacidad de generalización del modelo, puesto que la integración de variables adicionales a las relacionadas con el nivel de rendimiento de los alumnos se resuelve mediante la incorporación de nuevas dimensiones. Se trata, por otra parte, de un formalismo intuitivo, lo que facilita su aplicación en entornos educativos reales. Por último, el concepto de *distancia*, necesario como se verá más adelante para posibilitar la comparación de diferentes estados o el estado de diferentes alumnos, es inherente al espacio vectorial, pudiéndose definir diferentes funciones según los criterios de comparación requeridos.

Se ha optado por un formalismo *sencillo* con vistas a facilitar la implantación de la metodología en entornos educativos reales, puesto que la viabilidad práctica supone un objetivo fundamental de la misma. Si bien alternativas tecnológicamente más complejas, como el uso de redes bayesianas para el modelado del alumno [66, 19], podrían ofrecer una mayor precisión en la representación de su estado, presentan una considerable dificultad para su uso en el aula. Por el contrario, el modelo vectorial constituye un mapeo directo del sistema de desglose en objetivos didácticos a que está habituado el profesorado.

En definitiva, se ha optado por una alternativa realista en detrimento de opciones tecnológicamente más complejas y cuyas ventajas teóricas resulta

discutible su extrapolación a entornos reales, con un alto nivel de ruido, o si dichas ventajas compensan frente a la complejidad introducida para los docentes no expertos en modelado.

3.5.2 Captura de datos

En los siguientes apartados se identifican las fuentes de datos disponibles para construir el perfil de los alumnos, las fuentes de ruido que afectan a las mediciones así como las alternativas de construcción del perfil.

Fuentes de datos

- *Fuentes intrínsecas.* Como indicadores intrínsecos, se dispone de las entregas propias del proceso de revisión entre iguales. Es decir, la solución desarrollada, las revisiones y las evaluaciones de las revisiones, si esta fase se incluye. Sin embargo, dichas entregas no pueden utilizarse directamente como fuentes de datos para el modelo, sino que deben procesarse previamente. La solución entregada es un indicador fiable y actualizado del nivel de su autor (o autores), pero debe evaluarse previamente para poder utilizarse como fuente de datos del modelo. Las evaluaciones ofrecen información directa sobre los alumnos evaluados. Aunque debe comprobarse su fiabilidad (por ejemplo, tomando la media de varios evaluadores o comprobando la dispersión entre ellas) y es posible que la información que facilitan esté desactualizada (las evaluaciones se refieren a la entrega anterior, y desde dicha entrega el autor puede desarrollar actividades en paralelo que modifiquen su estado). Sin embargo, también ofrecen información sobre el perfil del revisor que las ha realizado; si bien en este caso constituyen indicadores totalmente actualizados, deben evaluarse previamente (al igual que las soluciones).
- *Fuentes extrínsecas.* Se consideran fuentes extrínsecas cualesquier otros indicadores que no correspondan a entregas inherentes al proceso de revisión. Entre ellos se distinguen fuentes genéricas (externas) y fuentes ad hoc, en función de si corresponden a indicadores específicos para el desarrollo del proceso. Las primeras corresponden a medidas que ofrecen información sobre el alumno pero realizadas de forma totalmente ajena al proceso. Por ejemplo, exámenes previos de asignaturas relacionadas con la materia. Las segundas corresponden a indicadores orientados expresamente a determinar el estado del alumno en el proceso. Por ejemplo,

cuestionarios ad hoc desarrollados expresamente para evaluar la evolución del alumno. Las fuentes genéricas ofrecen como ventaja su disponibilidad. Presentan en cambio la falta de actualización y la posible falta de coherencia con el modelo como principales problemas. Por el contrario, la principal ventaja de las fuentes ad hoc es su adecuación al modelo, incluida su actualización, puesto que están diseñadas específicamente para ello. Su principal inconveniente es la falta de disponibilidad; no siempre puede contarse con este tipo de indicadores puesto que suponen una sobrecarga importante para el desarrollo del proceso.

La disponibilidad y la fiabilidad de estas fuentes varían, siendo factores a tener en cuenta en el diseño de la metodología.

Fuentes de ruido

Si bien el modelo del alumno debe reflejar con fidelidad el estado del mismo en cada momento, resulta imposible determinar con precisión dicho estado, tal como se señala acertadamente en [42]:

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.

Las principales fuentes de ruido que dificultan la representación del alumno en el espacio de conocimiento son:

- *Naturaleza dinámica de la realidad representada:*

El proceso de revisión entre iguales constituye un caso particular de proceso de aprendizaje. Como tal, supone una actuación sobre el conocimiento del alumno, que necesariamente irá evolucionando a lo largo del mismo. Esto implica que el estado del alumno variará, en mayor o menor medida, desde el punto de evaluación, según transcurra el tiempo.

Para minimizar el impacto de esta fuente de ruido, la evaluación del estado del alumno debería realizarse lo más próxima posible al punto en que se requiera la aplicación del modelo. En consecuencia, debería realizarse la actualización del estado del alumno inmediatamente antes del proceso de asignación de revisores, que es el mecanismo utilizado para la adaptación del proceso requiriendo información sobre el perfil de los alumnos involucrados.

- *Ruido inherente al proceso de medición:*

Tal como se discute en [42], el estado del sistema (nivel de conocimientos del alumno) es desconocido hasta que se realiza una medida. Sin embargo, el proceso de evaluación presenta varias peculiaridades que afectan a la forma de calcular el estado de conocimiento del alumno.

Durante el proceso de evaluación se produce una pérdida de distinciones en el espacio de estados del sistema. 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. Supone, pues, una discretización del espacio de conocimiento, dependiendo de los conceptos evaluados y la granularidad de las calificaciones. Al ruido anterior, inherente al instrumento de medida, se suma la imprecisión debida al desarrollo del proceso de evaluación.

En definitiva, el conocimiento del alumno puede no reflejarse fielmente en el indicador. Por ejemplo, el nivel de desempeño que se deduce de un examen teórico individual se refiere a un tipo de conocimiento muy específico, totalmente diferente del relacionado con el desarrollo a largo plazo de un proyecto en equipo. Pero también puede ocurrir que el alumno no dedique suficiente tiempo para desarrollar una buena solución aunque sí domine la materia, por desmotivación o por causas ajenas al proceso (interferencia con otras asignaturas y actividades, etc.).

Por último, el proceso de medida afecta de forma intrínseca al estado del sistema. La evaluación constituye en sí una fuerza que ejerce una considerable influencia en el estado de conocimiento del alumno, pudiendo modificarlo de forma sustancial, tal como se refleja en el reconocimiento de su dimensión formativa. Se trata de un problema análogo al *Principio de Incertidumbre* enunciado por Heisenberg en el ámbito de la física cuántica [42].

Alternativas de construcción del perfil

Como base para la construcción del perfil pueden utilizarse datos procedentes de las siguientes alternativas:

1. *Inducción.* Predecir el estado del alumno a partir de datos históricos. Esta alternativa resulta aplicable en el caso de las variables estáticas del modelo. Sin embargo, la información disponible sobre niveles de conocimiento previos a la fase de desarrollo no permite inducir de forma fiable

el nivel de la solución elaborada por el alumno, que a su vez es indicativo del nivel alcanzado por el alumno, tal como se detalla en el capítulo 5.

Los resultados experimentales apuntan a varios factores como causas de las discrepancias halladas: Por una parte, la diferencia en la naturaleza de las actividades evaluadas por los indicadores. Este es el caso, por ejemplo, de los errores de estimación del nivel de la entrega (resultado del desarrollo de un proyecto colaborativo) a partir de datos obtenidos en un test teórico o un examen escrito individual. Los resultados de la etapa de desarrollo están más relacionados con el tiempo y el esfuerzo dedicados a la solución del problema y los recursos de consulta disponibles, que con el nivel teórico previo del alumno.

Por otra parte, el tiempo y esfuerzos dedicados son determinantes y no son directamente extrapolables a partir de desarrollos anteriores. Por ejemplo, en un proceso de dos iteraciones, un alumno (o grupo) puede no dedicar suficiente tiempo en una primera fase con lo cual presenta una solución deficiente; y en cambio compensar ese primer resultado negativo en una segunda iteración, presentando una solución definitiva con un nivel alto. En este caso, no se puede predecir el resultado de la segunda fase a partir de los resultados obtenidos en la primera, pese a tratarse de una tarea equivalente.

2. Evaluación de la *entrega* inmediatamente anterior, que puede realizarse:
 - (a) Evaluación automática: Si se trata de proyectos abiertos, la naturaleza de las entregas a evaluar hace muy difícil la aplicación de esta alternativa en entornos reales en la actualidad.
 - (b) Evaluación por el profesorado: Si bien constituye la alternativa más fiable, resulta insostenible por falta de escalabilidad.
 - (c) Evaluación por los compañeros: aparte de su potencial falta de fiabilidad, discutida en el apartado 2.5.2, resulta inviable, puesto que el dato se necesita antes de asignar revisores para adaptar el proceso.
 - (d) Auto-evaluación Esta alternativa constituye una solución escalable, con un coste asumible, y, tal como se justifica en el capítulo 5 a partir de los resultados empíricos, con un nivel de fiabilidad adecuado.

En este contexto, las entregas de los alumnos constituyen el indicador más actualizado de su estado. Las entregas correspondientes a la etapa de desarrollo reflejan el nivel de comprensión del problema planteado y el dominio del tema por parte de sus autores. Igualmente, las revisiones reflejan tanto el nivel

del trabajo revisado (si bien esta medida incorpora el ruido causado por la subjetividad del evaluador) como la capacidad crítica y evaluadora del revisor. Ventajas adicionales son su absoluta disponibilidad y la ausencia de sobrecarga asociada a las mismas, puesto que son un requisito intrínseco del proceso. Resulta lógico, en consecuencia, utilizarlas como indicadores para construir el perfil de los alumnos.

En definitiva, la construcción del perfil del alumno conduce a la caracterización de las entregas que éste efectúa a lo largo del proceso. En primer lugar, porque constituye un requisito para la correcta adaptación de la interacción, debido a su naturaleza indirecta o mediada. Pero también porque las entregas constituyen el indicador más actualizado del perfil del alumno, en cuanto a su estado cognitivo relativo al dominio de conocimiento objeto del proceso.

Sin embargo, se trata de respuestas abiertas y frecuentemente extensas. En definitiva, pese al interés de la información que contienen para la determinación del estado real del alumno, se trata de indicadores imposibles de evaluar de forma automática (al menos, en la actualidad no existen sistemas adecuados para ello).

El proceso de revisión entre iguales integra frecuentemente actividades de autoevaluación en su desarrollo [100, 23]. Así pues, la construcción del perfil del alumno a partir de datos recopilados mediante auto-evaluación no supone la inclusión de elementos ajenos y perturbadores en la metodología, sino más bien la generalización de una práctica habitual.

3.5.3 Conclusiones

La evolución continua de las variables dinámicas dificulta el mantenimiento de datos *actualizados* sobre el estado real del alumno en un determinado momento. La complejidad de la evaluación de variables dinámicas aumenta en metodologías de baja interacción como la presente. En el proceso de revisión entre iguales, los puntos de interacción del alumno con el sistema son mínimos, reduciéndose a las actividades de intercambio de información con sus compañeros. Es decir, a los procesos de entrega: de soluciones, de revisiones y de evaluación de revisiones (éste último opcional). Un sistema de tutoría inteligente clásico, por ejemplo, estructura el aprendizaje en actividades *atómicas*, de duración reducida, y puede plantear cuestiones en cada paso para comprobar la evolución real del alumno. Por el contrario, las actividades del proceso de revisión entre iguales suelen ser complejas y alargarse en el tiempo, superponiéndose habitualmente con otras actividades de aprendizaje de la propia asignatura, lo cual aumenta el ruido de la señal. Si bien podrían incorporarse

puntos de interacción adicionales, supondrían una sobrecarga; por tanto, no puede asumirse su disponibilidad.

Una solución habitual aborda el problema de la caracterización mediante el uso de cuestionarios. Generalmente se utilizan tests genéricos predefinidos para perfilar atributos psicológicos, como por ejemplo el test propuesto por Felder [124] para determinar el estilo de aprendizaje de los estudiantes [40, 39]. Sin embargo, para evaluar el nivel de conocimiento de los alumnos sobre la materia objeto de estudio suelen diseñarse cuestionarios ad hoc.

Esta opción, pese a ser considerada efectiva generalmente, presenta inconvenientes, en especial en clases numerosas. Representa un alto coste en términos de trabajo y tiempo, puesto que los cuestionarios deben diseñarse, responderse y evaluarse, todo ello de forma previa a la asignación de revisores. Más aún, en el contexto de la revisión entre iguales, a las dificultades de escalabilidad se suman problemas de precisión de los resultados. Tal como se explica en detalle en el capítulo 5, a partir de los datos experimentales se concluye que no siempre se puede predecir el nivel de una entrega basándose en el nivel previo de su autor o autores (es decir, en el nivel de los alumnos antes de comenzar el proceso de desarrollo). Es decir, si bien por lo general, el nivel de una entrega puede considerarse un buen indicador del nivel de su autor en ese punto, no puede garantizarse esta afirmación en sentido inverso, y el nivel del autor previo al desarrollo del trabajo no permite inducir con la precisión necesaria el nivel que alcanzará su entrega.

En conclusión, en esta tesis se propone incorporar un breve cuestionario de auto-evaluación en el proceso de entrega subsiguiente a la fase de desarrollo. Los datos de auto-evaluación recopilados permiten la caracterización de las entregas de los alumnos, de forma fiable y sostenible, tal como se demuestra mediante los resultados experimentales detallados en el capítulo 5. Esta información constituye el indicador más actualizado y fiable disponible sobre el estado (en cuanto a factores cognitivos en el dominio de conocimiento objeto del proceso de revisión entre iguales) del autor, lo que justifica su empleo para la construcción del perfil del alumno.

3.6 Modelo de especificación de criterios de asignación

3.6.1 Requisitos

La adaptación al alumno no implica un criterio de asignación prefijado. Al contrario, requiere la flexibilidad necesaria para especificar el criterio más adecuado en función del escenario concreto de aplicación.

En consecuencia, el sistema de definición del criterio de asignación debe ser configurable y flexible. Por otra parte, la usabilidad será un requisito fundamental para garantizar la aplicabilidad, puesto que el usuario responsable de la configuración de los criterios de adaptación será el profesor, no necesariamente de perfil técnico.

Estos requisitos conllevan la necesidad de un modelo de definición de criterios de adaptación flexible, suficientemente expresivo para cubrir las posibles configuraciones e intuitivo, para garantizar la usabilidad del sistema.

Definición 3.6.1 (Mapa). *Dados un conjunto de entregas \mathbb{E} y un conjunto de potenciales revisores \mathbb{R} , un mapa es una correspondencia $\mathcal{M}: \mathbb{E} \rightarrow \mathbb{R}$.*

3.6.2 Taxonomía de criterios de asignación de revisores

El proceso de asignación de revisores está sujeto a una serie de restricciones tanto intrínsecas, restricciones genéricas, inherentes al propio proceso de revisión entre iguales, independientes del contexto de aplicación; como extrínsecas, restricciones ad hoc específicas de un determinado contexto de aplicación. Estas restricciones responden, en general, a necesidades organizativas, como la de asegurar que ninguna entrega quede sin revisar. Es difícil identificar condicionamientos absolutos y universales, comunes a cualquier proceso. Por ejemplo, si la asignación de revisores se produce bajo demanda, puede darse el caso de no disponer de suficientes revisores para todas las entregas, con lo que se violaría la condición anterior. No obstante, pueden reconocerse una serie de requisitos que aparecen *frecuentemente* en el proceso de asignación de revisores y que restringen las potenciales asociaciones. La incorporación de la *adaptabilidad* a la metodología implica una extensión de la taxonomía de criterios de asignación de revisores.

La taxonomía propuesta a continuación relaciona los criterios de validez asumidos con mayor frecuencia en el proceso. El conjunto básico se extiende con

los criterios de optimización asociados a la adaptación del proceso. Para ello, se considera el escenario típico en que a cada entrega se asigna un conjunto de revisores². Esto supone una redefinición del concepto de mapa, más restrictiva:

Definición 3.6.2. [Mapa] *Dados un conjunto de entregas \mathbb{E} y un conjunto de potenciales revisores \mathbb{R} , un mapa es una función $\mathcal{M}: \mathbb{E} \rightarrow \mathbb{R}^{k_r}$, siendo k_r el número de revisores asignados a cada entrega.*

- **Validez:** restricciones que necesariamente debe satisfacer un determinado mapa
 - **Dominio:** Ninguna entrega puede quedar sin revisor(es). Formalmente, el dominio del mapa es el conjunto completo de entregas: $D_{\mathcal{M}} = \mathbb{E}$
 - **Unicidad:** A cada entrega deben asignarse k_r revisores *distintos*. Es decir, un revisor no puede asignarse dos veces a una misma entrega. Al igual que la anterior, es una condición derivada directamente de la definición restringida del mapa como función.
 - **Equilibrio o balanceo de carga:** Únicamente en determinadas circunstancias puede garantizarse que todos los revisores sean asignados exactamente el mismo número de entregas. Sin embargo, cada revisor potencial debería recibir un número similar de entregas para evaluar. Formalmente, la diferencia entre el número máximo y mínimo de entregas asignadas debe ser menor o igual a 1.
 - **Auto-exclusión:** Una entrega no puede ser evaluada por su propio autor. El autor no es un revisor equivalente a otro alumno que no haya intervenido en el desarrollo. Aunque ambos pertenecen al conjunto global de *alumnos*, pertenecen a distintas clases de equivalencia según la partición establecida por la relación de evaluación. Aunque en algún caso excepcional podría obviarse esta distinción, en condiciones normales se mantiene, de modo que o bien todos los alumnos auto-evalúan su trabajo o bien ninguno lo hace. En cualquiera de los dos casos, se trata de un proceso ortogonal a la asignación de revisores (no-autores) y puede por tanto tratarse separadamente.
 - **Constelación:** Se entiende por constelación la configuración de la distribución de revisiones. En esta categoría se enmarcan, pues,

²El contexto simétrico en que se asigna un número fijo de entregas a cada revisor es fácilmente extrapolable.

las restricciones relacionadas con la configuración de la distribución proyectada para una determinada aplicación. Por ejemplo, que una entrega sea revisada por los compañeros de un mismo grupo (configuración intra-grupo), que una entrega sea revisada por alumnos de otro grupo distinto (configuración inter-grupo). El escenario típico de aplicación es cuando se subdivide el conjunto de alumnos en función de la temática de trabajo desarrollada y se requiere la pertenencia de los revisores a un determinado grupo. En general, restricciones que exigen que los revisores de una determinada entrega pertenezcan a un subconjunto específico.

- **Restricciones ad hoc:** Restricciones adicionales específicas a un determinado escenario de revisión entre iguales.

- **Optimización:**

Condiciones de cumplimiento no obligatorio pero conveniente. Representan criterios de comparación para evaluar mapas, permitiendo guiar el proceso de asignación hacia determinados objetivos y distribuciones. En un entorno educativo, estos criterios se subdividen a su vez, de acuerdo a las dimensiones del proceso de evaluación discutidas en el apartado 2.4.2, en:

- **Calificación (Fiabilidad):** Promover asignaciones que optimicen la fiabilidad de las calificaciones asignadas (orientación calificativa del proceso).
- **Formación (Didáctica):** Promover asignaciones que optimicen el aprendizaje de los alumnos, la comprensión de los conceptos subyacentes o el desempeño de conocimientos procedimentales, tanto social como específico de la asignatura (orientación formativa del proceso).

3.6.3 Definición del modelo

La asignación *aleatoria* de revisores implica cumplir los requisitos de validez en la taxonomía anterior. La introducción de criterios de adaptación al alumno implica realizar un proceso de optimización adicional. Entre los múltiples mapas válidos, unos serán más adecuados que otros, por contener asociaciones autor-revisor consideradas más efectivas. Por razones de eficiencia, este proceso de optimización conviene que se limite al subconjunto de mapas *válidos*, es decir, que cumplen las restricciones de validez, de entre el espacio global de mapas posibles.

En consecuencia, se necesita un modelo de especificación de los criterios de adaptación. Siendo un proceso de optimización, se trata de una búsqueda en el espacio de mapas posibles. Como tal, existen diferentes alternativas. El tamaño del espacio de potenciales soluciones descarta la aplicación de algoritmos de búsqueda exhaustiva, por problemas de explosión combinatoria. La aplicación de heurísticos es una solución frecuente en problemas de optimización. En este caso, sin embargo, los requisitos de usabilidad del modelo desaconsejan su empleo, puesto que en escenarios complejos puede resultarle difícil al profesor expresar y codificar los pasos a seguir para alcanzar los objetivos buscados.

Considerando los condicionantes de usabilidad y expresividad requeridos y los problemas asociados a las alternativas discutidas previamente, en esta tesis se plantea la necesidad de un modelo que permita expresar los objetivos del proceso de asignación, pero sin necesidad de codificar los mecanismos necesarios para alcanzarlos, lo cual redundaría en una mayor simplicidad y usabilidad del modelo.

Como solución, se propone un modelo de especificación de criterios de asignación basado en *prototipos*.

Un *prototipo* es un elemento representativo del subgrupo al que pertenece, con las características representativas del mismo, que identifican a los elementos que componen el subgrupo y los diferencian del resto de elementos.

Aunque cada alumno es un mundo, en el aula se pueden observar estudiantes que comparten características distintivas, que permiten distinguir diferentes tipos de estudiantes. Cada una de estas clases puede representarse mediante un prototipo, un alumno ideal (existente en la realidad o no), con las características identificativas de ese subtipo.

El modelo basado en prototipos propuesto se inspira en el concepto de *centroide* asociado a los algoritmos de agrupamiento automático basados en distancia. Un centroide es un caso modelo, que define las características típicas de la región que representa [62].

Análogamente, también pueden definirse prototipos de asignaciones autor-revisor: parejas modelo que representan posibles tipos de asignaciones.

Con el modelo propuesto, el profesor (responsable del proceso de evaluación) simplemente tiene que definir los emparejamientos modelo, asignaciones representativas de los potenciales casos de asignación, y asociarles una medida de idoneidad.

Los prototipos, junto con sus medidas de interés, capturan y representan los criterios de asignación de revisores. Con este planteamiento el proceso de

asignación de revisores puede verse como un proceso de optimización, disponiéndose de un criterio de comparación claro que permite evaluar los potenciales emparejamientos. La usabilidad reside en que modela el objetivo final a alcanzar, sin necesidad de detallar los pasos concretos a seguir para alcanzarlo.

Los prototipos determinan regiones de interés y regiones a evitar en el espacio de asignaciones autor-revisor. Un determinado par autor-revisor puede seleccionarse o descartarse dependiendo de la región en que se sitúe. La evaluación de una pareja autor-revisor consiste en clasificarla respecto a los prototipos predefinidos.

Para cada emparejamiento autor-revisor $\vec{X}_i = (\vec{a}u, \vec{r}e)$ puede calcularse una medida de interés básica como el interés predeterminado para el prototipo correspondiente:

$$interest_{CRISP}(\vec{X}_i = (\vec{a}u, \vec{r}e)) = IP_i \quad (3.2)$$

siendo IP_i el interés asociado al prototipo \vec{P}_i , representativo de la clase a la que pertenece \vec{X}_i .

Una aproximación intuitiva del modelo es la visión de los prototipos como centros de gravedad que atraen (si la medida de idoneidad asignada es positiva) o repelen (si la medida de idoneidad asignada es negativa) la formación de parejas autor-revisor en sus proximidades. El conjunto de prototipos formará así un campo de potencial en el espacio de asignaciones que guiará el proceso de asignación de revisores hacia la formación de parejas similares a las propuestas como modelos positivos evitando la formación de parejas definidas como negativas.

Una característica a destacar del modelo es que es directamente aplicable a procesos en que cada entrega tiene varios autores. Esta situación es frecuente en el contexto educativo, que asocia habitualmente la revisión entre iguales con el aprendizaje colaborativo basado en proyectos, de ahí el interés de contemplarla en la cobertura del modelo.

Ejemplo: *Asignar revisores con perfil complementario al del autor.*

Supóngase un proceso de revisión entre iguales en que se quiere asignar como revisores alumnos con un perfil complementario al del autor correspondiente. Por simplicidad, se utiliza un modelo del alumno compuesto únicamente por su nivel de conocimiento global del tema, normalizado en $[0, 10]$ (ver figura 3.3 izda.). Se diferencian dos grupos de alumnos, según su nivel de desempeño: alto y deficiente, siendo los perfiles de los prototipos representativos de cada grupo $\vec{ps} = (10)$ y $\vec{np} = (0)$, respectivamente.

Cruzando los prototipos de alumnos, aparecen cuatro combinaciones autor-

revisor, tal como se muestra en la figura 3.3 dcha. Para implementar el criterio de asignación especificado, esto es, asociar autores y revisores con perfiles complementarios, deben potenciarse parejas similares a los prototipos $\vec{B} = (\overrightarrow{np\acute{s}}, \overrightarrow{p\acute{s}})$ y $\vec{C} = (\overrightarrow{p\acute{s}}, \overrightarrow{np\acute{s}})$, mientras que las parejas similares a los prototipos $\vec{A} = (\overrightarrow{np\acute{s}}, \overrightarrow{np\acute{s}})$ y $\vec{D} = (\overrightarrow{p\acute{s}}, \overrightarrow{p\acute{s}})$ deben descartarse. Por tanto, se asigna el interés máximo positivo a los prototipos \vec{B} y \vec{C} , para atraer las parejas a su entorno, e interés máximo negativo a los prototipos \vec{A} y \vec{D} , para alejar de ellos las parejas autor-revisor formadas.

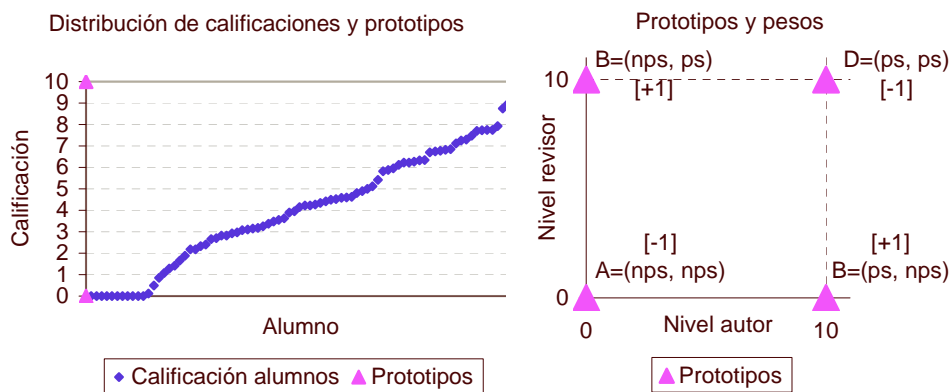


Figura 3.3: Distribución de calificaciones de los estudiantes (rombos) y prototipos (triángulos) [izda.]. Prototipos de parejas autor-revisor [dcha.].

□

Ejemplo: *Asignar revisores con estilo de aprendizaje similar al del autor.*

Supóngase un proceso de revisión entre iguales en que se quiere asignar como revisores alumnos con estilo de aprendizaje similar al del autor. Como modelo del alumno se utiliza un indicador de su estilo de aprendizaje, calculado a partir del test propuesto por Felder [124]. Según su estilo de aprendizaje, se diferencian dos categorías de alumnos, según sea secuencial o global. El indicador toma valores en el intervalo $[-s, +s]$, representando el valor $-s$ un estilo de aprendizaje global y $+s$ secuencial (ver figura 3.4 izda.). Por tanto, los perfiles de los prototipos representativos de cada categoría son $\vec{g\acute{s}} = (-s)$ para estilo global y $\vec{s\acute{s}} = (+s)$ para estilo secuencial.

Combinando dichas categorías se obtienen las asociaciones representativas de las posibles asignaciones autor-revisor, tal como se muestra en la figura 3.4 dcha. Según el criterio de asignación de revisores especificado debería fomentarse la formación de parejas en las que tanto autor como revisor tienen estilos parecidos de aprendizaje. Esto es, parejas similares a los prototipos $\vec{A} = (\vec{s\acute{s}}, \vec{s\acute{s}})$

y $\vec{D} = (\vec{g}\vec{s}, \vec{g}\vec{s})$. Por el contrario, deberían evitarse las parejas cuyos miembros tienen estilos de aprendizaje dispares; es decir, parejas similares a los prototipos $\vec{B} = (\vec{s}\vec{s}, \vec{g}\vec{s})$ y $\vec{C} = (\vec{g}\vec{s}, \vec{s}\vec{s})$. En consecuencia, los prototipos \vec{A} y \vec{D} tendrán asociado el máximo interés positivo, mientras que los prototipos \vec{B} y \vec{C} tendrán asociado interés negativo.

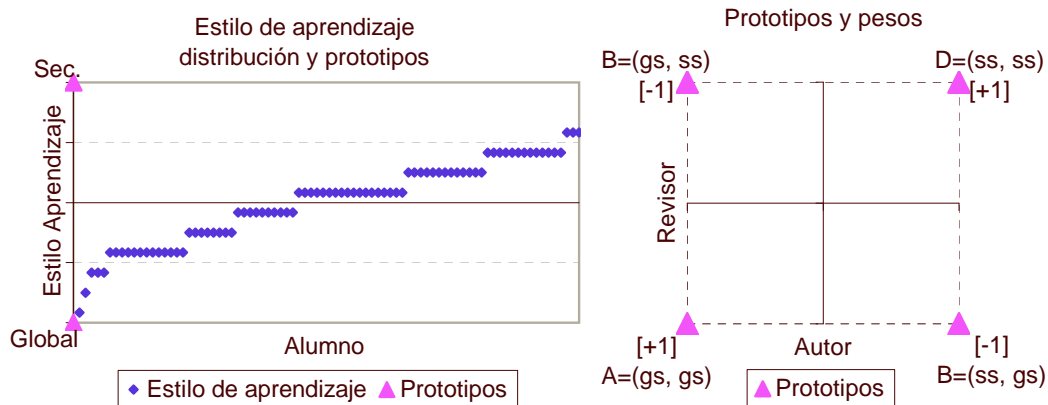


Figura 3.4: Distribución del estilo de aprendizaje de los estudiantes (rombos) y prototipos (triángulos) [izda.]. Prototipos de parejas autor-revisor [dcha.].

□

La definición de los prototipos puede realizarse de forma manual, fijándolos el profesor de acuerdo a su experiencia docente y su conocimiento del grupo. Pero también puede ayudarse de instrumentos de análisis. Si el proceso de asignación se basa en una única variable, un simple análisis de la función de distribución de la misma puede proporcionar información relevante sobre los tipos de alumnos que se pueden distinguir. En contextos más complejos, considerando múltiples variables, el análisis de agrupamientos o *clustering*, por ejemplo, permite detectar grupos, homogéneos internamente y diferenciados entre sí, dentro del conjunto global de alumnos, en función de sus características [62, 46]. El profesor puede basarse en esta información para realizar un ajuste más preciso de sus criterios de asignación.

Ejemplo: *Reajuste de criterios de asignación de revisores mediante análisis de clustering.*

El profesor puede partir de un criterio inicial que considera dos grupos de alumnos en función de su nivel de desempeño. Sin embargo, el análisis de clustering (o una simple observación de la distribución de la función) puede revelar la existencia de tres grupos reales, en vez de los dos grupos teóricos

supuestos. En este caso, fundamentar los criterios de asignación en dos tipos de alumnos resultaría ficticio y conduciría a asignaciones incoherentes con los objetivos. Resulta conveniente adecuar el criterio de asignación a los tipos de alumnos reales que aparecen en el grupo.

□

3.6.4 Aproximación borrosa al problema de clasificación

Un potencial problema de la aproximación basada en prototipos es que en un aula real los alumnos no se corresponden de forma exacta con los prototipos. Ciertas características, aquéllas que presentan una distribución discreta en un rango finito y reducido de valores, hacen posible una correspondencia exacta con los prototipos. Sin embargo, otras variables muestran un comportamiento continuo, distribuyéndose en un rango continuo de valores, sin fronteras claras entre potenciales categorías.

Un ejemplo del primer caso sería el sexo, que distingue claramente dos posibles subconjuntos de estudiantes: alumnos y alumnas, que a su vez pueden definirse de forma clara por dos estudiantes prototipos, de sexo masculino y femenino, respectivamente. Cada estudiante pertenece inequívocamente a uno, y sólo uno, de dichos subconjuntos, dependiendo del valor que tome la variable sexo en su caso. Todos los elementos pertenecientes a una categoría tendrán el mismo valor, que se corresponderá exactamente con el del prototipo que la define. Ambas categorías están delimitadas por una frontera bien definida.

En la figura 3.5 se muestra una variable del segundo caso. Las calificaciones de los alumnos presentan, por lo general, una distribución continua en el rango de valores considerado. En este caso podrían definirse categorías de alumnos en función de su nivel de desempeño. Por ejemplo, dos: alumnos con nivel alto y alumnos con nivel insuficiente. Prototipos representativos de dichas categorías podrían ser estudiantes ficticios con la calificación máxima y mínima, respectivamente. Pero en este caso, al intentar clasificar a los estudiantes aparecerían un conjunto de casos dudosos, puesto que no hay una separación clara entre los valores. Este problema aparece independientemente del número de categorías consideradas, como puede comprobarse definiendo tres grupos (alto, medio e insuficiente), en vez de dos.

Esta dificultad se solventa en el modelo recurriendo a la teoría de conjuntos borrosos, formulada por Lotfi A. Zadeh en 1965 [155] para representar adecuadamente este tipo de situaciones. El concepto tradicional de conjunto considera que la pertenencia al conjunto es una función binaria. La teoría de

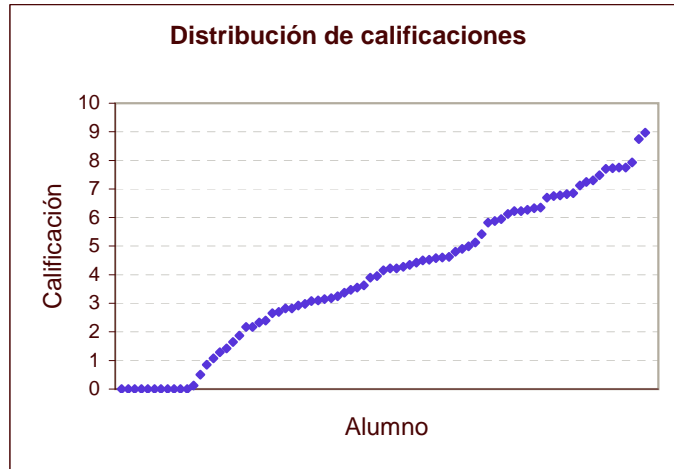


Figura 3.5: Distribución de calificaciones.

conjuntos borrosos amplia dicho concepto eliminando esta restricción y considerando *grados de pertenencia*. En las figuras 3.6 y 3.7 pueden observarse las diferencias entre ambos tipos de conjuntos.

El modelo propuesto considera conjuntos borrosos las regiones definidas por los prototipos, con el objetivo de adecuarse más fielmente a las distribuciones continuas que existen en la realidad. La medida de interés de una pareja autor-revisor se pondera, mediante clasificación borrosa, con una medida de su similitud a los distintos prototipos:

$$interes(\vec{X}_j = (\vec{a}\vec{u}, \vec{r}\vec{e})) = \sum_{i=1}^N m(\vec{X}_j, \vec{P}_i) \times IP_i \quad (3.3)$$

siendo N el número de prototipos (clases) definidos, \vec{P}_i el prototipo representativo de la clase i , IP_i el interés asignado al prototipo \vec{P}_i y $m(\vec{X}_j, \vec{P}_i)$ una medida de la similitud entre las parejas \vec{X}_j y \vec{P}_i : el grado de pertenencia de \vec{X}_j a la clase definida por el prototipo \vec{P}_i , calculado en función de la distancia euclídea entre ambos puntos.

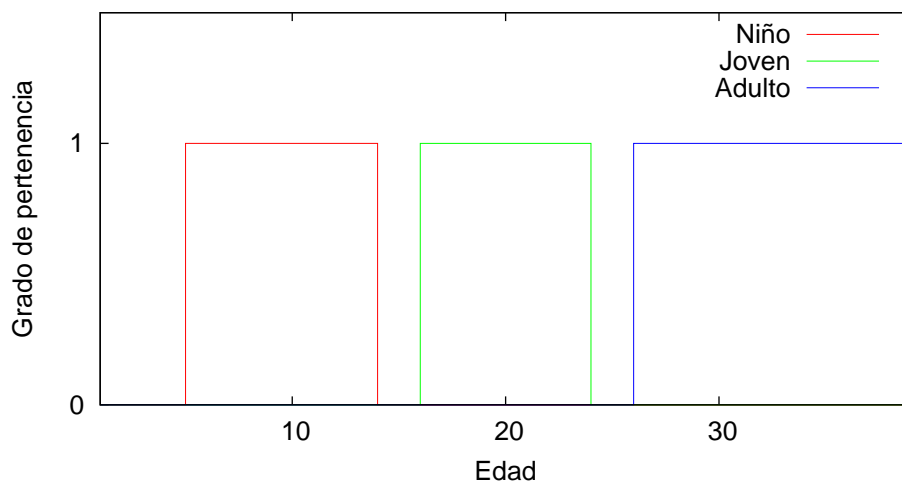


Figura 3.6: Conjunto tradicional (no borroso).

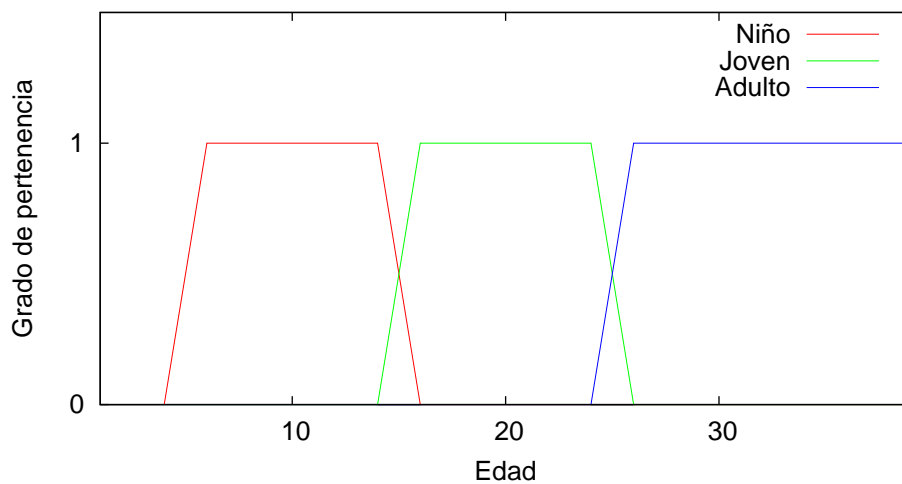


Figura 3.7: Conjunto borroso.

3.6.5 Ampliación del modelo: consideración de casos basados en la relación entre autor y revisor

El modelo, tal como se ha descrito hasta aquí, adolece de una naturaleza excesivamente concreta, puesto que requiere especificar los perfiles exactos de los autores y revisores modelo. En el aula a menudo es deseable un mayor poder de generalización, para dar cobertura a objetivos como *asignar como revisores alumnos con un cierto gap respecto al nivel de desempeño del autor*.

Estos objetivos no pueden modelarse correctamente especificando valores concretos. Requieren un nivel mayor de abstracción, puesto que el criterio es una *relación* entre los componentes de la pareja, o entre algunos de los atributos de dichos componentes.

En el espacio vectorial formado por las asociaciones autor-revisor, este mayor nivel de abstracción se traduce en que los puntos alrededor de los cuales se organizaban las regiones pueden generalizarse a otras formas geométricas, como por ejemplo una línea recta. Las regiones, a su vez, extienden su morfología, de modo que pueden considerarse franjas (secciones paralelas a una línea) en vez de únicamente círculos concéntricos a los prototipos. Esta nueva topología de prototipos y regiones generalizadas puede ayudar además a conseguir una cobertura más exacta del espacio de asignaciones por parte de la función de evaluación (de idoneidad), evitando la aparición de zonas ambiguas.

Para dar cobertura a esta casuística, se extiende el modelo introduciendo un nivel de abstracción mayor en la definición de los prototipos autor-revisor. La ampliación se realiza introduciendo características derivadas de la relación entre el autor y el revisor (por ejemplo, la distancia, la diferencia de nivel, etc.), como atributos definitorios de la pareja prototipo. En los cálculos se utilizarán estas variables derivadas, en vez de las características originales de los alumnos. La estructura del modelo, basada en prototipos que permiten evaluar las parejas autor-revisor, se mantiene; simplemente se extiende su capacidad expresiva a una nueva tipología de casos.

La usabilidad del modelo no se ve afectada, puesto que el profesor no se vería obligado a trabajar directamente con estos parámetros derivados, sino que se limitaría a expresar la semántica de las relaciones. La transformación puede realizarse implícitamente, de forma automática y oculta para él. Para ello simplemente se necesitaría un sistema que permita seleccionar las características a considerar en el proceso e incluya además un abanico de relaciones con las alternativas más frecuentes, para las cuales realice las transformaciones de forma automática o semi-automática (permitiendo variar un umbral de distancia por ejemplo).

Ejemplo: *Asignar revisores cuyo nivel de desempeño presente un cierto gap respecto al del autor.*

Supóngase un proceso de revisión entre iguales en que se quiere asignar como revisores alumnos cuyo nivel de desempeño presente un cierto gap respecto al del autor, de acuerdo con la teoría de la ZDP propuesta por Vygotsky (cfr. sección 3.3). El criterio persigue la formación de parejas con una cierta diferencia de nivel, independientemente de si dicho nivel es mayor para el autor o para el revisor.

En este caso, la característica definitoria de las parejas autor-revisor, será la diferencia existente entre sus niveles de desempeño:

$$\text{modelo}(\vec{x}_k = (\vec{au}_k, \vec{re}_k)) = (|\text{nivel}(au_k) - \text{nivel}(re_k)|)$$

Suponiendo que el nivel de desempeño tome valores en el rango $[0, 10]$, la función diferencia utilizada para caracterizar las asignaciones tomará valores en el rango $[0., 20]$.

Para implementar el criterio de asignación especificado, se definiría el prototipo correspondiente a la situación buscada asignándole el interés máximo:

$$\vec{P}_{gap} = (GAP) \text{ y}$$

Puede enfatizarse, además, definiendo los prototipos correspondientes a los casos a evitar y asignándoles interés negativo:

$$\vec{P}_{no-gap} = (0) \text{ y } \vec{P}_{gap-no-zdp} = (20).$$

Siendo GAP la diferencia ideal entre los niveles del autor y el revisor, y 0 y 20 las diferencias de nivel mínima y máxima que pueden darse entre ambos.

□

3.7 Control de calidad

Finalmente, la metodología propuesta recomienda la incorporación de diversos mecanismos de control de calidad en diferentes puntos del proceso, para garantizar la calidad y el correcto funcionamiento del mismo.

El objetivo es la detección precoz de posibles problemas con el fin de reaccionar de forma inmediata ante potenciales desviaciones de los resultados esperados.

Entre los problemas que aparecen con más frecuencia asociados a la revisión entre iguales y que revisten más gravedad destacan:

- Abandono (*dropping*): no entrega de las revisiones asignadas por parte de algún revisor. Se trata de un problema crítico cuando el objetivo del proceso es facilitar realimentación a los autores, puesto que existe el riesgo de que alguno de ellos no reciba realimentación. Para paliar este problema, la primera medida es motivar adecuadamente a los evaluadores para realizar las revisiones asignadas, frecuentemente influyendo esta tarea en su calificación. Aparte de ello, las soluciones más eficaces para garantizar la recepción de realimentación, consisten en asignar varios revisores para cada entrega (de modo que se minimice el riesgo de que una entrega quede sin evaluar); o bien, asignar dinámicamente las entregas a revisar bajo demanda [57]. También resulta de ayuda, tal como se ha comprobado en las experiencias desarrolladas, el simple recordatorio de la tarea a realizar. Esta función debería ser automática, para descargar al profesor de una tarea rutinaria y que consume un tiempo excesivo. En este sentido, puede ser interesante explorar la posible utilidad de aplicaciones de gestión de *workflow* para la gestión automatizada del proceso.

- Problemas puntuales de evaluación. Pueden ser desviaciones en las evaluaciones de los revisores para un mismo trabajo. La generación de alertas automáticas en estos casos, para supervisión por parte de los profesores pueden resultar una valiosa ayuda. En esta categoría se engloban también los casos de discrepancias entre autores y evaluadores. En estas situaciones, el personal docente actúa como moderador, bajo petición de los alumnos, rectificando la evaluación si procede.

Este problema, al igual que el descrito en el punto anterior, es genérico de la metodología de revisión entre iguales, sin interacciones específicas con la adaptación del proceso.

- Homogeneidad de las calificaciones. Un problema habitual al asignar a los alumnos el papel de evaluadores aparece en la distribución de las calificaciones, que frecuentemente se concentran en el rango medio de la escala de valores, evitando juicios destacados, tanto en el extremo inferior como el superior. Es decir, los alumnos tienden a evitar realizar discriminaciones claras entre sus compañeros. La importancia de este problema se atenúa si la evaluación se realiza con fines formativos en vez de (o al menos con mayor prioridad que) fines calificativos.

Sin embargo, la homogeneidad se convierte en un problema crítico, si el modelo de datos necesario para la adaptación se basa en la información proporcionada por los alumnos. En consecuencia, con vistas a la aplicación de la metodología adaptativa, es fundamental vigilar la distribución tanto de las valoraciones realizadas por los compañeros como de

las auto-evaluaciones.

En cualquier caso, la implicación de los alumnos de modo que realicen una evaluación crítica seria y responsable es fundamental para el óptimo desarrollo del proceso. En este sentido, una de las medidas más frecuentes, por su eficacia, es el reflejo de su desempeño como evaluadores en su propia calificación. Bien directo, mediante la evaluación de las revisiones realizadas [22]; o bien indirecto, puntuando al revisor en base a los resultados de los autores, que a su vez reflejan la ayuda real que les han supuesto las revisiones recibidas [52].

A los problemas genéricos comentados previamente se suman problemas específicos derivados de la adaptación del proceso, principalmente los relacionados con la *no adecuación de los criterios de asignación de revisores*. Bien debidos a fallos en el planteamiento pedagógico, que conducen a criterios de asignación inadecuados. Un ejemplo significativo de este conflicto es el caso, recogido en el capítulo 5, de un alumno que advierte a los profesores de su incapacidad para realizar una correcta evaluación, por no disponer de los conocimientos necesarios para comprender el trabajo de su compañero. O bien debidos a fallos de ajuste en la implementación de dichos criterios. Estos desajustes pueden radicar en la definición de los prototipos, caso de no corresponder los perfiles teóricos considerados con los reales que aparecen en el grupo de alumnos. O en la definición de umbrales, por ejemplo, el gap a considerar como ZDP.

Los mecanismos de supervisión propuestos se basan en dos líneas de actuación fundamentales:

- Análisis de los datos y resultados parciales disponibles a lo largo del proceso.
- Recopilación de realimentación por parte de los alumnos.

El análisis cuantitativo de los datos recopilados previamente y a lo largo del proceso es una ayuda eficaz para una mejor comprensión del desarrollo del proceso y la adopción de consecuentes medidas correctivas. El análisis de los resultados parciales, especialmente de la distribución de las calificaciones permite detectar fácilmente problemas de homogeneidad. El análisis de agrupamientos o *clustering*, o incluso la función de distribución de la variable en modelos simples, permite contrastar los prototipos definidos de forma teórica con los perfiles reales de los alumnos y reajustar los criterios adecuadamente si es necesario. Este análisis debe realizarse con especial atención inmediatamente antes del proceso de asignación de revisores. Con posterioridad al proceso

de entrega de revisiones se ha revelado recomendable realizar un análisis de correlación. Este análisis permite comprobar si dependencias asumidas implícitamente (por ejemplo en el criterio de asignación) existen en la realidad.

Los análisis propuestos han revelado su eficacia en los trabajos de campo desarrollados. En el apartado 5.2.8, el análisis de correlación invalidó el modelo considerado inicialmente, inducido a partir de los datos disponibles de sobre el desempeño previo del alumno. En el apartado 5.2.9, la distribución del nivel de los alumnos condujo a la consideración de tres grupos, en lugar de los dos que se habían barajado previamente.

El análisis cuantitativo de los datos recopilados se complementa mediante el análisis cualitativo de la realimentación recogida de los alumnos. Esta última proporciona información valiosa sobre el desarrollo del proceso, desviaciones respecto a los objetivos planteados, problemas de planificación y, especialmente, desajustes en el funcionamiento real de los criterios pedagógicos asumidos.

Capítulo 4

Sistema de soporte para la metodología de revisión entre iguales adaptativa

*Everything should be made as simple as possible,
but not one bit simpler.*

Albert Einstein

La asignación de revisores a cada una de las entregas, siguiendo criterios de adaptación, puede verse como un problema de optimización. El objetivo es encontrar una distribución de revisores que, satisfaciendo las restricciones de validez, maximice una función beneficio que refleje en su definición los criterios de asignación.

En este capítulo se describe el sistema desarrollado para realizar la asignación de revisores, de acuerdo a la metodología adaptativa descrita previamente [24].

Este sistema se ha desarrollado de forma independiente, de modo que puede utilizarse integrado en un sistema de soporte al proceso de revisión, que facilite la entrega, evaluación y visualización de las revisiones. En concreto, en las experiencias descritas en el capítulo 5, se ha utilizado junto con el sistema de gestión de entregas ASAP [6, 95].

4.1 Arquitectura

La arquitectura propuesta para el sistema de asignación de revisores se caracteriza por el diseño modular, con el objetivo de dar soporte a la flexibilidad de criterios. La solución propuesta consiste en separar la definición de los objetivos, es decir, los criterios de asignación, y el proceso para obtener una distribución acorde a aquéllos. Se consigue así el objetivo de facilitar la expresión y modificación de los criterios de asignación de forma intuitiva, de modo que la metodología resulte fácilmente aplicable para el profesor.

La arquitectura lógica, representada en la figura 4.1, responde a las funciones a desempeñar por el sistema de asignación en el proceso de generación de un mapa válido y óptimo según los criterios de configuración especificados para un determinado proceso.

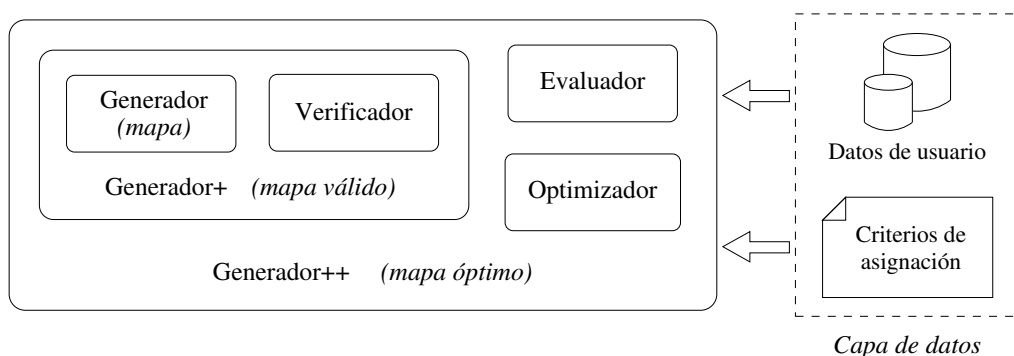


Figura 4.1: Arquitectura lógica del sistema de asignación de revisores.

La funcionalidad del sistema incluye:

- *Generación básica*: implementa el algoritmo de creación de mapas, asociando entregas y revisores.
- *Verificación*: responsable de la verificación de la validez de los mapas creados por el generador básico.
- *Evaluación*: asigna una medida de idoneidad a los mapas generados, dependiendo de los criterios de asignación especificados y de las asociaciones entrega (autor) - revisor establecidas.
- *Optimización*: implementa el algoritmo de búsqueda que coordina el funcionamiento del resto de módulos del sistema, de modo que el mapa ge-

nerado finalmente sea válido y óptimo de acuerdo con los criterios de asignación configurados.

Los elementos descritos previamente conforman las funciones básicas del diseño lógico del sistema. Sin embargo, por razones de eficiencia, conviene integrar al máximo las funciones de generación y verificación (*generador funcional*). El objetivo es evitar la creación de mapas no válidos (es decir, que violen alguna de las restricciones de validez), que deberían desecharse posteriormente en la verificación. Esta reducción del espacio de búsqueda es necesaria para hacer asumible la complejidad del problema y asegurar la viabilidad de su resolución. El sistema de codificación empleado para la representación del mapa así como el algoritmo de creación utilizado determinan el grado de integración de los requisitos de verificación en el propio proceso de creación.

Por otra parte, el funcionamiento del sistema depende, a su vez, de una capa de datos, tanto de configuración como relativos al perfil de los usuarios y las entregas a revisar.

- *Configuración*: datos de configuración del proceso, como el número de revisores a asignar a cada entrega (k_r), los conjuntos de entregas, autores y revisores y el criterio de asignación que debe aplicarse para seleccionar los revisores.
- *Perfil de usuario*: las variables a evaluar dependerán de los criterios de optimización especificados (por ejemplo, nivel del alumno, estilo de aprendizaje, etc.)

4.2 Algoritmo de optimización

La introducción de la adaptación al alumno en el proceso de asignación de revisores implica que unas asociaciones se consideran más adecuadas que otras. Formalmente, el proceso de asignación de revisores se convierte en un proceso de optimización.

Como tal, podría intentar resolverse de forma sistemática, combinando autores y revisores de acuerdo a reglas predefinidas que conduzcan a la formación de un mapa óptimo. Este enfoque presenta como inconveniente la dificultad de generalización, aparte de la propia dificultad de formulación de las reglas en sí. Cambios en el criterio de asignación conducirían fácilmente a diferentes reglas, que habría que descubrir y codificar en la aplicación.

El uso de heurísticos es generalmente una técnica eficiente de optimización. Sin embargo, en este caso presenta también el inconveniente de no ser fácilmente configurable. Incluso aunque el usuario pudiera cambiarlos mediante un conjunto de reglas, definir e introducir dichas reglas continuaría siendo un proceso complejo y que reduciría la usabilidad de la metodología.

El enfoque de búsqueda exhaustiva queda obviamente descartado debido a la complejidad del problema, dado el número de potenciales combinaciones existentes.

Debido a los inconvenientes que presentan las anteriores alternativas técnicas, en el desarrollo del sistema se ha optado por una implementación basada en algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos han demostrado su eficacia para encontrar soluciones óptimas, o próximas a la óptima, a un coste razonable en espacios de búsqueda grandes. Esta técnica ofrece una perfecta sintonía con la filosofía planteada en la metodología propuesta, puesto que no requiere especificar los pasos a seguir para encontrar la solución, sino únicamente un criterio de evaluación que permita comparar soluciones alternativas para seleccionar la óptima.

El planteamiento del proceso de asignación de revisores mediante algoritmos genéticos, requiere la definición de algunos términos, que se discuten en los siguientes apartados.

4.2.1 Población

La evolución, en los algoritmos genéticos, puede actuar en diferentes niveles [75]:

- *Individual*: intenta conseguir un único espécimen perfecto (óptimo).
- *Población*: intenta crear una población completa que maximice el rendimiento global trabajando colaborativamente.
- *Ecosistema*: “co-evoluciona” varias especies que cooperan y compiten entre sí.

En el sistema de soporte desarrollado, cada individuo es un mapa completo, según la definición 3.6.2. La evolución actúa, por tanto, a nivel individual, intentando generar un mapa óptimo de acuerdo a un conjunto de criterios prefijados.

Los conjuntos de entregas \mathbb{E} y revisores \mathbb{R} se representan en el sistema mediante arrays, de modo que cada uno de sus elementos puede identificarse por un número entero indicativo de su posición. Un mapa \mathcal{M} se representa en el sistema como una matriz de dimensiones $|\mathbb{E}| \times k_r$, puesto que a cada entrega se le asignan k_r revisores. Cada elemento $m[i][j]$ de dicha matriz contiene un número entero $r_{ij} \in [0 \dots |\mathbb{R}|)$, que representa el revisor j^{esimo} asignado a la entrega $e[i] \in \mathbb{E}$, donde $i \in [0 \dots |\mathbb{E}|)$ y $j \in [0 \dots k_r)$.

Como primera aproximación, cada revisor puede codificarse en la matriz del mapa como su posición en el array de revisores. Denominaremos codificación *absoluta* a este sistema de representación de los mapas, puesto que cada revisor se identifica por su posición absoluta en el array, que se mantiene constante a lo largo de todo el proceso.

Ejemplo: *Codificación absoluta de mapas*

Dados los siguientes conjuntos de autores (\mathbb{A}), revisores (\mathbb{R}) y entregas (\mathbb{E}):

$$\mathbb{A} = \mathbb{R} = \{u_0, u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

$$\mathbb{E} = \{e_0, e_1, e_2, e_3, e_4\}$$

donde u_i es el alumno autor de e_i .

La matriz $\mathcal{M}_a = [3, 2, 1, 4, 0]$ representa el mapa donde u_3 revisa la entrega e_0 , u_2 revisa la entrega e_1 , u_1 revisa la entrega e_2 , y así sucesivamente.

La matriz $\mathcal{M}_b = [4, 3, 0, 1, 2]$ representa el mapa donde u_4 revisa la entrega e_0 , u_3 revisa la entrega e_1 , u_0 revisa la entrega e_2 , y así sucesivamente.

□

4.2.2 Función de ajuste (*fitness function*)

La función de ajuste guía la evolución en los algoritmos genéticos, permitiendo comparar las potenciales soluciones entre sí y seleccionar entre ellas la(s) que mejor se ajuste(n) a los criterios de optimización especificados.

A partir de la función interés, que representa la adecuación de una determinada pareja autor-revisor a los criterios de asignación prefijados, resulta trivial calcular una medida de la adecuación global del mapa a dichos criterios. La media, o simplemente la suma, del interés de cada una de las parejas que componen el mapa constituye un buen indicador de la idoneidad del mismo, pudiendo utilizarse por tanto como función de ajuste.

La función de ajuste de un determinado mapa \mathcal{M} se calcula como la suma

del interés de cada pareja (autor, revisor) que lo compone:

$$fitness(\mathcal{M}) = \sum_{e_i \in E} \sum_{a_n \in A_i} \sum_{r_m \in R_i} interest(\vec{a}_n, \vec{r}_m) \quad (4.1)$$

siendo $A_i \subset \mathbb{A}$ el conjunto de autores de la entrega $e_i \in E$ y $R_i \subset \mathbb{R}$ el conjunto de revisores asignados a la entrega e_i .

4.2.3 Operadores genéticos

El operador de *recombinación* o *cruce* (*cross-over*) combina dos individuos, en este caso dos mapas, para formar una nueva generación. Se calcula aleatoriamente un punto de ruptura, por el que se divide cada uno de los mapas a cruzar. Los mapas generados están compuestos por la unión de la parte inicial de uno de los mapas con la parte final del otro.

La *mutación* aplica cambios aleatorios sobre un individuo, para ampliar la exploración a nuevas zonas en el espacio de búsqueda. En este caso, consiste simplemente en intercambiar el valor de dos posiciones, determinadas aleatoriamente, dentro de la matriz del mapa.

Ejemplo: *Cruce de mapas (codificación absoluta)*

Combinando los dos mapas definidos en el ejemplo 4.2.1, se generan los siguientes mapas (suponiendo el punto de ruptura en la posición tres):

$$\begin{array}{l} \mathcal{M}_a = [3 \ 2 \ 1 \ || \ 4 \ 0] \quad \searrow \quad \mathcal{M}'_a = [3 \ 2 \ 1 \ || \ 1 \ 2] \\ \mathcal{M}_b = [4 \ 3 \ 0 \ || \ 1 \ 2] \quad \nearrow \quad \mathcal{M}'_b = [4 \ 3 \ 0 \ || \ 4 \ 0] \end{array}$$

□

Es realmente improbable que esta aproximación converja a una solución válida. Como se ilustra en el ejemplo 4.2.3, es prácticamente imposible mantener el equilibrio de carga en la nueva generación de mapas. Se trata de un problema análogo al encontrado en programación genética [73], las mutaciones, si actúan directamente sobre el código fuente, conducen típicamente a programas que no compilan.

El problema radica en que, tal como se ha planteado la codificación y combinación de mapas, el subconjunto de soluciones válidas es un subconjunto excesivamente reducido del espacio global de búsqueda.

4.2.4 Redefinición de cromosomas y operadores

Para asegurar que las propiedades de equilibrio de carga y equiprobabilidad entre los revisores se mantienen al aplicar los operadores genéticos y se propagan a las nuevas generaciones, se redefine la codificación de los mapas. En vez de basarse en la posición absoluta de los revisores en el array de revisores, se utiliza su posición pero considerando únicamente los revisores *disponibles*. Denominaremos codificación *relativa* a este sistema de representación de los mapas.

Con esta codificación, el operador mutación debe redefinirse para asegurar la consistencia de los valores obtenidos. Consiste en el cambio aleatorio del valor de uno de los elementos de la matriz mapa, pero siempre en el rango de valores válidos para dicha posición de la matriz; es decir, en el rango entre cero y el número de revisores *disponibles* en ese punto, teniendo en cuenta las asignaciones previas.

El operador de cruce mantiene la definición propuesta para la codificación absoluta, en el apartado 4.2.3.

Ejemplo: *Codificación relativa de mapas*

Aplicando el modelo de codificación relativa definido en el sistema, los mapas \mathcal{M}_a y \mathcal{M}_b definidos en el ejemplo 4.2.1 se representarían:

$$\mathcal{M}_a = [3 \ 2 \ 1 \ 1 \ 0] \quad \mathcal{M}_b = [4 \ 3 \ 0 \ 0 \ 0]$$

En el mapa \mathcal{M}_a , el revisor de la entrega e_3 (u_4) se codifica ahora como 1 en vez de como 4, porque, en ese punto, únicamente quedan disponibles los revisores u_0 y u_4 . Por tanto, el revisor u_4 está en la posición 1 (comenzando por 0), en la lista de revisores *disponibles*.

Aplicando el operador de recombinación sobre los mapas \mathcal{M}_a y \mathcal{M}_b (representados mediante la codificación relativa), se generarían los siguientes mapas:

$$\mathcal{M}'_a = [3 \ 2 \ 1 \ || \ 0 \ 0] \quad \mathcal{M}'_b = [4 \ 3 \ 0 \ || \ 1 \ 0]$$

representando $[u_3 \ u_2 \ u_1 \ u_0 \ u_4]$ y $[u_4 \ u_3 \ u_0 \ u_2 \ u_1]$, respectivamente.

□

Aún pueden generarse mapas no válidos, tal como puede comprobarse en el mapa \mathcal{M}'_a del ejemplo 4.2.4, donde el alumno u_4 evalúa su propio trabajo. Sin embargo, estos individuos no-válidos no constituyen la mayoría del espacio de búsqueda, sino un subconjunto reducido del mismo. En consecuencia, la evolución descarta naturalmente estos mapas y tiende hacia soluciones válidas.

4.3 Conclusiones

Se ha desarrollado un algoritmo de asignación de revisores en función del perfil de los usuarios. Los criterios de asignación son fácilmente configurables, gracias a la aproximación intuitiva seguida, basada en prototipos.

El modelo descrito previamente ha sido implementado en un sistema de soporte que realiza la asignación de revisores de forma automática, permitiendo definir diferentes criterios de asignación para guiar el proceso.

El sistema ha sido evaluado inicialmente con datos simulados, con datos reales y, por último, en escenarios docentes reales, tal como se explica en el capítulo 5. De acuerdo a las pruebas realizadas, el algoritmo de optimización implementado funciona adecuadamente, obteniendo una solución acorde con los criterios especificados en un tiempo razonable.

Puesto que el proceso de asignación de revisores se realiza de forma asíncrona, el tiempo de ejecución no es un parámetro crítico. Aún así, la eficiencia del algoritmo es razonable en las condiciones habituales de aplicación. En los escenarios de las experiencias desarrolladas, con alumnos y condiciones reales, se han obtenido tiempos de respuesta del orden de segundos.

El funcionamiento del algoritmo puede verse comprometido si el proceso no dispone de suficientes grados de libertad. Al estar basado en una exploración aleatoria, guiada por probabilidad, del espacio de búsqueda, podría no alcanzar la solución óptima, o incluso no alcanzar una solución válida, si no existiesen suficientes alternativas viables. Sin embargo, se trata de condiciones muy restrictivas y que raramente se darían en un escenario real.

En la figura 4.2 se muestra el mapa resultante obtenido para los prototipos definidos en el ejemplo 3.6.3, utilizando calificaciones reales de alumnos como modelo de datos. En el mapa generado, las parejas autor-revisor formadas se distribuyen en el área próxima a los prototipos a los que se asignó interés máximo y evitan completamente las regiones próximas a los prototipos con pesos negativos.

Una característica destacable del sistema es su cobertura de escenarios tanto individuales como colaborativos. A diferencia de la mayoría de sistemas de soporte del proceso de revisión entre iguales, el sistema permite considerar entregas realizadas por múltiples autores, incluso aunque la evaluación sea individual. Esta configuración constituye un escenario natural de aplicación de la metodología, tal como puede observarse en las experiencias descritas en el capítulo 5, de ahí la importancia de esta funcionalidad.

El algoritmo implementado también permite combinar varios criterios de

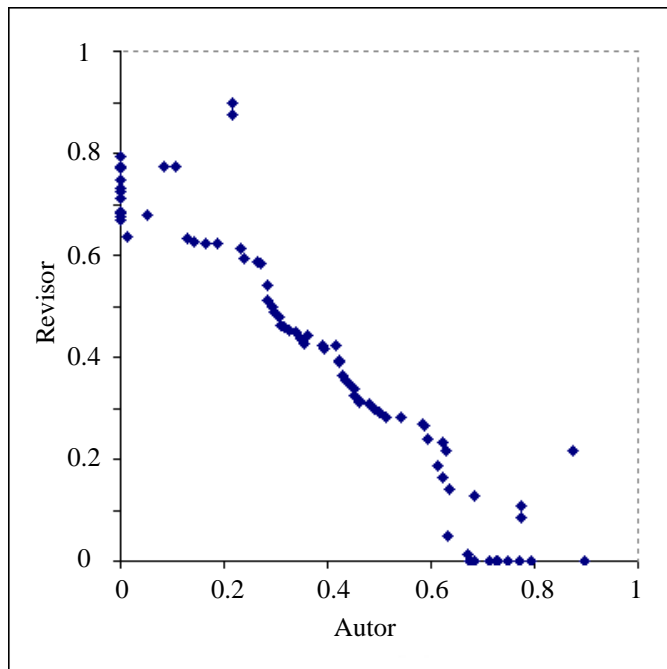


Figura 4.2: Mapa resultante para el ejemplo 3.6.3.

asignación de revisores para generar un único mapa. Dichos criterios pueden aplicarse con un peso equivalente para todos ellos o bien de forma ponderada, con distintos pesos en función de la prioridad asociada a cada uno de ellos. En el apartado 5.2.8 se describe un ejemplo de aplicación de varios criterios combinados. Obviamente, el algoritmo también engloba el caso básico de asignación aleatoria de revisores.

En el capítulo 5 se desarrollan en detalle las pruebas de campo realizadas con el sistema.

Capítulo 5

Marco experimental

Truth is what stands the test of experience.

Albert Einstein

Esta tesis nace con una firme vocación de aplicabilidad práctica, de modo que se ha prestado especial atención al estudio de campo de la metodología propuesta. A lo largo de dos cursos, se ha aplicado la metodología en asignaturas de muy diferente naturaleza y variadas circunstancias.

Estas experiencias tienen como objetivo no sólo la validación de la hipótesis en que se basa este trabajo, sino refinar la definición de la metodología atendiendo a las limitaciones y dificultades que afloran de su aplicación en un escenario educativo real.

En este capítulo se describen las experiencias desarrolladas en las asignaturas de grado Inteligencia en Redes de Comunicaciones y Organización de Contenidos Audiovisuales, durante los cursos 2003-2004 y 2004-2005, y los resultados y conclusiones obtenidos.

5.1 Caso de estudio I: Inteligencia en Redes de Comunicaciones

En esta sección se describe la experiencia desarrollada en la asignatura Inteligencia en Redes de Comunicaciones durante el curso 2004-2005 [25].

Asignatura	Inteligencia en Redes de Comunicaciones (IRC)
Titulación	Ingeniería de Telecomunicación
Curso	5º (1 ^{er} cuatrimestre)
Tipo	Optativa
Créditos	4,5 (3 teoría + 1,5 prácticas)
Período	2004-05

Tabla 5.1: Caso de estudio I: Inteligencia en Redes de Comunicaciones.

5.1.1 Contexto

Inteligencia en Redes de Comunicaciones es una asignatura de Ingeniería de Telecomunicación, optativa de la especialidad Sistemas y Redes de Telecomunicaciones, que se imparte en el quinto y último curso de la titulación (cfr. apéndice A.1). Tiene una carga de 4,5 créditos (3 teoría y 1,5 prácticas) que se imparte en dos sesiones semanales, de 50 y 100 minutos de duración respectivamente, en horario de tarde.

En los últimos años, el número de alumnos ha ido incrementándose desde los 11 alumnos del curso 2002-03, pasando por 46 alumnos el curso 2003-04, hasta los 51 alumnos del curso 2004-05, tal como se refleja en la figura 5.1. Con estas cifras, se ha convertido en la primera asignatura de especialidad de quinto curso del bloque A (de un total de cinco asignaturas) y la tercera entre las asignaturas de especialidad del primer cuatrimestre de quinto curso (de diez asignaturas), en la titulación, según el número de alumnos.

Al preguntar a los alumnos por los motivos de su elección de esta asignatura, la contestación más frecuente es que lo hacen fundamentalmente atraídos por el temario, que resulta sustancialmente diferente del resto de las asignaturas de la carrera. Otro motivo es por recomendación de alumnos de años anteriores.

El objetivo de la asignatura es analizar el concepto de inteligencia en los sistemas informáticos y de comunicaciones y estudiar las técnicas para incorporar estos comportamientos en redes y servicios. Es decir, proporcionar al alumno los fundamentos básicos de la Inteligencia Artificial y las áreas donde estas tecnologías pueden proporcionar avances significativos.

La asignatura está planteada de modo que durante las clases se exponen a los alumnos los diferentes puntos del temario, que está dividido en dos grandes áreas: elementos de la inteligencia artificial (esto es, definiciones, conceptos, principios básicos) y ámbitos de aplicación a diferentes campos de la ingeniería (cfr. tabla 5.2 [145]). Intercaladas con las clases teóricas, se realizan prácticas

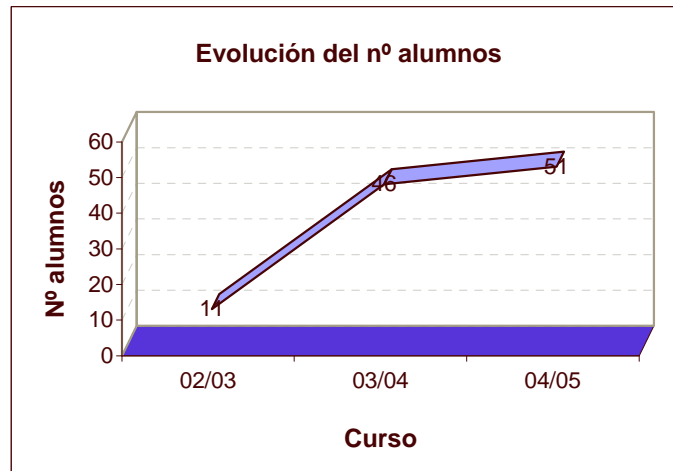


Figura 5.1: Evolución del número de alumnos matriculados en IRC.

en el laboratorio sobre puntos concretos del temario, que resultan de especial interés por su valor didáctico o su aplicación en ingeniería.

El final del curso se dedica al desarrollo de un proyecto global en el que los alumnos, trabajando en equipo, deben enfrentarse a la aplicación práctica de los conceptos aprendidos, diseñando e implementando un sistema informático dotado de inteligencia que resuelva aspectos concretos de un problema de ingeniería.

5.1.2 Motivación

Con este planteamiento de la asignatura, se puede considerar que los resultados son altamente satisfactorios tanto para los alumnos como para los docentes, constatado por la evolución creciente del número de alumnos y los resultados positivos de las encuestas de valoración de la docencia de los últimos años [139, 140, 141].

Pese a todo, de forma recurrente todos los años, a principio de cada curso, se plantean ciertas inquietudes sobre la asignatura. Sin ser problemas a resolver en sí mismos, son aspectos de mejora donde podría incidirse con vistas al objetivo ambicioso de la educación integral y de calidad, centrada en el alumno.

Los principales aspectos de mejora se pueden resumir en:

- Evitar una visión sesgada de la asignatura. El temario resulta muy interesante, según la opinión de los propios alumnos [139, 140], pero es muy

-
- Elementos de la inteligencia artificial
 - Representación del conocimiento
 - Fundamentos de la lógica formal y sistemas inferenciales
 - Tratamiento de la incertidumbre
 - Resolución de problemas y estrategias de búsqueda
 - Aprendizaje y adquisición del conocimiento
 - Aplicaciones de la inteligencia artificial
 - Sistemas basados en conocimiento
 - Agentes
 - Ingeniería lingüística y recuperación de información
 - Minería de datos
 - Sistemas inteligentes y servicios de comunicaciones
-

Tabla 5.2: Temario de la asignatura.

compartimentado. Como puede verse en el programa resumido en la tabla 5.2, bajo el paraguas global de la inteligencia artificial se engloban técnicas y aplicaciones muy diversas, que la asignatura trata de cubrir, en amplitud más que en profundidad, no dando tiempo, en muchos casos, a la adquisición o consolidación de aspectos clave. Cada año se intenta redefinir y aligerar el temario eliminando aquellos puntos que no aporten fundamentos esenciales o que resulten de menor interés para los alumnos, pero el margen de maniobra resulta ya escaso. Además, la práctica final de la asignatura profundiza en un único aspecto de la asignatura, el tema de la propia práctica, agudizando este problema.

- Potenciar el desarrollo de habilidades transversales. Pese a la edad de los alumnos, la proximidad de la lectura del Proyecto Fin de Carrera y, por tanto, de su salida al mercado laboral, se detectan en muchos casos carencias y lagunas en ciertas habilidades, como la comunicación, capacidad de expresión oral y escrita, análisis crítico y autocrítica, confianza en sí mismos, etc.; en definitiva, habilidades transversales a los conocimientos técnicos estudiados en la carrera pero que son igual de importantes, o incluso más, en la formación de los alumnos y futuros profesionales.
- Aumentar la motivación de los alumnos. A pesar del elevado interés declarado por los alumnos, se trata de una asignatura optativa, que “compite” con otras asignaturas (obligatorias, de más créditos, pendientes de cursos anteriores, etc.) por captar la atención del alumno y asegurar el trabajo y esfuerzo necesario para su aprovechamiento.
- Adecuación a las propuestas de la Declaración de Bolonia para el establecimiento del espacio europeo de enseñanza superior (EEES) [28].

El contexto expuesto constituye un escenario ideal para la aplicación de la metodología de revisión entre iguales adaptativa.

La revisión entre iguales se propone como complemento al enfoque de aprendizaje basado en proyectos, para superar las limitaciones e inconvenientes prácticos de esta metodología en el contexto de la asignatura descrita. Manteniendo el desarrollo de un trabajo en profundidad sobre un tema específico de la asignatura, tarea cuyos beneficios son indiscutibles, la evaluación entre iguales introduce además la posibilidad de abordar de forma asequible otros temas de la materia.

Es importante destacar que esta experiencia se centra principalmente en el efecto de la tarea de evaluación en sí, puesto que es la tarea que amplía el aprendizaje de los alumnos a otros temas más allá del desarrollado en su propio

proyecto. Este enfoque resulta novedoso respecto al seguido habitualmente en la mayoría de casos de estudio de la metodología de revisión entre iguales, que ponen el énfasis tradicionalmente en los beneficios de la realimentación recibida por los autores y en la fiabilidad de los estudiantes como evaluadores.

Siendo la familiarización de los alumnos con otros temas diferentes de su propio trabajo el objetivo principal de la experiencia, es fundamental tenerlo en consideración en el proceso de asignación de revisores. Se trata de un escenario en el que la adaptabilidad del proceso de evaluación entre iguales aparece intrínsecamente ligada a sus objetivos didácticos.

5.1.3 Objetivos

El objetivo de la experiencia es ampliar la visión del estudiante, centrada por lo general en el tema elegido para su propio proyecto, complementando su aprendizaje y permitiéndole profundizar en otros aspectos del temario.

Adicionalmente, se plantean los siguientes objetivos complementarios:

- *Aprendizaje de calidad.* Afianzar los conocimientos adquiridos por el alumno y profundizar en los conceptos de la asignatura, fomentando el trabajo continuo, mediante su aplicación práctica y análisis crítico.
- *Formación integral.* Promover una formación integral del alumno, potenciando el desarrollo de habilidades no técnicas imprescindibles, como el trabajo en equipo, la capacidad de expresión y el análisis crítico.
- *El alumno como centro del proceso educativo.* Fomentar la asunción de un rol más activo, autónomo y responsable por parte del alumno en el proceso de aprendizaje y evaluación.
- *Mejorar el proceso de evaluación.* Ayudar a los alumnos cuyo rendimiento en los exámenes no es acorde a sus posibilidades por factores ajenos a su preparación y conocimientos (presión, nervios, miedo escénico), afianzando sus conocimientos y permitiéndoles demostrarlos en entornos de menor presión, y aumentando, por tanto, su confianza ante la prueba definitiva.

5.1.4 Planteamiento y desarrollo

El planteamiento del curso 2004-05 incluyó desde el primer momento la participación de los alumnos en el desarrollo de las clases teóricas, con presen-

taciones orales en el aula por parte de los alumnos voluntarios sobre aspectos complementarios del tema principal del día.

Con estas presentaciones se lograban varios objetivos: ampliar de manera sencilla los contenidos de la asignatura a aspectos complementarios de especial interés, desarrollar habilidades comunicativas en los alumnos (desarrollo de los materiales y presentación en público), desarrollar el espíritu crítico por observación de aciertos o fallos de los compañeros, y hacer las clases más dinámicas.

La idea inicial era realizar una presentación por sesión de clase teórica, pero la alta participación (fomentada por una mínima “recompensa” en la nota) provocó que hubiera que cambiar la planificación, introduciendo dos días de mesas redondas sobre un tema, para dar posibilidad de participar a más alumnos. Todos los alumnos valoraron muy positivamente las presentaciones en clase.

Con estos antecedentes, una vez introducidos los fundamentos teóricos en la primera parte del curso, las últimas clases se dedican al desarrollo de un proyecto global, en el que los alumnos tienen que desarrollar un sistema inteligente, aplicando los conceptos presentados a lo largo del curso para solucionar un determinado problema. El proyecto se realiza en grupos de dos o tres alumnos y forma parte de la evaluación de la asignatura. La relación de proyectos propuestos, así como las normas de desarrollo, se especifican en la página web de la asignatura [145].

Cada grupo debía entregar una memoria escrita del trabajo realizado, incluyendo la descripción del problema, la solución aportada y las técnicas empleadas, y, en su caso, el código desarrollado. Además, debía realizar una breve presentación oral en clase. Y por último, debía realizar una evaluación de las presentaciones y memorias realizadas por sus compañeros. Tanto la realización del proyecto, incluyendo memoria escrita y presentación oral, como las revisiones, de memorias y presentaciones, debían realizarse de forma obligatoria.

La evaluación de las presentaciones se realizó de forma colaborativa, al igual que el desarrollo del proyecto. Cada grupo debía evaluar a todos los demás, de modo que debía asistir a las clases de presentación de todas las prácticas. Al término de cada presentación, durante el tiempo de clase, cada grupo realizaba una valoración de la misma basándose en un cuestionario-guía proporcionado al efecto. Dicho cuestionario consideraba tanto aspectos técnicos como comunicativos. El cuestionario requería la elaboración de un ranking de las presentaciones sobre un mismo tema, es decir, una evaluación comparativa además de la absoluta, de modo que los alumnos se vieran obligados a tomar decisiones. Se requería asimismo señalar tres aspectos positivos a destacar y

otros tres a mejorar para cada presentación, con el objetivo de asegurar un análisis en profundidad de la misma.

En cambio, la evaluación de las memorias se realizó de forma individual, siguiendo el cuestionario de revisión que se muestra en la tabla 5.3. A cada alumno se le asignaron cuatro proyectos para revisar: uno sobre el mismo dominio y aplicación que el suyo, otro del mismo dominio pero distinta aplicación, otro de un dominio diferente y, finalmente, su propio proyecto (autoevaluación). La asignación de las prácticas que debía revisar cada alumno se hizo empleando un esquema pseudo-aleatorio, para garantizar que ningún alumno evaluara los mismos proyectos que sus compañeros de equipo.

Con vistas a analizar la validez de la metodología como instrumento de aprendizaje, se diseñó un cuestionario para evaluar de forma objetiva el aprendizaje de los alumnos. El objetivo de este test es validar la hipótesis en que se basa este trabajo, de que el revisor aprende en el transcurso de la revisión. Obviamente, los resultados también deberían validar la hipótesis generalmente asumida de la efectividad del aprendizaje basado en proyectos. Probablemente, el aprendizaje obtenido mediante la revisión del proyecto es menor que el del autor, pero en cualquier caso mayor que el de alguien que no haya desarrollado ni evaluado la práctica.

Para mejorar la fiabilidad de la medida, estas preguntas (de tipo test: verdadero/falso) se intercalaron camufladas entre el resto de preguntas del examen teórico. De este modo, los alumnos asumían que las respuestas puntuaban como en el resto del examen y las respondían con idéntica seriedad. Sin embargo, no se incluyeron en su calificación final para evitar sesgos.

Es importante puntualizar el relativo rigor empírico de este tipo de experimentos sociales, con poblaciones tan reducidas, sesgadas en comportamientos o actuaciones, y con tan pocas preguntas de control. Por ello, las conclusiones que se puedan obtener son de tipo cualitativo más que cuantitativo, y hay que considerarlas en su aspecto de aplicación más general.

5.1.5 Resultados

Al ser obligatorio, prácticamente la totalidad de los estudiantes de la asignatura realizaron el proyecto final. Concretamente, 46 de los 51 matriculados, lo que supone un 90,2%. La tabla 5.4 resume los proyectos realizados y la distribución de alumnos según los temas. La mayoría de los estudiantes optó por proyectos sobre simulación (21 alumnos) o minería de datos (19 alumnos). Sólo dos grupos, de dos alumnos cada uno, se decantaron por proyectos sobre sis-

Puntuación de 1=peor a 5=mejor:

1. El trabajo está tratado en general con la profundidad adecuada. Aspectos en que se hace demasiado hincapié. Aspectos que necesitarían más esfuerzo.
2. Valoración global del trabajo.
3. Faltas de ortografía (de 5=ninguna a 1=más de 10).
4. Claridad: la redacción es correcta (clara, comprensible, etc.).
5. Estilo: el lenguaje utilizado es el adecuado (lenguaje científico, formal, evita expresiones coloquiales, etc.).
6. Semántica: el trabajo realizado está correctamente descrito.
7. Valoración global de la redacción (de 5=excelente a 1=mal).
8. Las hipótesis, proceso y resultados descritos son correctos.
9. Una vez visto en detalle el trabajo, valora la exposición oral.
10. Valoración global de la memoria.
11. ¿Has aprendido algo revisando este trabajo? (de 1=nada a 5=muchísimo).
12. Mi nivel de conocimientos del tema es (de 1=nulo a 5=muy alto).
13. Mi interés en el tema es (de 1=nulo a 5=muy alto).

Tabla 5.3: Cuestionario de revisión.

Área	Práctica	Nº alumnos
Simulación	Robocode	10
	CodeRuler	5
	RARS	6
Minería de Datos	Predicción meteorológica	9
	Diagnóstico en cardiología	8
	Reconocimiento facial con RRNN	2
Sistemas Expertos	Turismo con Prodigy	2
	“Concesionario de coches”	2
Varios	IA y proyectos de desarrollo sostenible	2

Tabla 5.4: Caso de estudio I: Proyectos desarrollados.

temas expertos y, finalmente, un único grupo realizó el proyecto sobre otras aplicaciones de la inteligencia artificial, en concreto al campo del desarrollo sostenible.

La figura 5.2 presenta el número medio de respuestas correctas de los alumnos en cada uno de los bloques de preguntas planteadas en el examen final. Como se puede observar, en todos los casos, el número medio de respuestas correctas de los autores de las prácticas (esto es, respuestas a preguntas relacionadas con la propia práctica) es claramente superior al número medio de respuestas correctas de toda la clase en general. A su vez, esta media de la clase es superior a la media de los alumnos que no habían realizado esta práctica. Estos resultados constituyen un indicador objetivo y cuantitativo del aprendizaje al realizar un proyecto.

En la gráfica mostrada en la figura 5.2 destaca el reducido número de aciertos en las preguntas sobre diagnóstico en cardiología, incluso para los propios autores. Este resultado negativo se explica porque una de las preguntas estaba redactada de forma ambigua y resultaba confusa para los alumnos, lo que se puso de manifiesto durante la evaluación.

La figura 5.3 muestra la comparativa de los resultados obtenidos por los autores, frente a los revisores y el resto de alumnos que no son ni autores ni revisores, para cada uno de los bloques temáticos. Al igual que en la gráfica anterior, el número de aciertos de los autores es significativamente superior al del resto de alumnos en todos los bloques temáticos. Pero además, se observa que el número medio de respuestas correctas de los revisores es a su vez superior al número medio de respuestas correctas de alumnos que ni han he-

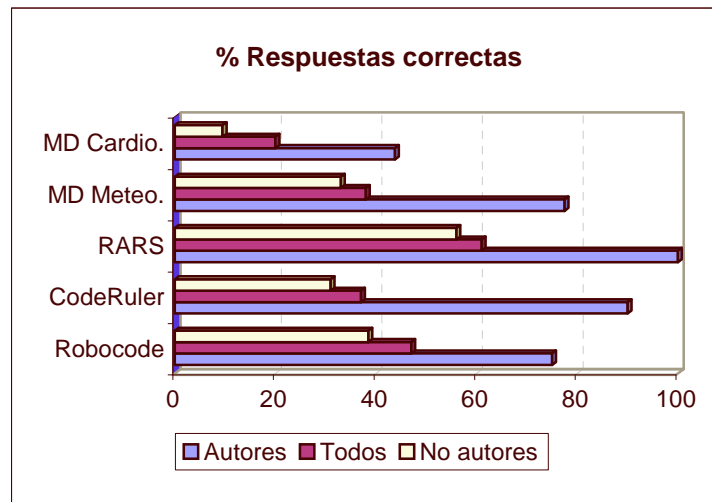


Figura 5.2: Comparativa del número medio de respuestas correctas entre autores y no autores.

cho la práctica ni tampoco la han revisado, excepto para el proyecto RARS. Sólo en dicho bloque los revisores obtuvieron peores resultados que el grupo de control. Sin embargo, el valor estadístico de este dato es discutible, puesto que el número de estudiantes que revisaron este proyecto es muy reducido y considerablemente inferior a los de los otros cuatro bloques (sólo dos grupos seleccionaron este proyecto y, por tanto, el número de revisores asignados fue menor que para el resto de temas).

La diferencia entre autores y revisores resulta lógica y acorde con los resultados esperados, considerando el tiempo dedicado a las fases de desarrollo y revisión, por lo que supone un control de la calidad de los resultados de este experimento.

Estos resultados permiten inferir, considerando el rigor relativo de este tipo de experimentos con poblaciones reducidas, que la metodología propuesta es válida como instrumento de aprendizaje. Avalan asimismo la importancia clave del proceso de asignación de revisores en el aprendizaje, y la necesidad de seleccionar los trabajos a revisar en función del perfil del evaluador para obtener un resultado óptimo.

Las figuras 5.4 y 5.5 presentan un resultado interesante respecto al grado de confianza de los alumnos en sus respuestas. La figura 5.4 muestra la distribución de aciertos, errores y respuestas en blanco de los alumnos en las preguntas sobre su propio proyecto; esto es, la distribución de resultados para los autores.

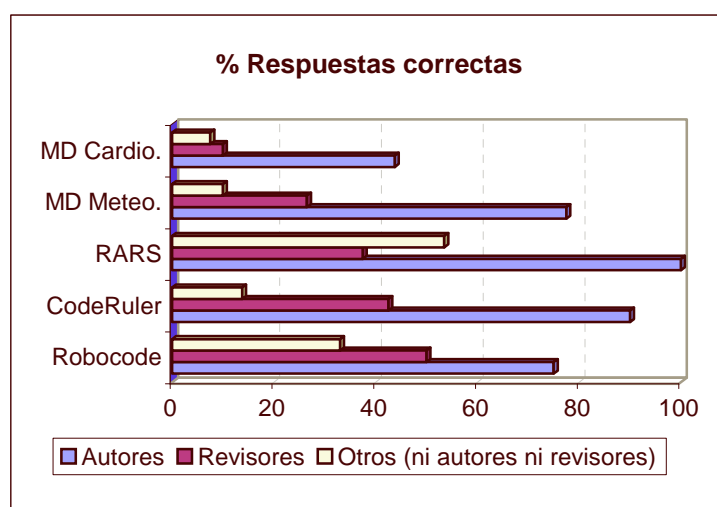


Figura 5.3: Comparativa del número medio de respuestas correctas entre autores y revisores.

La figura 5.5 muestra dicha distribución pero para revisores. Puesto que los alumnos estaban convencidos de que las respuestas incorrectas penalizaban en la calificación del examen, se puede asumir que una pregunta que no estuviera en blanco indica que el alumno estaba convencido de conocer la respuesta.

Se observa que en el caso de los autores, el número medio de respuestas en blanco es muy bajo, incluso nulo en algún caso (RARS). Esto indica que los alumnos pensaban que conocían la respuesta cuando las preguntas versaban sobre su propio proyecto, independientemente de que realmente acertaran o no. Los revisores por el contrario muestran una mayor desconfianza en sus respuestas, puesto que el número de respuestas en blanco aumenta de forma notable, especialmente en el caso de las prácticas percibidas como más difíciles que son las de minería de datos. Aún así, el número de respuestas sin contestar por parte de los revisores es menor que la media para los alumnos que ni realizaron un proyecto sobre el tema ni lo revisaron.

Aparte de la mejoría detectada en las mediciones objetivas del aprendizaje, se observa también una percepción *subjetiva* de mejora del aprendizaje por parte de los alumnos. Este resultado concuerda con las conclusiones obtenidas a partir de los indicadores de opinión cualitativos (entrevistas personales, conversaciones informales, comentarios de respuesta abierta).

Respecto a la adquisición de habilidades complementarias, de carácter no técnico, resulta complicado medir el impacto de la experiencia, porque se tra-

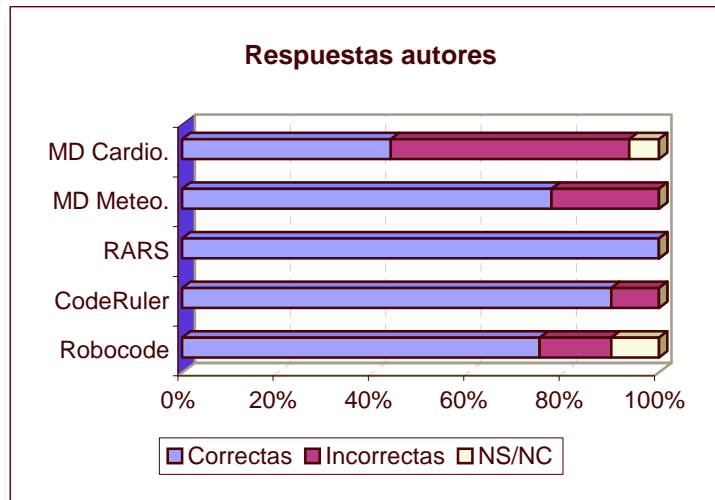


Figura 5.4: Distribución de respuestas de autores

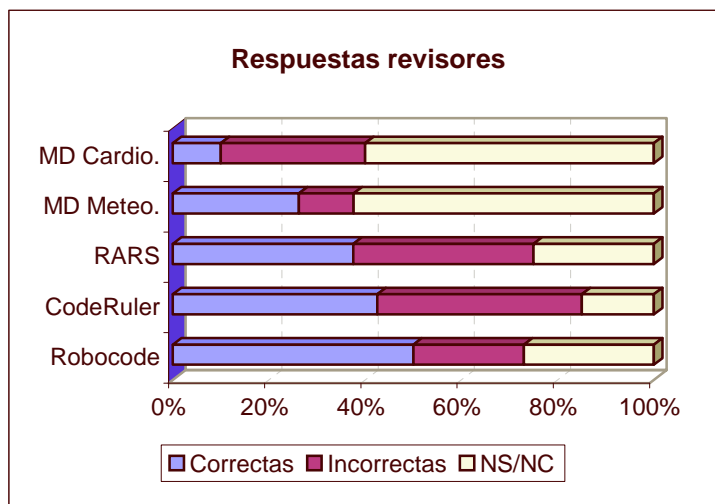


Figura 5.5: Distribución de respuestas de revisores

ta de un proceso continuo y holístico. La evaluación exhaustiva tanto de las presentaciones orales como de las memorias escritas, y la conciencia de estar siendo evaluados por sus compañeros empujaron a los alumnos a prestar especial atención a su trabajo y, en general, se observó una mejoría general del nivel respecto a ediciones previas del curso, en opinión de la plantilla docente.

Por último, la figura 5.6 muestra el tiempo dedicado a la revisión de cada una de las prácticas, según estimaciones de los propios alumnos. Si bien la gráfica muestra sólo valores medios, la desviación típica es bastante reducida y similar en todos los casos, con lo que se puede asumir que las respuestas son bastante precisas. De acuerdo con los datos, la tarea de evaluación requiere un tiempo significativo, considerando que cada alumno debe revisar tres prácticas más la suya propia. Consecuentemente, éste es un factor a considerar en la planificación de este tipo de actividades, máxime cuando las etapas de revisión suelen plantearse al final de la asignatura y próximas al periodo de exámenes. Ello es debido a la naturaleza secuencial del proceso, en el que la revisión es la etapa final, necesariamente posterior a la fase de desarrollo, que en general requiere a su vez una fase introductoria en la que los alumnos aprenden los conceptos teóricos.

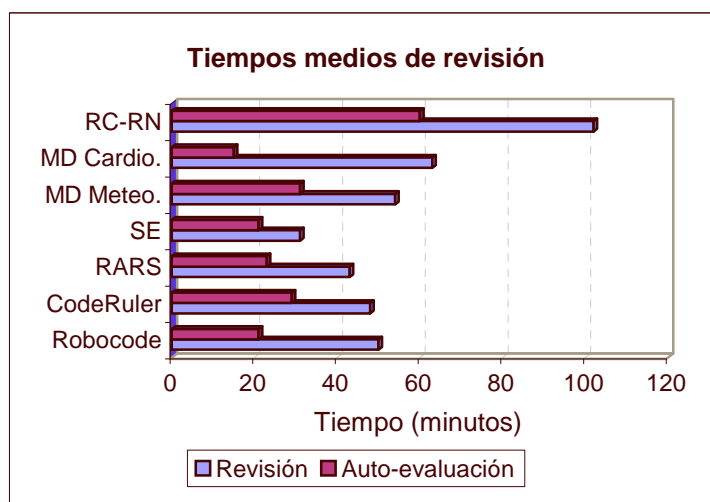


Figura 5.6: Tiempos de revisión.

La figura 5.6 muestra, además, que las prácticas consideradas más difíciles por los alumnos (según su valoración en el cuestionario de evaluación) requieren más tiempo de revisión, lo cual resulta lógico teniendo en cuenta además la mayor extensión de las memorias de resultados. El caso de la práctica sobre “reconocimiento facial empleando redes neuronales” es significativo, porque

los revisores dedicaron casi el doble de tiempo que a las demás; las causas de esta desviación radican en el profundo interés suscitado por este trabajo, según manifiestan los revisores en sus comentarios en el informe de evaluación.

5.1.6 Problemas y dificultades encontrados

A lo largo de esta experiencia han surgido problemas y dificultades derivados de la puesta en marcha de la metodología en un entorno real.

Vencer la reticencia de los alumnos a asumir el rol de evaluadores no ha sido una tarea trivial. La escasa implantación de iniciativas de este estilo, potenciando el papel del alumno como protagonista en el proceso de aprendizaje es uno de los motivos de este recelo. La otra causa radica en la falta de cualificación de los alumnos como evaluadores. La tarea de evaluación exige el conocimiento de la materia a evaluar así como ciertas habilidades de análisis crítico y capacidad de expresión. Puesto que en esta experiencia la evaluación se planteaba como una actividad formativa, para el propio evaluador, estas carencias no son críticas. Sin embargo, sí afectan a la percepción del proceso por parte de los alumnos, puesto que éstos acostumbran a centrarse en los aspectos calificativos del proceso educativo más que en los aspectos formativos.

Por otra parte, garantizar el anonimato en pequeños grupos con fuerte interacción es prácticamente imposible. Los alumnos a menudo reconocen el trabajo de sus compañeros, de modo que la evaluación no es en realidad anónima y puede afectar a su objetividad.

Finalmente, otro de los problemas encontrados deriva de la reorganización de la planificación inicial, con vistas a mejorar su integración en la planificación del curso y con la agenda de los alumnos. El carácter secuencial de la metodología de revisión entre iguales en la que cada fase depende de los resultados de la anterior, la hace fuertemente sensible a los retrasos, que se acumulan progresivamente. En consecuencia, las revisiones se hicieron próximas al final del curso, cuando los alumnos tienen menos tiempo debido a la proximidad de los exámenes, lo que afectó a la calidad de algunos trabajos.

5.1.7 Opiniones de los alumnos

En general, los alumnos evaluaron muy positivamente la experiencia. Los cuestionarios de evaluación incluían una pregunta abierta para que los alumnos comentaran libremente su opinión sobre el proceso de revisión entre iguales y pudieran reflejar aspectos positivos y negativos que habían encontrado. En este

apartado se resumen los comentarios recibidos y las principales conclusiones que pueden extraerse de los mismos.

Es destacable que una parte significativa de los estudiantes no entiende la importancia de un análisis crítico de su propio trabajo. Citando literalmente a uno de los alumnos:

“Las autoevaluaciones no sirven para nada”

Por otra parte, los alumnos se muestran reticentes a evaluar a sus propios compañeros. La evaluación se considera una tarea compleja y exigente y los alumnos no se sienten suficientemente cualificados y objetivos:

“Es que yo puedo valorar un trabajo similar al mío, pero no sé cómo valorar uno de otro tema.”

En consecuencia, ellos preferirían delegar la responsabilidad de la evaluación en la plantilla docente, considerados como “expertos” en la materia:

“El profesor es el que mejor sabe juzgar. Es injusto que los alumnos juzguen, porque no conocen todo.”

Pese a todo, los estudiantes valoraron mayoritariamente la experiencia de forma positiva, incluso pese al coste en tiempo que supuso, y constataron mejoras en el aprendizaje, según su percepción subjetiva:

“Creo que es demasiado tiempo el invertido en leerse todas las prácticas y comentarlas pero aun así me parece una buena idea puesto que sirve para darte cuenta de qué errores solemos cometer.”

Finalmente, algunas opiniones reflejan un análisis maduro de los pros y contras de la metodología encontrados:

“El proceso de corrección cuando se desconoce sobre el tema y encima son compañeros tuyos moralmente suele ser bastante contradictorio. Objetividad vs. Compañerismo. La autoevaluación y la evaluación de trabajos sobre el mismo tema que tú has desarrollado permite darte cuenta de aspectos que desde un principio tú has descartado.”

5.1.8 Conclusiones

La metodología de aprendizaje basado en proyectos, realizados en equipo, es un enfoque didáctico habitual. Sin embargo, un curso de introducción sobre Inteligencia Artificial normalmente engloba un temario amplio, compuesto por temas diferentes e independientes. En consecuencia, el enfoque de aprendizaje basado en proyectos presenta como principal inconveniente que los alumnos se centran en un único tema de entre todos los contenidos del curso. Aunque el aprendizaje en profundidad de dicho tema esté probablemente asegurado, el conocimiento del resto de contenidos será mucho más superficial.

La metodología de revisión entre iguales adaptativa resulta un complemento eficaz para paliar esta limitación. Los resultados obtenidos en esta experiencia demuestran que los alumnos aprenden revisando otros proyectos de sus compañeros. También se observa que el aprendizaje alcanzado mediante el proceso de revisión es menor que el derivado del desarrollo del proyecto. Por tanto, la mejora en el aprendizaje será especialmente significativa si los proyectos asignados para revisar cubren otros aspectos del temario diferentes del tratado por el alumno en su propio trabajo. En consecuencia, la adaptación resulta clave para garantizar la consecución de los objetivos didácticos del proceso de revisión entre iguales.

Aunque los resultados validan la eficacia de la metodología como instrumento de aprendizaje, su aplicación como instrumento de calificación continúa siendo cuestionable. En este contexto, los alumnos son reticentes a calificar a sus compañeros, debido a factores exógenos al proceso de evaluación en sí. Por tanto, la homogeneidad de las calificaciones y la sobre-puntuación se revelan dos graves problemas, al igual que en otros estudios de aplicación de la revisión entre iguales. A tenor de los resultados en este sentido, deben introducirse mecanismos de control estrictos para garantizar la fiabilidad y validez de las revisiones de compañeros, en cuanto instrumento de calificación.

5.2 Caso de estudio II: Organización de Contenidos Audiovisuales

En esta sección se describen las experiencias desarrolladas en la asignatura Organización de Contenidos Audiovisuales a lo largo de los cursos 2003-2004 y 2004-2005 [22, 23].

Asignatura	Organización de Contenidos Audiovisuales (OCA)
Titulación	Ingeniería Técnica de Telecomunicación (esp. Sonido e Imagen)
Curso	1º (2º cuatrimestre)
Tipo	Obligatoria
Créditos	6 (3 teoría + 3 prácticas)
Período	2003-04

Tabla 5.5: Caso de estudio II: Organización de Contenidos Audiovisuales.

5.2.1 Contexto

Organización de Contenidos Audiovisuales, en adelante OCA, es una asignatura obligatoria, impartida en el segundo cuatrimestre del primer curso de la titulación de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, especialidad de Sonido e Imagen (cfr. apéndice A.2).

La asignatura tiene una carga docente de 6 créditos, 3 de teoría y 3 de prácticas y se imparte en dos sesiones semanales de 100 minutos de duración cada una. Cada semana se dedica una sesión a los aspectos teóricos de la asignatura y en la otra se abordan aspectos prácticos.

Los objetivos didácticos de la asignatura son:

- Aprender los fundamentos teóricos de multimedia, diseño y organización de contenidos.
- Introducir al alumno en el desarrollo de aplicaciones multimedia con Java.
 - Afianzar conocimientos sobre la programación orientada a objetos y el lenguaje Java (adquiridos en una asignatura previa).
 - Familiarizar al alumno con técnicas de diseño y pruebas de programa
 - Iniciar al alumno en el desarrollo de interfaces gráficas con Java.

Todo ello orientado al diseño y desarrollo de interfaces gráficas y aplicaciones multimedia.

La parte práctica de la asignatura se desarrolla en el laboratorio, en sesiones semanales a lo largo del cuatrimestre, con los alumnos distribuidos en

parejas que comparten el ordenador, y se organiza en tres grandes bloques de contenidos:

1. Interfaces gráficas de usuario con Java: repaso de conceptos básicos de programación y Java e introducción al desarrollo de aplicaciones gráficas en este lenguaje (modelo de eventos y librerías específicas).
2. Aplicaciones multimedia con Java: incorporación de elementos multimedia en las aplicaciones, presentación de audio y vídeo con Java.
3. Formatos de representación: introducción a XML.

Se trata de la segunda asignatura sobre programación a la que se enfrentan los alumnos. Previamente han sido introducidos en los fundamentos de dicha materia en la asignatura *Representación de Datos y Aplicaciones*, también obligatoria, que se desarrolla durante el primer cuatrimestre. Por su parte, los conocimientos adquiridos en esta asignatura se utilizan como base para asignaturas de cursos superiores, como por ejemplo *Servidores de Información*, impartida en segundo. El lenguaje utilizado en todas ellas es Java, por ser el lenguaje con el que los alumnos son introducidos a la programación en la primera asignatura sobre el tema. La elección de Java como lenguaje de referencia es común a otras titulaciones de ingeniería de telecomunicación impartidas en la universidad, debido a la portabilidad del lenguaje y su expansión en el mundo profesional.

5.2.2 Motivación

El curso durante el cual se inicia esta experiencia es el primero en que se imparte la asignatura, puesto que es el curso en que comienza el despliegue de la titulación de Sonido e Imagen. Sin embargo, OCA comparte temario, planteamiento y tipo de alumnado muy similares con asignaturas del resto de titulaciones de Ingeniería de Telecomunicación impartidas en la Universidad Carlos III de Madrid: Laboratorio de Programación (Ingeniería de Telecomunicación), Programación de Sistemas (Ingeniería Técnica de Telecomunicación -especialidad Sistemas de Telecomunicación-) y Representación de Datos (Ingeniería Técnica de Telecomunicación -especialidad Telemática-).

Los conocimientos procedimentales son objetivo prioritario en las asignaturas de programación. Por ello, el enfoque habitual combina la impartición de clases teóricas con una importante carga práctica. Esta última suele articularse en torno a la realización en el laboratorio de prácticas semanales orientadas a

la asimilación de los conceptos teóricos, y, paralelamente, al desarrollo en equipo de un proyecto global evaluable, con un peso importante en la calificación, que introduce a los alumnos en la metodología de desarrollo software.

Todas estas asignaturas comparten una problemática similar, en la que diversos factores independientes contribuyen a agravar un escenario ya de por sí complicado.

- *Dificultad de la materia.* Los alumnos acceden a la universidad sin conocimientos previos de programación, salvo contadas excepciones. Para ellos, se trata de una disciplina compleja, por su exigencia de razonamiento abstracto, lo novedoso de la materia y la metodología de estudio que requiere, radicalmente distinta de otras con las que los alumnos están más familiarizados.
- *Desmotivación.* La dificultad que perciben los alumnos deviene en una rápida desmotivación, agudizada por los resultados negativos que se obtienen en los exámenes.
- *Condiciones de contorno que afectan al seguimiento real de la asignatura (frente a la tasa de matriculación).*
 - *Dependencia de asignaturas previas.* Las asignaturas mencionadas introducen conceptos relativamente avanzados de programación, como estructuras de datos, algoritmos o interfaces gráficas. Dependen fuertemente de las correspondientes asignaturas previas, en las que se introducen los fundamentos de la programación en Java. Pese a ello, los alumnos se ven obligados a matricularse en la asignatura impartida en el segundo cuatrimestre, independientemente de los resultados obtenidos en la anterior, por tratarse de asignaturas de primer curso, según establece la normativa de matriculación de la universidad en su artículo tercero [138].
 - *Plan de permanencia.* Los alumnos tienden a centrarse en las asignaturas que ven más asequibles (entre las cuales no se encuentran las relacionadas con la programación), debido a la exigente normativa de permanencia implantada en la Universidad Carlos III de Madrid [137].

En consecuencia, una parte importante de los alumnos, prácticamente la totalidad de los estudiantes de nuevo ingreso, abandonan la asignatura sin abordar siquiera su estudio. A lo largo del curso, las cifras de abandono se

ven engrosadas por los alumnos que desisten debido a la dedicación que exige la materia, tal como se refleja en la evolución de la asistencia a clase, que se muestra en la figura 5.7. Esta decisión se ve reforzada por las recomendaciones de estudiantes veteranos, que ya han cursado la asignatura, que aconsejan a los alumnos su abandono con el objetivo de asegurar la permanencia en la universidad superando otras consideradas más asequibles. Todo ello se traduce en una alta tasa de abandono de la asignatura, que se refleja en el porcentaje de alumnos no presentados al examen, en torno al 50 %.

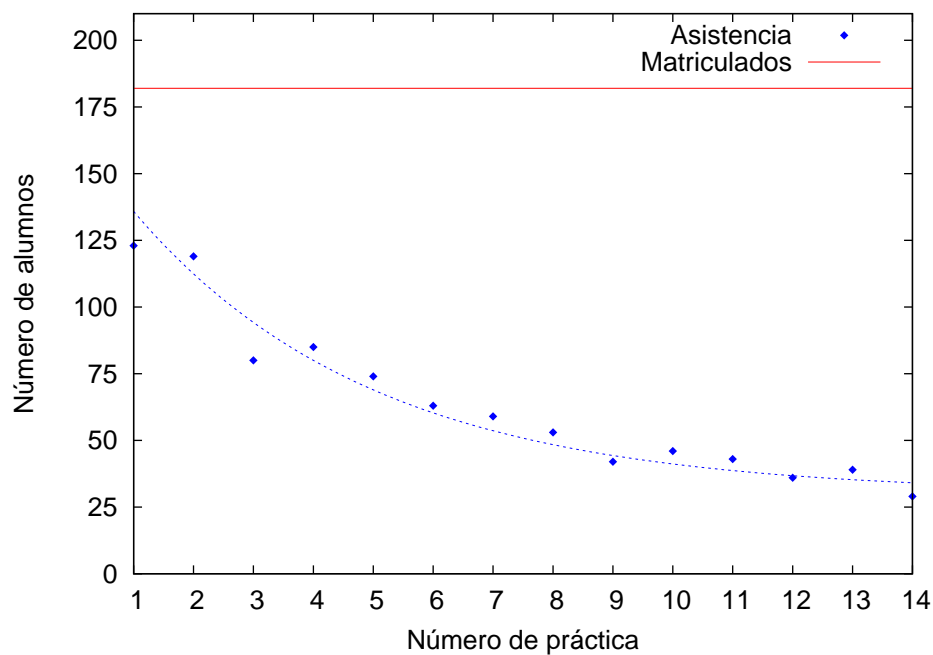


Figura 5.7: Evolución de la asistencia a clase de prácticas en Laboratorio de Programación.

En dichos entornos se han detectado una serie de características y efectos nocivos que desvirtúan la eficacia del proceso de aprendizaje, principalmente:

- *Desmotivación* de los alumnos, en particular respecto a las prácticas semanales. Al no ser evaluables, los alumnos no dedican el esfuerzo necesario, sino que centran su atención en la práctica global, perdiéndose en buena medida su eficacia docente.
- *Disfunciones en la metodología de trabajo colaborativo*. Los alumnos, especialmente en los primeros cursos, no perciben claramente el objetivo

didáctico de la metodología propuesta ni, por tanto, su importancia. Concretamente, la frontera entre solidaridad y ayuda entre compañeros y realizar la práctica en común les resulta muy difusa. Prácticas dimensionadas para realizarse en parejas a menudo se realizan en grupos de dos o más parejas. Viceversa, es frecuente que los alumnos de un equipo se repartan el trabajo encargándose uno de una asignatura y otro de otra, con lo cual en realidad no existe colaboración, aparte de que algunos no realicen el trabajo.

- *Deformación de objetivos e irregularidades en la evaluación.* Los alumnos limitan a menudo su percepción de las prácticas evaluables a su dimensión calificativa, obviando su dimensión formativa. En consecuencia, su objetivo es alcanzar el resultado final y obtener una calificación positiva, en detrimento del potencial de aprendizaje englobado en el proceso de desarrollo. Lo cual lleva a problemas de *plagio* e incluso a la entrega de prácticas realizadas por terceros (profesores particulares, academias, amigos, familiares, etc.). En consecuencia, se pierde la componente didáctica que constituye la razón de ser de dichas prácticas evaluables, generándose además conflictos en el proceso de evaluación.

Con la introducción de la metodología de revisión entre iguales se pretende transformar dichas características, originalmente nocivas, en ventajas y apoyos que potencian el aprendizaje, manteniendo los aspectos que han demostrado un efecto positivo. Así, hay una parte de trabajo en equipo y una parte individual, que obviamente resultará más sencilla si se ha realizado correctamente la primera. Igualmente, ya que los alumnos tienden a observar el trabajo de sus compañeros, se fomenta que lo hagan, pidiéndoles que lo revisen seriamente en vez de intentar evitarlo.

Las experiencias desarrolladas se apoyan, pues, en dos líneas fundamentales de actuación:

- desarrollo en equipo de aplicaciones Java;
- complementado con el análisis crítico individual de soluciones desarrolladas por otros compañeros.

Las prácticas tradicionales, que se corresponderían con la primera línea de actuación, cubren la mayoría de los objetivos planteados, pero no todos. La metodología propuesta incorpora mecanismos de revisión de código de los propios compañeros, que tienen un nivel similar, lo cual redundará en una mayor motivación, fomenta el trabajo reflexivo frente al riesgo de repetición mecánica

de procedimientos y potencia el desarrollo de habilidades no técnicas fundamentales para el futuro profesional del alumno.

En definitiva, es la experiencia previa en asignaturas similares la que conduce al planteamiento de iniciativas encaminadas a potenciar los aspectos que han demostrado un correcto funcionamiento y solventar los problemas detectados. La puesta en marcha de una asignatura de nueva creación es una oportunidad ideal, debido a la ausencia de inercias, de aprovechar la experiencia previa para la implantación de alternativas didácticas y nuevas metodologías educativas que ayuden a mejorar la asimilación de la materia y paliar las disfunciones detectadas en la trayectoria previa de asignaturas similares.

5.2.3 Objetivos de la experiencia

Objetivos didácticos

Así, los principales objetivos didácticos perseguidos con la experiencia son:

1. Aplicar y comprender en profundidad de los conceptos teóricos.
2. Afianzar los conocimientos procedimentales.
3. Aumentar la motivación de los alumnos.
4. Fomentar el trabajo en equipo.
5. Entrenar a los alumnos en la metodología de desarrollo software.
6. Enfrentar a los alumnos con dificultades específicas de un proyecto de desarrollo.
7. Enfatizar la importancia de la evaluación y prueba del código desarrollado.
8. Desarrollar habilidades transversales y combatir carencias detectadas, particularmente de expresión, argumentación, ortografía, etc.
9. Adecuar el desarrollo de la asignatura a las propuestas de la Declaración de Bolonia para el establecimiento del espacio europeo de enseñanza superior (EEES) [28].

Objetivos experimentales

A los objetivos didácticos previos se suman los siguientes objetivos experimentales, orientados al desarrollo de esta investigación:

- Refinar la definición de la metodología de revisión entre iguales adaptativa.
- Analizar la adecuación de los criterios pedagógicos planteados.
- Refinar el modelo de usuario, corroborando la influencia de los factores cognitivos considerados.
- Definir y evaluar mecanismos de captura de información, orientados al mantenimiento de datos actualizados para el perfil de los alumnos en que se basa la adaptación del proceso.
- Evaluar la viabilidad práctica de la metodología propuesta.
- Evaluar la expresividad del modelo de especificación de criterios de asignación de revisores.
- Evaluar el sistema de asignación de revisores, verificando la correspondencia entre las asignaciones realizadas y los requisitos especificados.

5.2.4 Planteamiento

Las sesiones del laboratorio desarrollan prácticas guiadas para familiarizar a los alumnos con los temas fundamentales tratados. Sin embargo, dada la naturaleza de sus contenidos, la asignatura es idónea para desarrollar la iniciativa y creatividad de los alumnos, permitiéndoles idear sus propios proyectos, lo cual redundará en una mayor motivación e interés (de acuerdo al objetivo didáctico 3).

Partiendo de esta idea, se propuso a los alumnos la realización de prácticas de carácter voluntario, para afianzar las principales líneas temáticas de la asignatura (de acuerdo a los objetivos didácticos 1 y 2). Las prácticas se plantean de acuerdo a una metodología de aprendizaje incremental, aplicándose sucesivamente conceptos de complejidad creciente:

1. Aplicación gráfica.
2. Interfaces interactivas.

3. Sistemas multimedia.

Con vistas a fomentar la motivación de los alumnos (objetivo didáctico 3) se plantean como proyectos a desarrollar aplicaciones con utilidad práctica, con una temática atractiva para los alumnos, según sus preferencias e intereses declarados en encuestas informales y diversos estudios, como por ejemplo [41]. Los enunciados se plantean lo más abiertos posibles, para respetar la iniciativa y creatividad de los alumnos. Se incluyen una serie de requisitos mínimos para asegurar su valor didáctico, básicamente, los elementos teóricos que deben incluirse en el trabajo.

Durante el curso 2003-2004 se sugiere una posible aplicación como guía, aunque el alumno puede desarrollar esta idea, o bien, otra temática que se ajuste mejor a sus intereses. Por ejemplo, se pidió la realización de un juego como ejemplo de aplicación gráfica, sugiriéndose concretamente el de las tres en raya por su simplicidad. La mayoría de los alumnos optó por seguir esta sugerencia, probablemente por las pautas que se facilitaron sobre cómo enfocarlo. Sin embargo, una parte significativa desarrolló además una aplicación alternativa: puzzle, adivinación de números, etc. Durante el curso 2004-2005 se asienta definitivamente el desarrollo de un juego como objetivo del proyecto, a la vista de los excelentes resultados obtenidos con esta temática durante el curso anterior.

5.2.5 Metodología

Tal como se ha explicado previamente, la experiencia desarrollada se apoya en dos líneas fundamentales de actuación: realización de trabajos en grupo (objetivo didáctico 4) complementados con el análisis crítico de trabajos desarrollados por otros compañeros (objetivo didáctico 7). Siguiendo la metodología de revisión entre iguales (cfr. sección 2.4), cada práctica consiste a su vez en un ciclo de tres fases:

1. *Solución del problema: desarrollo de la aplicación.*

En parejas (excepcionalmente, algunos alumnos trabajaron de forma individual y tres grupos constaban de tres personas), los alumnos desarrollan una aplicación conforme a los requisitos pedidos. Objetivos didácticos: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

2. *Revisión de aplicaciones de otros compañeros.*

La revisión se realiza de forma individual y, por supuesto, anónima¹.

¹En grupos reducidos como éste, garantizar el anonimato es una cuestión compleja, puesto

Como guía, se proporciona a los alumnos un formulario de evaluación que deben rellenar para cada una de las prácticas asignadas, valorando distintos aspectos de la aplicación. Objetivos didácticos: 1, 3, 5, 7 y 8.

3. *Análisis de la realimentación recibida.*

Por último, cada autor puede cumplimentar otro formulario valorando las revisiones recibidas: la utilidad de la misma, su grado de conformidad y una valoración de la revisión en sí (si las explicaciones son claras, si la revisión ha sido exhaustiva, etc.). Estas valoraciones se cumplimentan de forma individual, al igual que las revisiones, independientemente de si el trabajo se había hecho en grupo o no, puesto que incluyen indicadores subjetivos. Objetivos didácticos: 7 y 8 y control de calidad de las revisiones.

Las evaluaciones, tanto de las aplicaciones como de la realimentación recibida, se realizan mediante cuestionarios guiados. Los alumnos deben evaluar diferentes aspectos de la aplicación (o de la revisión) de forma independiente. En ambos casos se proporcionan guías y explicaciones sobre cómo evaluar cada punto. También deben introducir una valoración global, considerando la aplicación (o la revisión) en conjunto. Obviamente, se espera que dicha valoración global esté relacionada con las evaluaciones detalladas.

El cuestionario de revisión de aplicaciones, en la figura 5.8 se reproduce una captura del mismo, requiere que los alumnos evalúen cada aplicación tanto desde el punto de vista de usuario, considerando factores como el funcionamiento, estabilidad, usabilidad o el diseño; como desde el punto de vista del programador, analizando el código fuente y el diseño de clases, tal como se resume en la tabla 5.6.

El cuestionario para evaluar la realimentación recibida, incluido en la figura 5.9, también se estructura considerando diferentes aspectos, como se resume en la tabla 5.7. Los factores a considerar son, por una parte, el grado de acuerdo del autor con la calificación recibida y, por otra, una evaluación objetiva de la realimentación, básicamente, si es exhaustiva y la claridad de las explicaciones proporcionadas.

Ambos cuestionarios de evaluación incluyen además un apartado para indicar el grado de utilidad, bien del proceso de revisión de la aplicación o bien de la realimentación recibida, de cara al aprendizaje del alumno, junto con un campo abierto para indicar los puntos más destacados. Estos apartados constituyen un indicador del aprendizaje subjetivo percibido por el alumno asociado

que las aplicaciones más llamativas a menudo podían reconocerse.

Funcionamiento	
Valoración global del funcionamiento:	Funciona correctamente <input checked="" type="checkbox"/>
Comentarios sobre el funcionamiento:	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>	
Interfaz de usuario	
Valora el diseño de la interfaz de usuario: aspecto, usabilidad... Céntrate únicamente en la presentación. Ten en cuenta que el funcionamiento ya se ha valorado en el apartado anterior. Es decir, valora únicamente los elementos que aparecen en pantalla y su organización. Si al utilizarlos no funcionan, no importa (eso cuéntalo arriba).	
Valoración global de la interfaz:	Excelente (se sale de lo común) <input checked="" type="checkbox"/>
Comentarios sobre la interfaz de usuario:	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>	

Figura 5.8: OCA 2003-2004: cuestionario de revisión de aplicaciones.

<i>Funcionamiento</i>	(4) Correcto (3) Pequeños fallos (2) Fallos importantes (1) No funciona
Comentarios sobre el funcionamiento	
<i>Interfaz de usuario</i>	(4) Excelente (3) Adecuado (2) Regular (1) Mal
Comentarios sobre la interfaz de usuario	
<i>Implementación (código)</i>	(4) Sobresaliente (3) Notable (2) Aprobado (1) Suspenso
Comentarios sobre el código	
<i>Evaluación global</i>	(4) Sobresaliente (3) Notable (2) Aprobado (1) Suspenso
Comentarios globales	
<i>¿Has aprendido algo revisando esta práctica?</i>	(4) Mucho (3) Bastante (2) Poco (1) Nada
Resume lo más importante	

Tabla 5.6: Resumen del cuestionario de revisión de aplicaciones.

Calificación	
Valora en qué medida estás de acuerdo con la calificación recibida:	Totalmente de acuerdo <input type="checkbox"/>
Comentarios sobre la calificación recibida:	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>	
Valoración global	
Valora objetivamente la revisión. Dejando aparte la calificación (que ya se considera en el punto anterior), valora si tu trabajo ha sido correctamente examinado, si ha detectado los fallos/aciertos, si las explicaciones son claras y ordenadas...	
Valoración global de la revisión:	Excelente (se sale de lo común) <input type="checkbox"/>
Comentarios sobre las explicaciones:	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>	
¿Has aprendido algo con esta revisión? <input type="checkbox"/> Mucho	
Resume lo más importante:	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>	

Figura 5.9: OCA 2003-2004: cuestionario de evaluación de revisiones.

<i>¿Has recibido esta revisión?</i>
(1) Sí (0) No
<i>Calificación</i>
(5) Completamente de acuerdo
(4) Parcialmente de acuerdo
(3) Indiferente
(2) Parcialmente en desacuerdo
(1) Completamente en desacuerdo
Comentarios sobre calificación recibida ...
<i>Evaluación global de la revisión</i>
(4) Excelente (se sale de lo común)
(3) Bien (está bien y cumple su cometido)
(2) Regular (admite sensibles mejoras)
(1) Mal (necesita mejoras sustanciales para ser aceptable)
Comentarios sobre las explicaciones ...
<i>¿Has aprendido algo con esta revisión?</i>
(4) Mucho
(3) Bastante
(2) Poco
(1) Nada
Resume lo más importante ...

Tabla 5.7: Resumen del cuestionario de evaluación de revisiones recibidas.

a las actividades de revisión y a la realimentación recibida. Asimismo, se incluye también un apartado abierto mediante el cual los alumnos pueden hacer llegar comentarios y sugerencias libremente a los profesores.

Dada la carga implicada en el desarrollo de las prácticas, resulta razonable reflejar el trabajo realizado en la calificación final de la asignatura. Globalmente, el alumno puede sumar hasta un máximo de 1,5 puntos a su calificación en la parte práctica de la asignatura. La calificación final de la asignatura se calcula como la media de las partes teórica y práctica, ya que ambas tienen el mismo peso.

5.2.6 Hipótesis de partida

A partir de las consideraciones pedagógicas discutidas en el capítulo 3, se postula como hipótesis de partida la influencia del algoritmo de asignación de revisores en los resultados educativos del proceso de revisión entre iguales, y la consecuente necesidad de atender criterios pedagógicos en dicha asignación.

A la luz de las citadas teorías, se postulan a priori las siguientes premisas pedagógicas sobre el criterio de asignación de revisores:

1. La formación de parejas autor-revisor cuyos miembros tienen ambos bajos niveles de rendimiento parece claramente desaconsejada. Las posibilidades de aprendizaje para el revisor a partir de un trabajo deficiente son reducidas. Tampoco es probable que un revisor con escaso dominio de la materia pueda detectar correctamente los errores cometidos por un compañero y proporcionarle comentarios útiles. Por el contrario, este tipo de asignaciones parecen propiciar la propagación de errores.
2. Los casos en que autor y revisor presentan niveles de desempeño complementarios parecen plantear situaciones de aprendizaje más propicias. Un alumno con nivel deficiente tiene mucho que aprender de un trabajo bien realizado (asumiendo, por supuesto, que el nivel de un trabajo está directamente correlacionado con el de su autor o autores). Por su parte, un alumno que domina la materia está en situación privilegiada para ayudar a un compañero de menor nivel y corregir sus errores, sin verse confundido por ellos. Esto es especialmente importante puesto que supone una barrera para evitar la temida propagación de errores entre los alumnos.
3. Por último, la situación en que tanto autor como revisor tienen perfiles similares de alto dominio del tema no supone un riesgo como el primer

caso, pero tampoco proporciona las oportunidades de aprendizaje que el segundo. Por ello, este tipo de asignaciones son aceptables desde el punto de vista pedagógico, pero menos interesantes que las parejas con perfiles complementarios.

En conclusión, a priori, parece que las teorías pedagógicas conducen a un criterio de asignación que potencie la formación de parejas autor-revisor con perfiles complementarios, evitando emparejamientos de alumnos con perfiles similares de nivel deficiente y aceptando, aunque con menor prioridad que los primeros, parejas cuyos componentes presentan ambos un perfil de rendimiento alto.

Este criterio no es estrictamente justo, puesto que prioriza el aprendizaje de los alumnos en situación menos favorecida. Sin embargo, esta discriminación positiva resulta lógica desde el punto de vista pedagógico, puesto que proporciona mayor ayuda a los alumnos que más lo necesitan.

5.2.7 Modelo de datos

De acuerdo a los postulados pedagógicos discutidos previamente, se considera el nivel de conocimiento de la materia por parte del alumno el factor clave a considerar en la adaptación del proceso. En consecuencia, el modelo del alumno se define basado en su nivel de desempeño global en la materia, desde el punto de vista procedimental:

$$\vec{s} = (\textit{nivel}_{prog}) \quad (5.1)$$

Como fuentes de datos para la alimentación del modelo se cuenta con los indicadores asociados al propio proceso. Se asume la no disponibilidad de instrumentos de medida ad hoc, puesto que no puede asegurarse la posibilidad de introducirlos en otros entornos y se desea realizar una evaluación genérica de la metodología. A ello se suma que la realización de exámenes parciales está desaconsejada en la universidad, debido a las potenciales interferencias que causaría en el estudio de otras materias. No obstante, el temario de la asignatura continúa y profundiza el aprendizaje iniciado en otra previa (*Representación de datos y aplicaciones*). Por ello, se cuenta además con los resultados de las evaluaciones de dicha asignatura como datos para la inicialización del modelo.

Lógicamente, el nivel de conocimiento del alumno no se mantiene constante sino que se asume su variación en el tiempo. Para reflejar su evolución, el modelo del alumno se actualiza a lo largo del proceso, teniendo en cuenta

el nivel de las entregas realizadas como indicador disponible más fiable del aprendizaje del alumno.

La adaptación se basa en el estado del alumno, de modo que se necesita conocer de la forma más precisa posible la situación de los alumnos y el nivel de las prácticas entregadas. Por tanto, la adaptación depende completamente de la adecuación del modelo de datos utilizado. A lo largo del proceso se evaluarán diferentes alternativas de estimación y la fiabilidad de los diferentes indicadores disponibles.

5.2.8 Edición 2003-2004

Modelo de datos

Tal como se define en el apartado 5.2.7, el modelo del alumno refleja su nivel de desempeño global en la materia, desde el punto de vista procedimental. Como fuentes de datos para alimentar el modelo, se utilizarán los indicadores disponibles a lo largo del proceso, sin introducir instrumentos de medida ad hoc adicionales:

1. Resultados de examen, previo al inicio del curso.
2. Calificaciones asignadas por los compañeros.

Inicialmente, se utilizarán los resultados obtenidos por los alumnos en el examen de programación previo como datos de partida para alimentar el modelo. Concretamente su calificación en la parte práctica, puesto que son los conocimientos procedimentales los más relacionados y con una influencia más directa en las actividades desarrolladas en esta experiencia. En la figura 5.10 se representa la distribución de notas; los alumnos no presentados han sido asignados una calificación numérica inicial de 0, asumiendo que no disponían de un nivel adecuado.

Por supuesto, el nivel de conocimiento del alumno evoluciona a lo largo del curso. Para reflejar dicha evolución y mantenerlo actualizado en todo momento, el modelo del alumno se recalculará a lo largo del proceso. Tal como se discute en apartados anteriores, se tendrá en cuenta el nivel de las entregas realizadas como indicador disponible más fiable del aprendizaje del alumno. Sin embargo, en el momento de realizar la asignación de revisores no se dispone aún de la corrección de la última entrega realizada por los alumnos. Por tanto, se induce de forma aproximada su nivel a partir de los datos de nivel inicial y de entregas

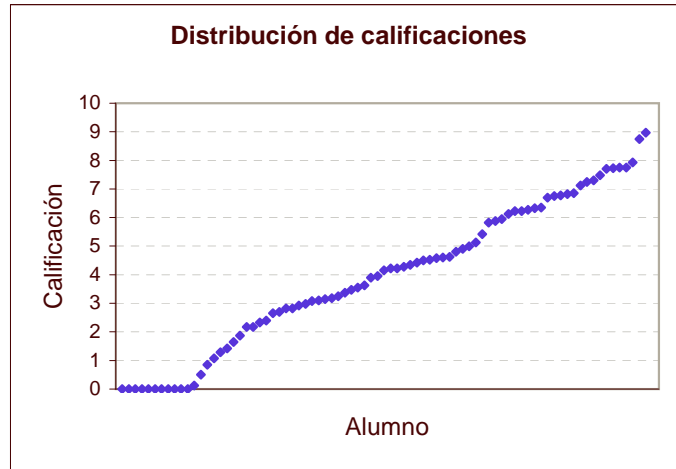


Figura 5.10: OCA 2003-2004: distribución de notas previas.

anteriores. La función de actualización será la media ponderada entre el nivel previo del alumno y el nivel de la última entrega disponible:

$$n_a(t) = \alpha n_a(t-1) + \beta n_{e_a(t)} \quad (5.2)$$

siendo $n_a(t)$ el nivel de desempeño global del alumno a en el instante t , $n_a(t-1)$ su nivel en el instante $t-1$, $n_{e_a(t)}$ el nivel de la última entrega e realizada por el alumno a y α y β parámetros de ponderación. Se asigna un valor inicial $\alpha = \beta = 0,5$, pudiendo reajustarse a lo largo del proceso en función de las desviaciones estimativas del modelo.

Sin embargo, el proyecto se realizaba en equipo, de modo que para cada entrega hay que considerar varios autores, con sus respectivos perfiles. Para caracterizar la entrega se define una función de estimación basada en dichos perfiles. Se asume de este modo que el nivel de una entrega tiene cierta correlación con el nivel de sus autores previo al desarrollo de la misma.

$$n_{e_i} = f(n_{a_1}, n_{a_2}, \dots, n_{a_k}) \quad (5.3)$$

siendo n_{e_i} el nivel de la entrega e_i , y $n_{a_1} \dots n_{a_k}$ los niveles de sus autores. A lo largo del proceso se evaluarán diferentes alternativas de estimación. Inicialmente, puesto que la colaboración potencia las habilidades de los miembros del equipo, se asume que el nivel de desempeño conjunto puede aproximarse por el nivel máximo de sus componentes individuales:

$$n_{e_i} = \max(n_{a_1}, n_{a_2}, \dots, n_{a_k}) \quad (5.4)$$

Criterio de asignación de revisores

En cada ciclo de desarrollo-revisión, a cada entrega se le asignaron tres evaluadores. La disponibilidad de múltiples evaluaciones permite la comparativa de sus resultados y con ello la detección de posibles anomalías. El número de prácticas asignadas a cada alumno para revisar oscilaba entre un mínimo de una y un máximo de dos, para obtener las tres revisiones fijadas por prácticas garantizando simultáneamente una carga equilibrada entre todos ellos.

Se aplicaron tres criterios de asignación diferentes, para los distintos revisores, utilizando como perfil el nivel de desempeño de los alumnos. El objetivo de esta disparidad es permitir por una parte comparar los distintos criterios y evaluar su adecuación, y, por otra, evaluar la flexibilidad y expresividad del modelo de especificación de criterios de asignación de revisores.

Los criterios de asignación aplicados fueron:

1. *Complementariedad*: revisor con perfil complementario al del autor, o, con menor probabilidad, ambos con nivel de desempeño alto, evitando siempre la formación de parejas con perfiles deficientes para ambos.
2. *Fiabilidad*: revisor con nivel de desempeño alto, buscando evaluaciones de calidad.
3. *Similitud*: revisor con perfil similar al del autor. A priori, se esperaba que este criterio ofreciese peores resultados, pero se incluyó con finalidad de control.

Estos tres criterios se aplicaron ponderados, asignándosele la prioridad máxima al primero y la mínima al tercero.

Formalmente, se consideraron dos categorías de alumnos, en función de su nivel de desempeño en la asignatura: alto y deficiente, siendo p y d los perfiles correspondientes a los casos representativos (*prototipos*) de cada categoría. Para el proceso de asignación de revisores, se utilizaron las siguientes parejas (*autor, revisor*), prototipos de las posibles combinaciones:

$$P = \{(d, d), (p, p), (d, p), (p, d)\}$$

Los criterios de asignación se definen formalmente mediante el conjunto de prototipos P y los correspondientes conjuntos de pesos, que se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8: OCA 2003-2004: criterios de asignación de revisores.

Criterio	Pesos de los prototipos $\{(d, d), (p, d), (d, p), (p, p)\}$	Guía la selección hacia parejas (autor, revisor) con:
1	$\{-1, 1, 1, 0,5\}$	Perfiles complementarios
2	$\{-1, -1, 1, 1\}$	Revisores fiables
3	$\{1, -1, -1, 1\}$	Perfiles similares

Resultados

Participación:

Tal como se ha comentado previamente, la participación era voluntaria para evitar un impacto negativo en la motivación de los alumnos. Pese al escaso peso asignado en la calificación final de la asignatura, el grado de participación superó ampliamente las expectativas iniciales. En la tabla 5.9 se desglosa el número de alumnos que entregaron la aplicación, la revisión o revisiones asignadas y la evaluación de las revisiones recibidas, para cada uno de los proyectos propuestos. La figura 5.11 representa gráficamente esta información, contrastada con el número de alumnos matriculados en la asignatura y el número de alumnos que se presentaron a examen.

Nº práctica	Aplicación	Revisión	Evaluación
1	52	47	39
2	37	35	28
3	35	31	26

Tabla 5.9: OCA 2003-2004: participación.

El número de participantes parece reducido al compararse con el número total de matriculados (87 alumnos). Sin embargo, debe considerarse la alta tasa de abandono de este tipo de asignaturas, discutida en el contexto de la experiencia. Respecto al número de alumnos presentados al examen, la tasa de participación alcanzó un significativo 95,83%. En la tabla 5.10 se desglosa la participación de los alumnos en función del número de prácticas que realizaron.

Estos datos contrastan fuertemente con los resultados obtenidos en otras asignaturas similares con proyectos de entrega voluntaria. Por ejemplo, en Programación de Sistemas, durante el curso 2004-2005 se planteó el desarrollo, también de forma voluntaria, de una aplicación de simulación. Únicamente

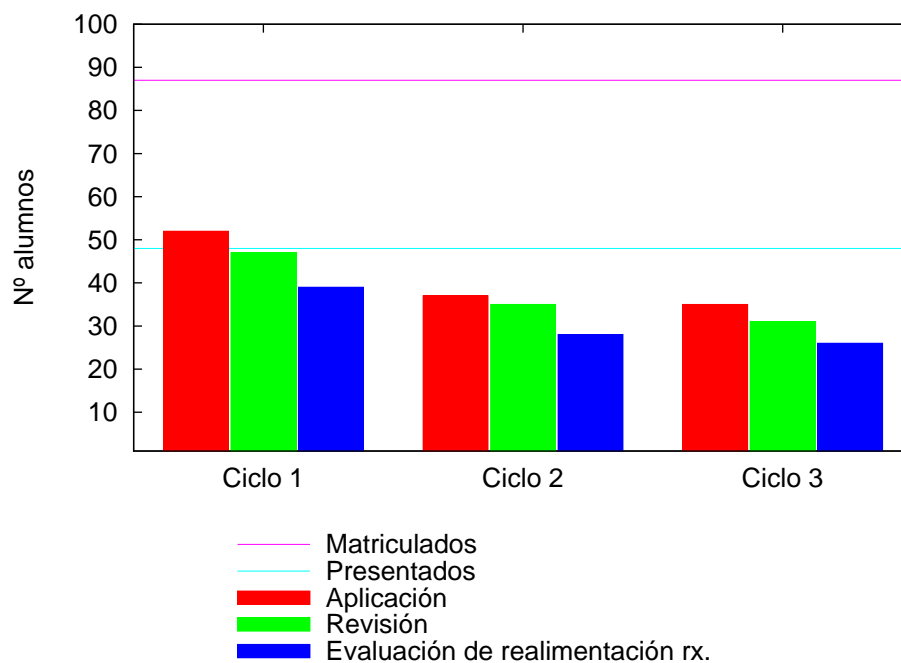


Figura 5.11: OCA 2003-2004: participación.

Nº Prácticas realizadas:	3	2	1
Nº Alumnos	33	6	12
% sobre participantes	64.71	11.76	23.53
% sobre presentados	68.75	12.50	25.00

Tabla 5.10: OCA 2003-2004: distribución de alumnos en función del nº de prácticas en que participaron

realizaron la primera entrega 19 alumnos, que se redujeron a 11 en el segundo y tercer módulos, de un total de 75 alumnos matriculados.

Dedicación:

Respecto a la metodología, se comprueba que las revisiones suponen una carga razonable, especialmente después de haber realizado un trabajo similar. El tiempo requerido, según estimaciones de los alumnos, oscilaba desde los 20 minutos a la hora. Aunque el tiempo dedicado claramente se reflejaba en la calidad de la revisión.

La escasa familiaridad de los alumnos con este tipo de metodologías se refleja en la diferente atención que prestaron a cada fase del proceso. En general, dedicaron un esfuerzo considerable al desarrollo de las aplicaciones. Sin embargo, las revisiones no siempre fueron igual de exhaustivas. Además, hay un reducido porcentaje de alumnos que realizaron el trabajo pero no entregaron la revisión asignada, pese a requerir un esfuerzo mucho menor que el trabajo previo. Hay otro porcentaje significativo que simplemente olvidó enviarlas a tiempo, pero las entregó inmediatamente cuando se les recordó.

Es interesante notar también la evolución a lo largo del curso de la calidad del trabajo realizado por los alumnos. En general, el nivel de los trabajos decayó en la última fase. Así, las revisiones de la primera entrega fueron (siempre en general) muy detalladas; mientras que en la tercera, los comentarios fueron mucho más breves o incluso inexistentes. La carga de trabajo de los alumnos, muy próximos ya a las fechas de los exámenes; cansancio y, por tanto, menor entusiasmo; así como un menor dominio de la materia final, más compleja, son las hipótesis que se barajan como posibles causas de esta degradación.

Evaluación del modelo y sistema de asignación de revisores:

Tal como se explica en la descripción previa del modelo, para construir el perfil inicial de los alumnos se utilizaron sus calificaciones en un examen inmediatamente anterior sobre la materia. La figura 5.12 representa la distribución de parejas autor-revisor generada con dicho modelo de datos y aplicando los criterios de asignación antedichos.

Como puede observarse en la figura 5.12, las distribuciones obtenidas se corresponden con los objetivos perseguidos. La dispersión existente, con parejas relativamente alejadas de los prototipos ideales se debe, principalmente, a la heterogénea composición de los equipos de desarrollo. Al realizarse el proyecto en equipo, la asignación de un revisor a una determinada entrega conlleva la formación de varias parejas autor-revisor, puesto que cada entrega tiene varios autores. Si todos los autores de una misma entrega presentaran un perfil similar, las parejas generadas corresponderían a puntos próximos en la distri-

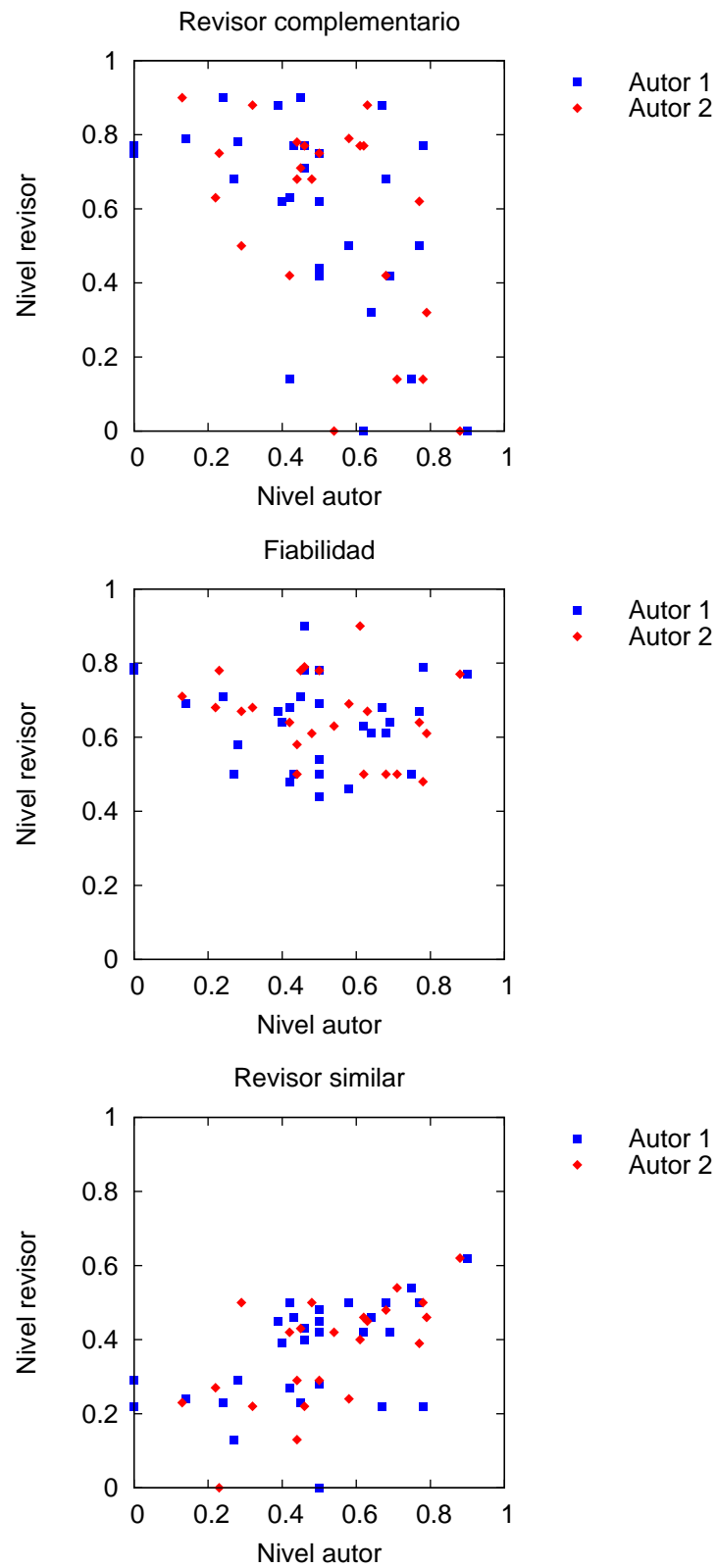


Figura 5.12: OCA 2003-2004: distribución de parejas autor-revisor.

bución. Sin embargo, la mayoría de los equipos de desarrollo no presentaban perfiles homogéneos, de modo que la asignación de un revisor podía generar alguna pareja (con otro de los autores) no acorde al criterio buscado. La distribución de los perfiles de los alumnos (representada en la figura 5.10), que no se corresponden con los modelos ideales sino que se distribuyen de forma continua con una alta concentración de perfiles de desempeño medio, también influye en la dispersión de los puntos.

Modelo del alumno - mecanismos de captura de información:

Previo a la interpretación de los resultados, es necesario comprobar la adecuación del modelo de datos utilizado. Para realizar la adaptación, se necesitaba conocer el estado de los alumnos y el nivel de las prácticas entregadas. Dicho nivel se ha estimado a partir del nivel de los alumnos al comienzo del curso y actualizado progresivamente a partir de las evaluaciones de los compañeros.

Debe observarse que los datos en que se basa el modelo no están completamente actualizados, puesto que corresponden al estado previo al proceso de desarrollo de cada ciclo. Se trata de una estimación, basada en la hipótesis de que el nivel del trabajo entregado por el alumno está relacionado con su nivel previo al iniciar el proceso de desarrollo, y con el nivel de los trabajos entregados previamente. Si bien se trata de una hipótesis razonable en función de la experiencia docente, los datos experimentales no permiten confirmarla, al menos en este escenario.

Así, la correlación entre el nivel estimado a priori utilizado para el modelo y el nivel real de la entrega según las calificaciones asignadas por los compañeros es prácticamente inexistente.

En la primera entrega, no se encuentra correlación entre las calificaciones asignadas por los compañeros y el nivel inducido a partir de las calificaciones de examen en la asignatura anterior. Puesto que no existen desviaciones significativas en las evaluaciones de los compañeros, esto indica que los datos utilizados no constituyen un modelo adecuado. Tal como se explica previamente, el nivel de la entrega se estimó a priori como el nivel máximo entre sus autores. Sin embargo, tampoco existe correlación utilizando funciones de estimación alternativas, como el nivel medio de los autores, el nivel mínimo o una combinación ponderada de ambos. Una posible explicación, para este primer caso, es la diferente naturaleza de los instrumentos de medida utilizados como indicadores. El examen se realiza de forma individual, en un tiempo limitado y sin ordenador. El proyecto por el contrario se realiza a lo largo de un intervalo de tiempo más dilatado, en equipo, y con libertad de consulta tanto al profesor como a compañeros, amigos y cualquier tipo de recurso. Es posible, por tanto, que la discrepancia en los resultados sea debida al distinto tipo de actividad

evaluada.

Sin embargo, tanto en la segunda como en la tercera entrega se repitió el problema, y, de nuevo, no hay correlación con los resultados obtenidos en las fases (o exámenes) previos. Tampoco se ha encontrado correlación con modelos alternativos que se probaron a posteriori, utilizando diferentes combinaciones de los indicadores previos, tanto del examen inicial como de la entrega o entregas anteriores. En estos casos, los errores de predicción del modelo no pueden achacarse a la distinta naturaleza de las evaluaciones consideradas, puesto que ya se dispone de información sobre entregas previas. Más bien debe considerarse en cambio la influencia de factores totalmente ajenos al proceso, principalmente la dedicación del alumno (influida a su vez por la sobrecarga debida a otras asignaturas), que pueden oscilar fuertemente entre unas fases y otras. Al quedar fuera de control estos factores, el modelo no puede ofrecer unas mínimas garantías de precisión.

La influencia de estos factores extrínsecos suele verse atenuada dependiendo de las condiciones de evaluación. En proyectos a largo plazo y obligatorios, los alumnos pueden planificar su tiempo, de modo que el resultado alcance el nivel esperado aunque el trabajo no se desarrolle de forma uniforme. En ese tipo de escenarios, los datos pueden resultar más acordes con la experiencia docente que sí conduce a esperar una relación entre el nivel del alumno y sus trabajos. En este caso, no existía la presión de la obligatoriedad. Además, los resultados obtenidos en el proyecto sólo podían suponer una mejora de la calificación definitiva, sin afectar nunca de forma negativa (no se realizaba media, sino que se sumaba una puntuación extra). Por todo ello, la atención de los alumnos pudo verse desviada en ocasiones a otras tareas con requisitos más estrictos.

Como resultado, se concluye la necesidad de indicadores actualizados para modelar la entrega y garantizar que la adaptación se realiza sobre perfiles representativos, puesto que no puede garantizarse la fiabilidad del modelo basado en inducción a partir de datos de estados previos. La evaluación de posibles indicadores se plantea en la experiencia desarrollada en el apartado 5.2.9.

Una consecuencia inmediata, es la imposibilidad de utilizar los datos experimentales recopilados en esta experiencia para realizar análisis comparativos entre los distintos criterios de asignación de revisores aplicados, puesto que el modelo del alumno en que se basó la adaptación no es válido. Los resultados únicamente pueden basarse en el análisis de la información obtenida a posteriori.

Aprendizaje:

Respecto a los objetivos de aprendizaje, los formularios incluían una encuesta cualitativa para recoger la opinión subjetiva de los alumnos sobre el aprendizaje asociado a las actividades realizadas. La figura 5.13 resume los resultados obtenidos. Se confirman dos claras tendencias: aprendizaje *positivo*, de nuevos conceptos o procedimientos desconocidos a priori por el revisor, y aprendizaje *negativo*, a partir de errores ajenos. Al ser una medida subjetiva, se confirma también que los alumnos reconocen fácilmente el aprendizaje de primer tipo, pero es una minoría la que cuenta también con el segundo.

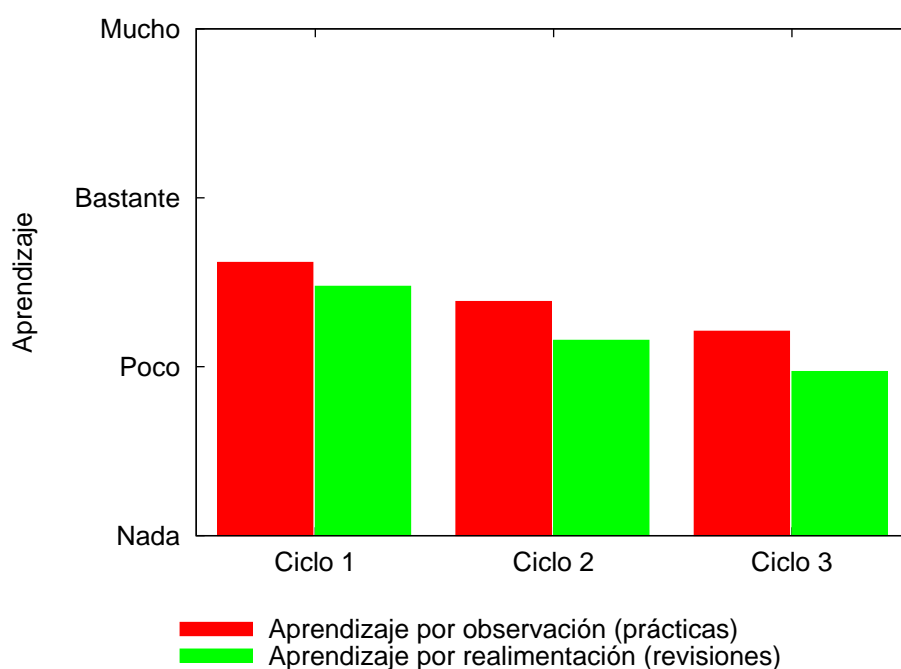


Figura 5.13: OCA 2003-2004: aprendizaje subjetivo.

Modelo del alumno - influencia del nivel del alumno en los resultados del proceso:

Un resultado particularmente interesante es la relación que aparece entre el nivel de la práctica evaluada, asignado por el revisor, y lo que aprende de ella dicho alumno revisor (según encuesta subjetiva), tal como se muestra en la figura 5.14. Los resultados experimentales muestran una correlación de $\rho = 0,68$ entre ambas variables. También existe correlación, aunque menor ($\rho = 0,58$), entre la calidad de la realimentación recibida y lo que el autor estima que aprende de ella. Si bien el reducido tamaño de la muestra dificulta la justificación de conclusiones cuantitativas, sí permite observar tendencias

cualitativas. Parece razonable que los alumnos aprendan más de los mejores trabajos, tal como se postulaba a partir del análisis de las teorías pedagógicas, y los resultados experimentales confirman esta tendencia.

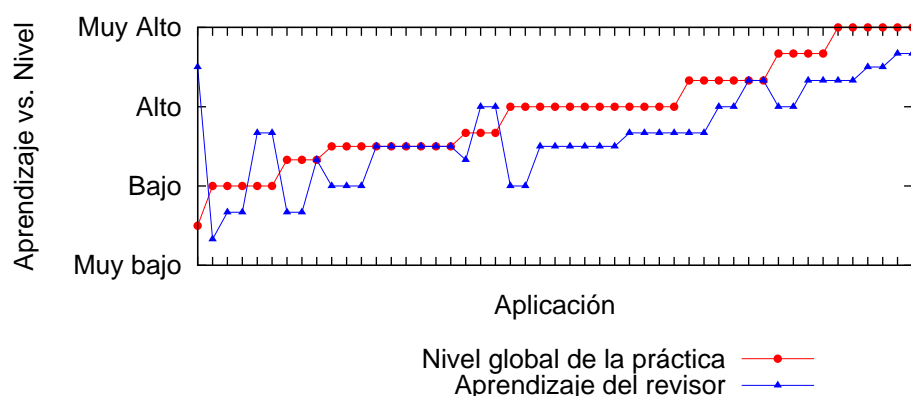


Figura 5.14: OCA 2003-2004: aprendizaje por revisión, relación entre el nivel de la práctica evaluada y el aprendizaje referido por el revisor.

5.2.9 Edición 2004-2005

La experiencia desarrollada durante el curso 2004-2005 mantiene las líneas fundamentales de actuación planteadas durante el curso anterior: desarrollo de un proyecto en grupo complementado con el análisis crítico de trabajos realizados por otros compañeros.

Se introducen, sin embargo, algunas modificaciones en aspectos metodológicos que no ofrecieron resultados acordes con los previstos inicialmente, expuestas en detalle en los siguientes apartados.

Planteamiento y desarrollo

Proyecto global:

Se plantea el desarrollo de un único proyecto global a lo largo de todo el curso, en lugar de las tres prácticas propuestas durante el curso anterior. El motivo de este cambio es facilitar a los alumnos la incorporación de los comentarios recibidos y evitar la repetición de tareas ya solventadas. El planteamiento dividido en tres prácticas se basaba en las posibilidades de reutilización del código y ofrecía la ventaja de insistir en los conceptos básicos de la asignatura.

Sin embargo, las observaciones recogidas durante la experiencia anterior no se correspondieron con las expectativas teóricas. Algunos alumnos tendían a considerar las diferentes prácticas de forma independiente, de modo que no siempre aplicaban la realimentación recibida, perdiendo ésta buena parte de su utilidad. Por otra parte, el aprendizaje asociado a insistir sobre el esqueleto básico de las distintas aplicaciones desaparecía al limitarse algunos alumnos a copiar dichas funciones básicas.

En consecuencia, se opta por organizar todo el trabajo de desarrollo en torno a un único proyecto global, que se implementa de forma incremental a lo largo del curso. En realidad, este reajuste del planteamiento se introdujo ya en el curso anterior (2003-2004), respondiendo de forma inmediata a la detección de los inconvenientes mencionados. Así, la última entrega de dicho curso, planteada inicialmente como una tercera aplicación independiente de las anteriores, se reformuló permitiendo a los alumnos continuar el desarrollo de una de las anteriores.

Temática:

En esta edición, se consolida definitivamente el desarrollo de un juego como objetivo del proyecto, debido al positivo efecto de dicha temática en la motivación de los alumnos en la experiencia previa. No obstante, la disponibilidad de una aplicación ejemplo durante el curso anterior condujo a que la mayoría de alumnos optasen por la alternativa propuesta. Esta homogeneidad reduce el interés de la experiencia tanto desde el punto de vista didáctico, puesto que la creatividad de los alumnos se ve seriamente constreñida; como el metodológico, puesto que la adaptación se basa en la diversidad; así como para los propios alumnos, puesto que puede resultarles aburrido analizar siempre la misma aplicación.

En consecuencia, la temática propuesta para el proyecto es el desarrollo de un juego, de libre elección por los alumnos. Y se fomenta la diversidad de soluciones limitando el número de grupos que pueden trabajar sobre un mismo juego, con el objetivo de que la experiencia de intercambio resulte más enriquecedora y amena. Los alumnos pueden elegir libremente el juego a desarrollar, siempre que no haya sido ya seleccionado por otros grupos. En concreto se establece un máximo de cuatro equipos para cada juego. El objetivo de esta restricción es enfrentar a los alumnos a diferentes retos, así como permitirles comprobar la generalidad de las técnicas y soluciones empleados. Contribuye también a evitar problemas de monotonía, con la consiguiente desmotivación que puede llevar asociada. En la figura 5.15 se muestra un listado de los juegos realizados, con el correspondiente histograma de equipos que seleccionaron cada uno de ellos.

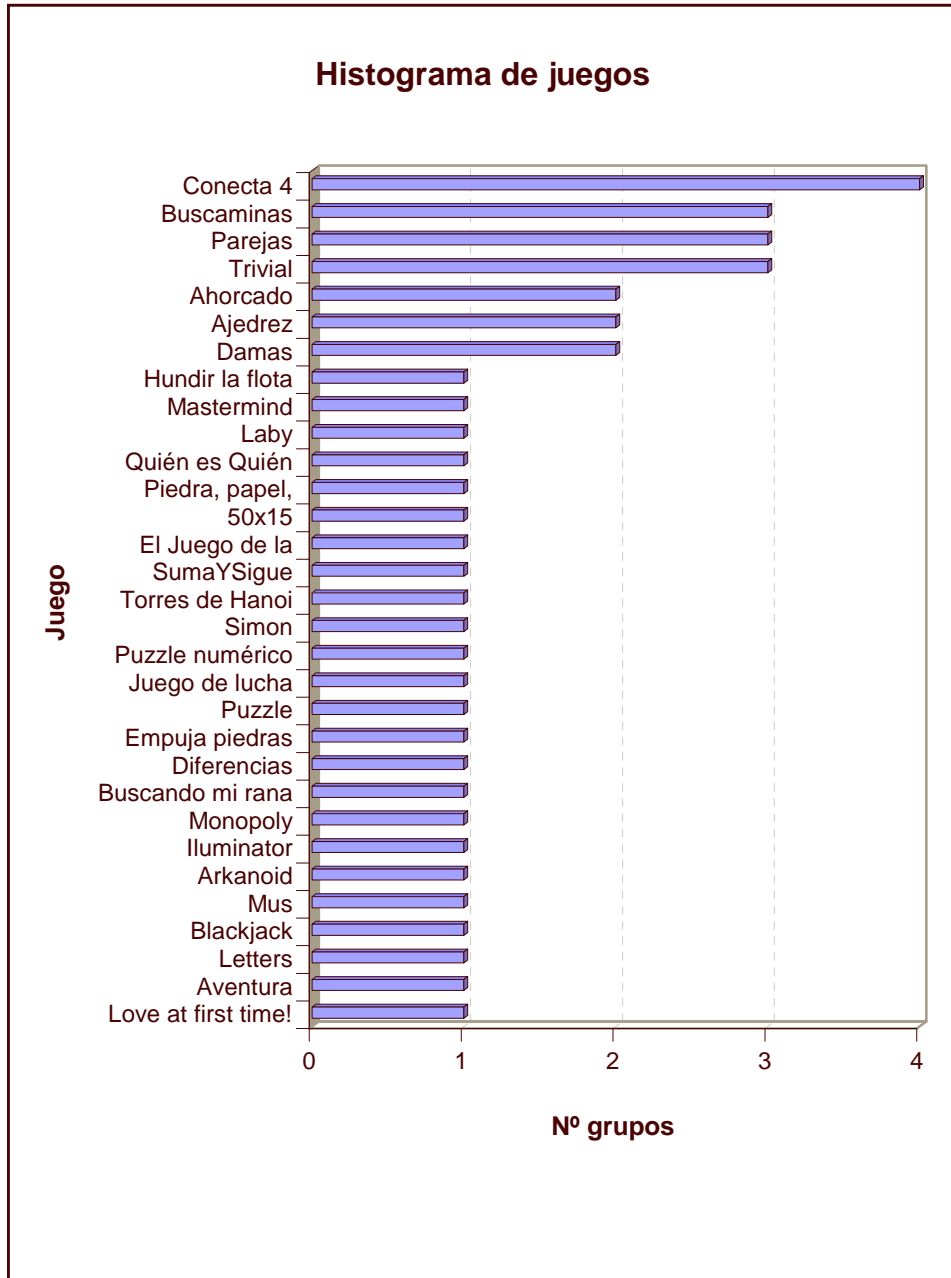


Figura 5.15: OCA 2004-2005: listado de juegos seleccionados.

Ciclo de vida incremental, con dos hitos intermedios:

Se mantiene el planteamiento de ciclo de vida incremental, al igual que en la edición anterior. Para ayudar a los alumnos en su planificación, se establecen dos hitos de entrega intermedios, en correspondencia con los principales bloques temáticos del curso. Cada uno de ellos desencadena un ciclo de entrega-revisión, de modo que los alumnos pueden evaluar soluciones alternativas y recibir realimentación sobre la suya propia con tiempo para incorporar los cambios necesarios en su proyecto para la entrega definitiva al final del curso.

Respecto a la edición anterior, se reducen el número de hitos intermedios de tres a dos. El motivo de esta reducción radica en los problemas de temporización observados en la planificación basada en tres entregas. El tercer ciclo de entrega-revisión se realizaba muy próximo al final del curso. Por ello, los alumnos dedicaban menos atención a este último ciclo, tal como se refleja en los resultados. Además, apenas disponían de tiempo para incorporar los cambios propuestos en la última fase de revisión a la entrega definitiva, máxime teniendo en cuenta la proximidad de los exámenes. La planificación con dos hitos intermedios permite un desarrollo más desahogado de las tareas y reserva suficiente tiempo para modificar el proyecto de acuerdo con la realimentación recibida en las revisiones para la entrega final.

Peso en la evaluación:

Al igual que en la edición anterior, la participación es voluntaria para evitar un impacto negativo en la motivación de los alumnos. Se mantiene también el mismo peso en la calificación final, hasta 1,5 puntos sobre 10 en la parte práctica de la asignatura; que se corresponden con 0,75 puntos (sobre 10) en la calificación global, puesto que la parte práctica tiene el mismo peso que la teórica en la calificación global de la asignatura, es decir, un 50 %.

Modelo de datos

Una de las principales, y más inesperadas, conclusiones de la experiencia durante el curso previo es la dificultad de obtener datos válidos para construir el modelo del alumno con la suficiente fiabilidad. A raíz de los resultados negativos obtenidos por el enfoque predictivo (i.e. caracterización de los alumnos y sus entregas basado en datos previos de su perfil histórico), se opta por una aproximación distinta en este caso.

El modelo de datos mantiene la estructura fundamental propuesta para la experiencia desarrollada durante el curso anterior, representando el nivel de

desempeño global del alumno en la materia, desde el punto de vista procedimental:

$$\vec{s} = (nivel_{prog}) \quad (5.5)$$

Sin embargo, para determinar este valor se utiliza la entrega más reciente del alumno, como indicador más fiable y actualizado de su estado en ese momento, tal como se justifica en la sección 3.5. Dichas entregas son evaluadas por los profesores de prácticas de la asignatura, utilizándose los resultados de esta evaluación para alimentar el modelo de los alumnos. Esto elimina el ruido relacionado con el cambio de estado y garantiza que el modelo se basa en información actualizada y precisa.

Es importante señalar que las correcciones realizadas por los profesores en las distintas fases de entrega se utilizaron únicamente para alimentar el modelo y con fines de análisis, sin transmitirse a los alumnos esta información. La intervención de los profesores es totalmente transparente para los alumnos y no afecta en modo alguno a los resultados.

Obviamente, esta aproximación no constituye una solución escalable. Sin embargo, permite disminuir el nivel de ruido en la aplicación experimental. Además, los datos obtenidos permiten evaluar otras alternativas de construcción del perfil más eficientes.

En concreto, se pretende comprobar la viabilidad del empleo de datos de auto-evaluación de los propios autores como fuentes de datos para el modelo. Por tanto, se recopilan simultáneamente datos de auto-evaluación por parte de los autores, con el objetivo de evaluar la viabilidad y fiabilidad de esta fuente de datos como alternativa a la evaluación realizada por los profesores (no escalable y extremadamente costosa).

Criterio de asignación de revisores

En cuanto al proceso de asignación de revisores, se mantienen aproximadamente los parámetros básicos del mismo. La disponibilidad de múltiples evaluaciones permite la comparativa de sus resultados y con ello la detección de posibles anomalías. En cada ciclo de desarrollo-revisión, a cada revisor se asignan dos entregas para revisar, de modo que a cada entrega le corresponden un total de cuatro evaluadores.

Varían, sin embargo, los criterios de asignación de revisores con respecto al curso anterior. En dicha edición, el criterio de asignación de revisores no pudo ser validado convenientemente, debido a los problemas derivados del modelo de datos. Además, los revisores asignados a cada entrega correspondían a di-

ferentes criterios, lo cual permitió realizar comparaciones subjetivas por parte del alumno, pero no comparaciones objetivas.

Con vistas a la evaluación de la efectividad del criterio de asignación de revisores, se establecen varios grupos en el conjunto de alumnos. En cada uno de ellos se establece un criterio de asignación de revisores distinto, con el objetivo de compararlos entre sí.

Para el primer ciclo de entrega-revisión, se establecen los siguientes tres grupos:

1. Grupo I: asignación de revisores con perfil complementario. En este grupo se aplica el criterio propuesto en la hipótesis de partida planteada en el apartado 5.2.6. A cada alumno se le asignan para revisar dos entregas cuyo nivel sea complementario al suyo propio. También se admiten, pero con menor prioridad, parejas en que tanto la entrega como el revisor tengan niveles altos. En la figura 5.16 se representa la distribución de parejas formadas en este grupo en función del nivel de la entrega y del revisor.

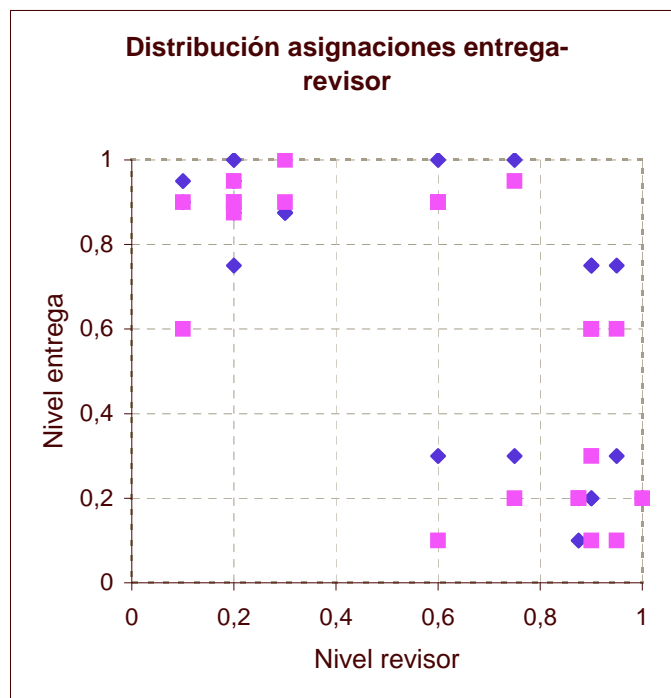


Figura 5.16: OCA 2004-2005: mapa de asignaciones (ciclo I, grupo I).

2. Grupo II: asignación de revisores con perfil similar. En este grupo, a cada alumno se asignan para revisar entregas con un nivel similar al suyo. En la figura 5.17 se representa la distribución de parejas formadas en este grupo según el nivel de la entrega y del revisor.

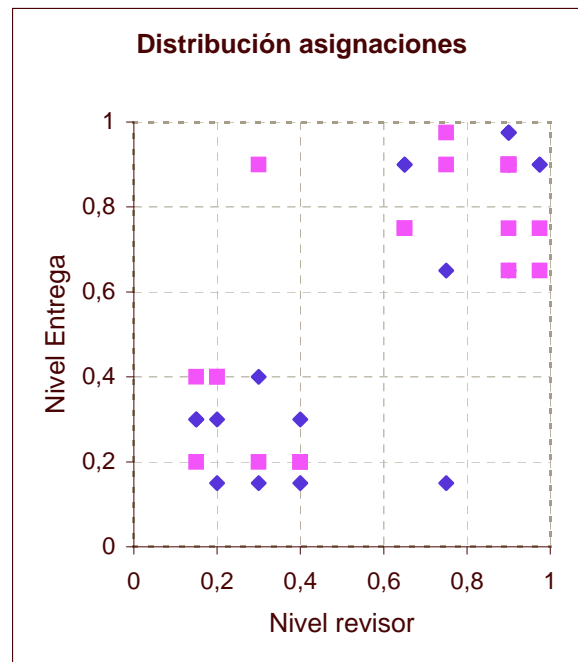


Figura 5.17: OCA 2004-2005: mapa de asignaciones (ciclo I, grupo II).

3. Grupo III: revisión de entregas heterogéneas. En este grupo, a cada alumno se le asignan para revisar dos entregas con niveles diferentes entre sí, independientemente del nivel del revisor. Este criterio permite realizar comparaciones subjetivas entre las distintas prácticas evaluadas por parte del alumno revisor. La asignación de entregas heterogéneas solventa el problema de falta de interés que pueden plantear los criterios anteriores a los alumnos que siempre reciben para revisar entregas de menor nivel, siempre que la evaluación de resultados muestre una eficacia similar.

El nivel utilizado como base para los criterios de asignación se corresponde, en todos los casos, con la calificación asignada por el profesorado a la última entrega realizada por el alumno. En los grupos I y II, a diferencia del curso previo, todos los revisores asignados a una determinada práctica obedecen al mismo criterio. Y todas las entregas evaluadas por un mismo revisor presentan

un perfil homogéneo. Así, puede realizarse una evaluación objetiva del efecto del nivel de la entrega y/o del revisor en el proceso de aprendizaje.

Criterio de asignación de revisores:

En el primer ciclo de entrega-revisión se establecen los criterios de asignación de revisores considerando dos tipos de alumnos en función de su nivel de desempeño, alto o bajo. No obstante, el análisis de las entregas efectuadas en el segundo ciclo revela que la distribución de las calificaciones de la segunda entrega no se corresponde con la partición inicial en dos niveles, como puede observarse en la figura 5.18. A estos datos objetivos se suman también resultados cualitativos procedentes de las opiniones de los alumnos. Entre éstos, destaca el caso de un alumno que se veía incapaz de evaluar adecuadamente las entregas asignadas por la excesiva diferencia de nivel que existía. Casos así, si bien aislados, son ilustrativos de potenciales problemas del criterio de asignación de revisores aplicado. Si la diferencia de nivel entre autor y revisor es excesiva, puede llegar a superar el margen de adaptación del alumno quedando fuera de su ZDP y perdiéndose el interés didáctico de la interacción. Por todo ello, para el segundo ciclo de entrega-revisión, se redefinen los criterios de asignación de revisores, estableciéndose los siguientes grupos:

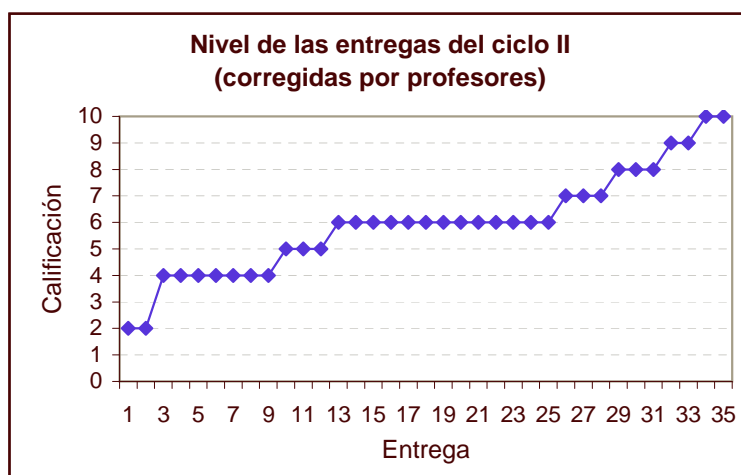


Figura 5.18: OCA 2004-2005: distribución de las calificaciones de la 2ª entrega.

1. Grupo I: asignación de revisores con perfil complementario. En este grupo se aplica un criterio similar al propuesto en la hipótesis de partida planteada en el apartado 5.2.6, pero generalizado para ajustarse a la distribución de nivel de los alumnos. A cada alumno se le asignan para

revisar dos entregas cuyo nivel presente un cierto *gap* respecto al suyo propio. Este *gap* debe ser tal que asegure una diferencia de nivel útil entre autor y revisor, pero no excesiva para evitar problemas como el comentado previamente, por lo que se establece en 5 puntos, la mitad del margen de variación en la escala de calificaciones sobre 10.

2. Grupo II: revisión de entregas heterogéneas. En este grupo, a cada alumno se le asignan para revisar dos entregas con niveles diferentes entre sí, independientemente del nivel del revisor. Este criterio es idéntico al aplicado en el grupo III durante el primer ciclo, puesto que no se ve afectado por el cambio en la distribución de los perfiles.

En esta edición, se amplían los criterios de asignación de revisores incluyendo reglas basadas en una *relación* entre agentes involucrados en el proceso en lugar de perfiles concretos. Por ejemplo, uno de los criterios de asignación está basado en la diferencia entre el nivel de las entregas asignadas a un mismo evaluador, en vez de especificar niveles concretos para las mismas. Otro de los criterios de asignación, el aplicado en el grupo I del segundo ciclo, está basado en la diferencia de nivel existente entre autor y revisor. Este tipo de criterios conduce a una ampliación del modelo básico postulado inicialmente, para incluir en el perfil variables derivadas, tal como se explica en el apartado 3.6.5.

Resultados

Participación:

El grado de participación resulta similar al obtenido durante el curso anterior. En la tabla 5.11 se desglosa el número de alumnos que entregaron la aplicación y las revisiones asignadas para cada uno de los ciclos. Esa misma información se representa gráficamente en la figura 5.19, comparada con el número de alumnos matriculados en la asignatura y el número de alumnos que se presentaron a examen.

Nº práctica	Aplicación (% sobre presentados)	Revisión (% sobre presentados)
Ciclo 1	87 (100%)	75 (86,2%)
Ciclo 2	68 (78,2%)	52 (59,8%)

Tabla 5.11: OCA 2004-2005: participación.

Modelo del alumno:

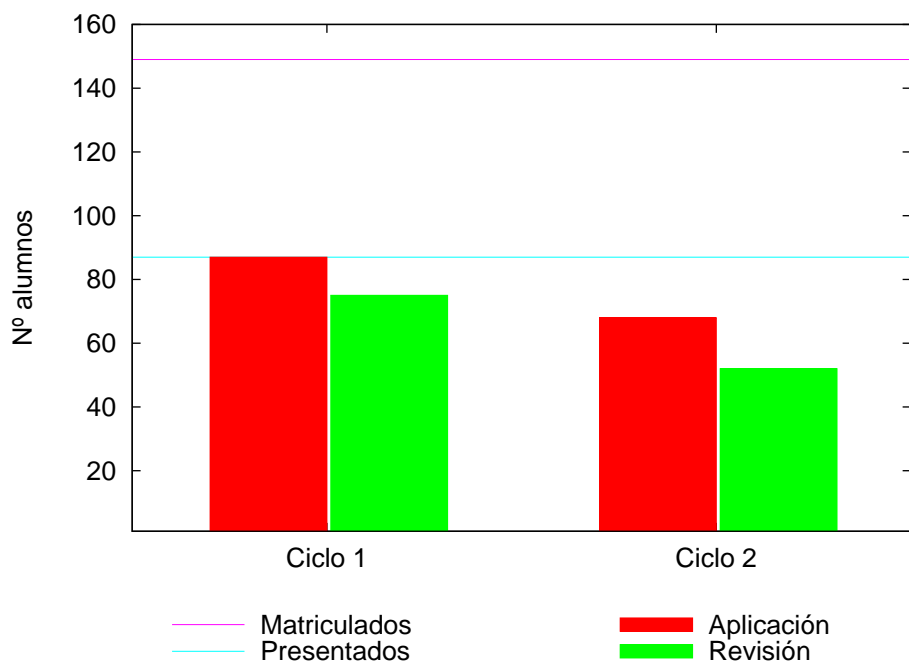


Figura 5.19: OCA 2004-2005: participación.

Desde el punto de vista metodológico, uno de los principales objetivos de la experiencia es definir y evaluar mecanismos de captura de información sostenibles y fiables, orientados al mantenimiento de datos actualizados para el perfil de los alumnos en que se basa la adaptación del proceso.

El desarrollo de la experiencia confirma las dificultades asociadas a la evaluación de las entregas por parte del profesorado. Si bien puede asumirse que ofrece una fiabilidad máxima, puede introducir un retardo significativo en el proceso. El coste asociado dificulta su aplicación en entornos reales, máxime conforme aumenta el número de alumnos. En definitiva, los problemas de escalabilidad y coste que plantea esta alternativa pueden conducir incluso a su inviabilidad en la práctica. Es necesario disponer de un sistema de alimentación del modelo que garantice la fiabilidad necesaria, manteniendo un coste asumible y escalable.

Los resultados experimentales confirman la validez de la aproximación basada en auto-evaluación de las entregas por parte de los autores, puesto que existe una correlación significativa entre los datos de auto-evaluación y las puntuaciones asignadas por los profesores: $\rho = 0,71$ para una población de 43 entregas. Este nivel de correlación supone un error asumible, puesto que es ha-

bitual un cierto margen de discrepancia entre evaluadores, incluso siendo todos ellos profesores, como ponen de manifiesto diversos estudios comparativos. .

En definitiva, se trata de una solución válida, tanto por su fiabilidad como por el coste asociado a la misma, y su escalabilidad, puesto que dicho coste se mantiene constante con el número de alumnos.

Expresividad del modelo de especificación de criterios de asignación:

Respecto a la expresividad del modelo, los diferentes criterios de asignación de revisores aplicados tanto durante la edición anterior como en los distintos sub-grupos resultantes de la partición del conjunto de entregas en esta edición, permiten confirmarla. Los criterios aplicados a lo largo de las dos ediciones responden a reglas de diferente naturaleza, lo cual resulta sintomático de la potencia expresiva del modelo, incluyendo:

- Criterios absolutos, en los que se especifica un perfil determinado para autores y revisores. Por ejemplo, cualquiera de los aplicados durante la edición anterior.
- Criterios relativos, basados en una relación entre agentes participantes en el proceso. Por ejemplo, en el grupo III se asocian a cada revisor dos entregas con niveles *distintos entre sí*.

Evaluación del sistema de asignación de revisores:

La variedad de criterios aplicados permite también evaluar el correcto funcionamiento del sistema de asignación de revisores.

Las figuras 5.16 y 5.17 muestran una distribución de asignaciones acorde con los criterios definidos para los respectivos grupos. Sin embargo, la superposición de puntos en las figuras anteriores puede distorsionar la visualización de la distribución de asignaciones. Los histogramas de las parejas asignadas pueden ofrecer una visión más exacta de la distribución real. La figura 5.20 muestra los histogramas de las asignaciones realizadas en el grupo II, en función de la diferencia de nivel entre el revisor y la entrega. Como puede observarse, sólo una fracción mínima de las parejas formadas presentan una diferencia de nivel significativa entre ambos. Lo cual corresponde con el criterio aplicado, que fomenta la formación de parejas con nivel similar.

Por otra parte, la figura 5.21 muestra el histograma de las asignaciones según la diferencia de nivel entre las entregas asignadas a un mismo revisor en el grupo I. Como puede observarse, la mayoría de los revisores evalúan entregas muy homogéneas entre sí, tal como se espera de acuerdo al criterio aplicado.

Efecto de la adaptación en el proceso:

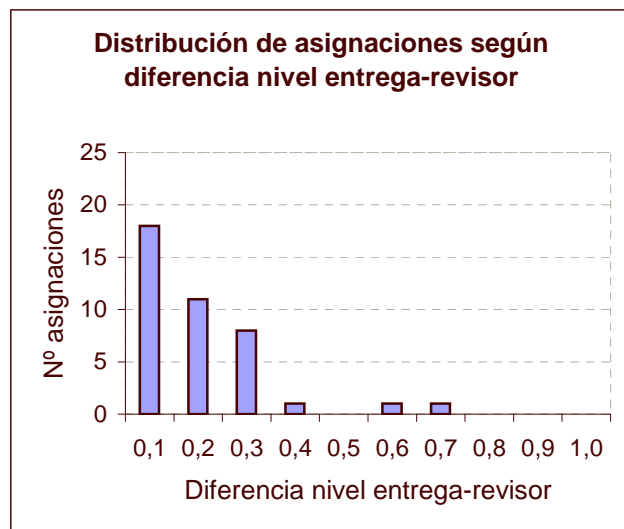


Figura 5.20: OCA 2004-2005: distribución de asignaciones según la diferencia de nivel entre revisor y entrega (ciclo I, grupo II).

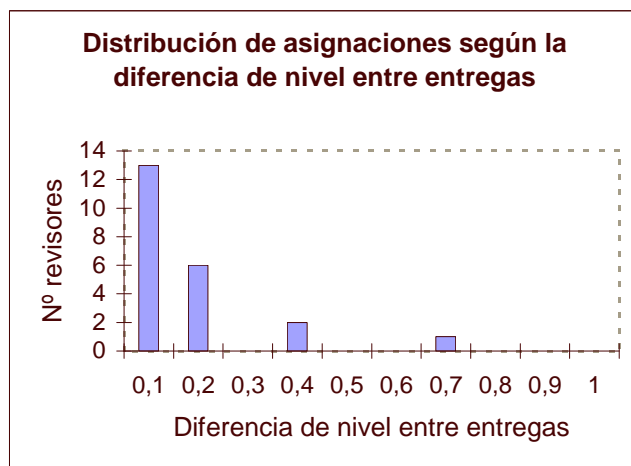


Figura 5.21: OCA 2004-2005: distribución de asignaciones según la diferencia de nivel entre las entregas asignadas a un mismo revisor (ciclo I, grupo I).

Respecto a la influencia sobre el aprendizaje subjetivo percibido por los revisores, los resultados obtenidos son similares a los de la edición anterior. Así, existe una correlación significativa $\rho = 0,69$ entre la diferencia de complejidad entre las prácticas evaluadas y la correspondiente diferencia de aprendizaje mediante su revisión, según la valoración subjetiva del revisor. Para evaluar este efecto subjetivo se utilizan los datos procedentes del grupo III, en que cada alumno revisa dos entregas diferenciadas entre sí, de modo que puede realizar comparaciones entre ambas.

Por último, otro objetivo fundamental de la experiencia es la evaluación objetiva del efecto de la adaptación en el proceso. Con este fin, se analiza el impacto de las revisiones en las entregas realizadas, concretamente en su calificación. Las calificaciones utilizadas para estudiar este efecto proceden de las evaluaciones de los profesores.

En la figura 5.22 se representa la evolución del nivel medio de las entregas para cada uno de los grupos, es decir, para cada uno de los criterios.

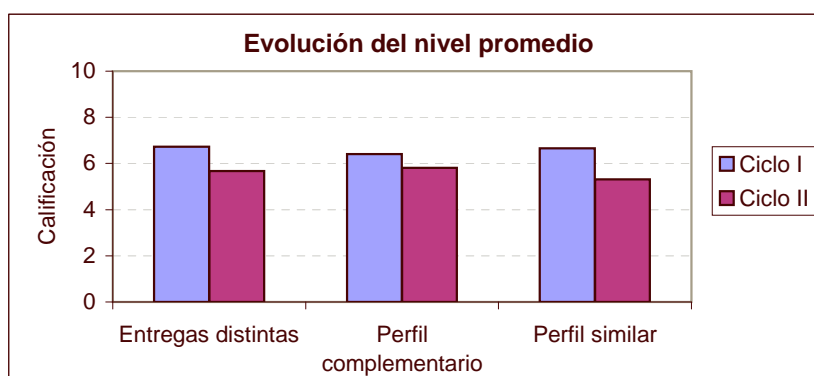


Figura 5.22: OCA 2004-2005: evolución del nivel medio de las entregas en función del criterio de asignación de revisores.

Resulta llamativo que el nivel medio disminuya en lugar de mejorar. Sin embargo, este aparente empeoramiento es en realidad ficticio. La aparente disminución se debe al aumento en la exigencia de los criterios de corrección. Al tratarse de un desarrollo incremental, en la primera entrega no se evalúan aspectos que sí se tienen en cuenta en la segunda. En realidad, las entregas son más completas y presentan una mejoría, pese a que las calificaciones falseen las medidas.

La distorsión introducida por la variación en el criterio de calificación puede contrarrestarse relativizando las medidas respecto a la media global del con-

junto completo (incluyendo todas las entregas independientemente del mapa aplicado). En la figura 5.23 se detalla el cambio experimentado por el nivel medio de cada grupo, considerado de forma relativa a la media global de todas las entregas.

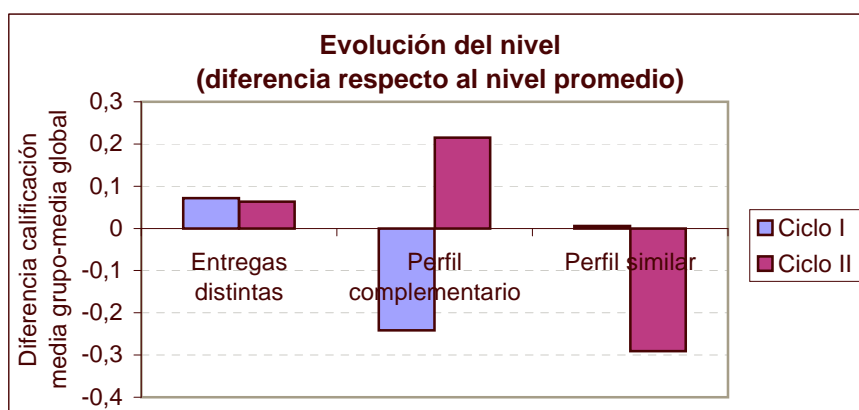


Figura 5.23: OCA 2004-2005: evolución de la diferencia del nivel medio de las entregas respecto a la media global según el criterio de asignación de revisores.

Como puede observarse, el grupo en el que el criterio de asignación de revisores fomenta la asociación de alumnos con perfiles complementarios experimenta la mejor evolución, pasando de estar por debajo de la media a situarse por encima. Por el contrario, el grupo en que el criterio de asignación asocia revisores con perfil similar a la entrega sufre la peor evolución, pasando de estar ligeramente por encima de la media global a estar por debajo de la misma. La diferencia en la evolución de ambos grupos es aproximadamente de un 7,5%. El primer grupo, en que cada revisor evaluaba dos entregas de nivel distinto entre sí, se mantiene en una situación similar.

Aparte de la evolución del nivel promedio, resulta interesante analizar la evolución de la desviación estándar poblacional. Si bien todos los grupos experimentan una reducción de la misma, ésta es considerablemente superior para el grupo con revisores complementarios, tal como puede verse en la figura 5.24.

Grosso modo, estos resultados indican que se produce una homogeneización en los resultados de los alumnos. En el caso del criterio adaptativo basado en las consideraciones pedagógicas discutidas en apartados anteriores, esta igualación se debe a la mejora de los alumnos de menor nivel. Por tanto, se trata de un efecto positivo, puesto que no se trata de igualar *a la baja*, como se expresaría coloquialmente, sino *al alza*.

La agregación de los datos en valores promedios supone una pérdida im-

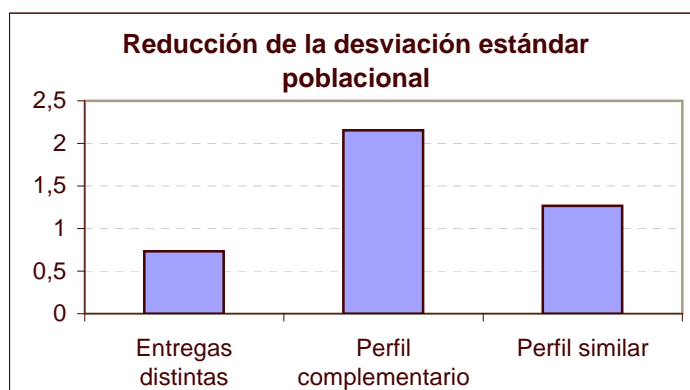


Figura 5.24: OCA 2004-2005: evolución del nivel medio de las entregas en función del criterio de asignación de revisores.

portante de información. En las siguientes gráficas se analiza el efecto de la adaptación de forma más detallada. Los siguientes resultados corresponden a los datos de los grupos I y II, en los que las asociaciones son homogéneas. Se excluyen los datos del grupo III puesto que en dicho grupo cada alumno revisaba entregas de distintos perfiles, con lo que no puede distinguirse el efecto de unas u otras.

La tabla 5.12 resume el efecto de la revisión sobre los evaluadores. Los datos corresponden al incremento medio del nivel de las entregas realizadas por los revisores, en función del nivel de la entrega evaluada y del nivel inicial del propio revisor.

Incremento medio del nivel de entrega del revisor

Nivel entrega revisada	Nivel inicial revisor	
	0 - 5	5 - 10
0 - 5	1	-2,46
5 - 10	2,56	-2,44

Tabla 5.12: OCA 2004-2005: efecto en los revisores.

Al igual que para los niveles medios recogidos en la figura 5.22, los proyectos que inicialmente recibieron una puntuación elevada ven reducida su calificación en la siguiente entrega debido a la mayor exigencia en los criterios de corrección, que dificulta alcanzar la máxima calificación. Se observa que los revisores con nivel inicial alto no acusan la influencia del nivel de las entregas evaluadas. La variación en el nivel de la entrega de estos alumnos es independiente del nivel de la entrega evaluada en el ciclo anterior. Este resultado concuerda con la

hipótesis de que los alumnos con un nivel de desempeño adecuado-alto no se ven perjudicados al serles asignados proyectos de nivel deficiente para evaluar.

Sin embargo, sí se observa una diferencia significativa en la evolución del proyecto desarrollado, en función del nivel de la entrega evaluada, cuando el nivel inicial del revisor es deficiente. En estos casos, la mejora es sensiblemente superior cuando el alumno evalúa una práctica de nivel alto, tal como se detalla en la figura 5.25.

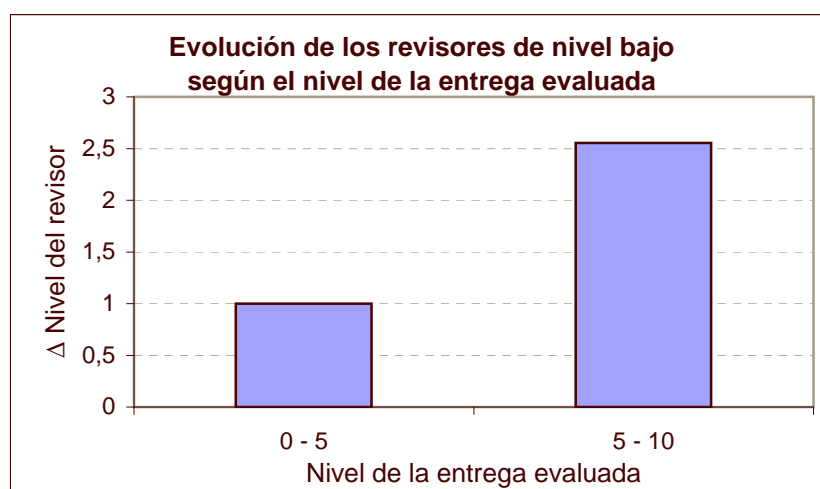


Figura 5.25: OCA 2004-2005: efecto de las revisiones sobre los revisores con perfil de desempeño bajo, en función del nivel de la entrega evaluada.

Por otra parte, la tabla 5.13 resume el efecto de la revisión sobre los autores. Los datos corresponden al incremento medio de nivel de las entregas en función del nivel de los revisores que realizan la evaluación y de los propios autores.

Es interesante observar que el efecto de las revisiones en la evolución de los autores es significativo, comparable al efecto en la evolución de los revisores. Este resultado contrasta con los resultados sobre la percepción subjetiva de aprendizaje referida por los alumnos, que reducía el efecto de la realimentación recibida (cfr. apartado 5.2.8). En realidad, los datos integran ambos efectos de aprendizaje (aprendizaje por realimentación recibida y aprendizaje por observación), de modo que no es posible distinguir qué actividad es la causante de la variación o de qué parte de la variación.

Estos resultados son equivalentes a los derivados de la evolución de los revisores. Entre los alumnos de menor nivel, aquéllos que reciben realimentación de revisores con un perfil de desempeño alto presentan una evolución signifi-

Incremento medio del nivel de entrega del autor

Nivel inicial autor	Nivel del revisor	
	0 - 5	5 - 10
0 - 5	0,94	2,6
5 - 10	-2,4	-2,5

Tabla 5.13: OCA 2004-2005: efecto en los autores.

cativamente mejor que aquéllos cuyas entregas son revisadas por alumnos de nivel bajo como ellos, tal como se observa en la figura 5.26. Por otra parte, los autores de nivel alto presentan una evolución similar independientemente del nivel del revisor asignado.

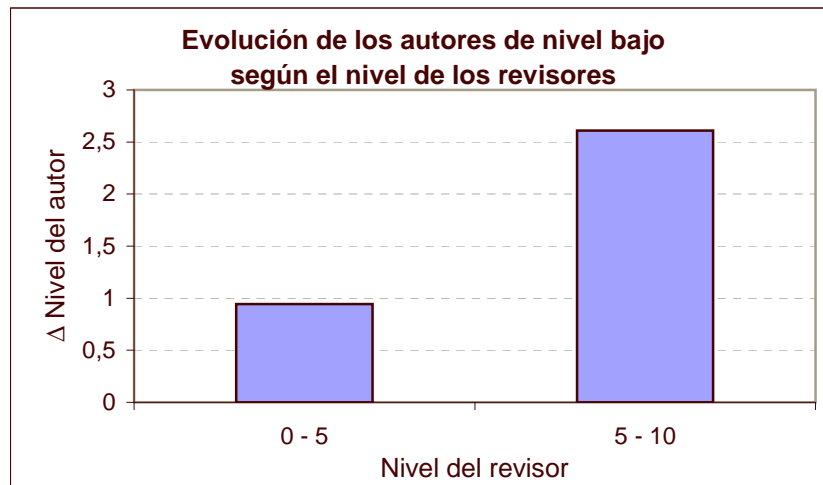


Figura 5.26: OCA 2004-2005: efecto de las revisiones sobre los autores con perfil de desempeño bajo, en función del nivel del revisor.

Los resultados, tanto los relativos a la evolución de los autores como los relativos a la evolución de los revisores, concuerdan con las expectativas iniciales y confirman las hipótesis teóricas. Los autores responsables de entregas de menor nivel se ven sustancialmente beneficiados al serles asignados revisores de nivel alto. Viceversa, la evolución de los alumnos de menor nivel que actúan como revisores, se ve influenciada por el nivel de la entrega asignada para evaluar. Por otra parte, los autores de entregas de nivel alto no se ven perjudicados al serles asignados revisores de nivel bajo. Así, su evolución es estadísticamente idéntica a los que fueron evaluados por alumnos de nivel alto. Análogamente, los revisores de nivel alto tampoco se ven confundidos por evaluar entregas de nivel bajo, siendo su evolución también estadísticamente idéntica a los que

evalúan entregas de nivel alto. En consecuencia, los resultados experimentales confirman la adecuación del criterio de asignación de revisores propuesto, basado en la complementariedad de los perfiles de autores y revisores.

5.2.10 Problemas encontrados

El despliegue de la metodología conllevó una serie de problemas, algunos típicos de trabajar en un entorno educativo real y otros específicos del contexto descrito. A continuación se enumeran los más significativos desde el punto de vista pedagógico:

- *Abandono.* Uno de los principales problemas de la aplicación de la revisión entre iguales en entornos educativos es el causado por los alumnos que abandonan sin realizar las revisiones que les son asignadas. Existen diferentes estrategias para combatir este problema, típicamente la asignación dinámica de revisores bajo demanda (no se solicita una revisión para realizar si no va a completarse). En este caso dicha estrategia no es aplicable, puesto que el proceso de asignación se realiza a priori para implementar la adaptación. Se utilizó en cambio un mecanismo basado en penalización: los alumnos no recibían ningún crédito por la actividad si no completaban el ciclo de revisión. Es decir, la participación era voluntaria, pero los alumnos que entregaban la aplicación debían obligatoriamente cumplimentar las revisiones asignadas para recibir la nota correspondiente. Pese a las advertencias de penalización, un porcentaje muy reducido de alumnos no revisó las prácticas que les fueron asignadas. Pero sí se consiguió garantizar que no quedara ninguna aplicación sin evaluar, puesto que a cada una de ellas le correspondían varios revisores.
- *Homogeneidad de las calificaciones.* Otro problema típico de la metodología es la uniformidad de las calificaciones asignadas por los alumnos. Los estudiantes tienden a puntuar a sus compañeros uniformemente y a sobre-puntuar. Este problema no se detectó en el primer proyecto, en que los alumnos fueron advertidos de que los profesores revisarían las evaluaciones. Pero sí apareció en el último proyecto, en que los alumnos dedicaron menos tiempo a la evaluación. En general, se observa que los alumnos son reacios a conceder las máximas calificaciones y, más aún, a suspender a sus compañeros.
- *Diversidad de criterios.* La diversidad de los criterios de evaluación aplicados por los alumnos es otro problema para la fiabilidad de las calificaciones asignadas. Tal como se ha comentado previamente, los alumnos

fueron más exigentes en el primer ciclo que en el último. Algunos alumnos resultaron más exigentes incluso que el profesorado: por ejemplo, una alumna no concedió la máxima nota a otro alumno pese a que había entregado un juego extra además del “Tres en raya” sugerido. En el otro extremo, otros alumnos no aplicaron los requisitos mínimos exigidos: por ejemplo, en el último proyecto, un revisor entregó una evaluación contradictoria, puesto que asignaba un aprobado global a la aplicación pese a no cubrir los requisitos mínimos tal como indicaba él mismo en la evaluación detallada.

- *Expresión escrita.* Los alumnos emplearon un estilo muy coloquial, incluso con expresiones propias de mensajes SMS y sin prestar atención a la ortografía, probablemente influidos por el canal de comunicación (un formulario web) y la audiencia destinataria del mensaje (sus propios compañeros). En consecuencia, el proceso de revisión no contribuyó tanto como estaba previsto a la mejora de la expresión escrita de los estudiantes.
- *Anonimato.* En grupos pequeños y con alta interacción como era el caso, garantizar el anonimato es una cuestión compleja, puesto que se ha comprobado que los alumnos a menudo reconocen las aplicaciones de sus compañeros, en especial las más llamativas. El problema no es tan acusado cuando el objeto de evaluación son memorias escritas. Por el contrario, los alumnos suelen mostrar a sus compañeros las aplicaciones que desarrollan, en particular cuando realizan algún avance significativo. Además, las interfaces gráficas de usuario resultan más fáciles de reconocer, debido a la participación de la memoria visual.

Desde el punto de vista metodológico, también surgieron dificultades, principalmente:

- La gestión del proceso conlleva una carga no despreciable para el proceso. Resulta conveniente disponer de un sistema de gestión que automatice este tipo de tareas, liberando al profesorado de su realización. Entre estas tareas destacamos el proceso de registro de los grupos. En ambos cursos debían cumplir como requisito tener un determinado número de componentes, concretamente dos. Sin embargo, la casuística real en el aula es muy compleja y habitualmente se forman grupos que no respetan estrictamente estos requisitos, como ocurrió en este caso. Durante la edición 2004-2005 se introduce el requisito adicional de diversidad temática en los proyectos realizados por los alumnos. La gestión manual de este

requisito por parte del profesorado demostró ser una tarea rutinaria y que consume cierto tiempo. Peor aún, los alumnos debían confirmar la temática seleccionada con el profesor, con lo cual la respuesta no era instantánea.

- Durante la edición 2004-2005, la actualización del modelo del alumno requería la corrección de las entregas por parte del profesorado. Esta tarea supuso una carga importante de trabajo. Más crítico aún era el reducido plazo de tiempo disponible para realizarla, puesto que debía resultar transparente para los alumnos y no afectar a la planificación temporal del proceso.

Para facilitar la gestión y el cumplimiento de los requisitos establecidos, se implantó un sistema de inscripción vía web. Mediante dicho sistema los alumnos pueden seleccionar el juego, bien agregando uno aún no solicitado o bien escogiendo entre los disponibles, y comunicar la composición del equipo.

Con respecto a la carga asociada a la corrección de las entregas por parte del profesorado, se trata de un problema puntual de la experiencia, puesto que la metodología no requiere en general dicha corrección. Como parte de los resultados empíricos de esta tesis se proponen instrumentos alternativos para la alimentación del modelo del alumno que evitan este problema.

5.2.11 Resultados comparativos

A lo largo de tres años, el planteamiento de la asignatura se ha mantenido prácticamente constante. La organización de las clases ha sido similar en todos los cursos, así como el temario, que únicamente experimentó variaciones significativas durante el curso 2005-2006. Dicha variación consistió en una ligera reducción, eliminándose aspectos que se solapaban con otras asignaturas para poder insistir más en los temas más específicamente relacionados con la parte práctica (lo cual debería redundar en una mejora de los resultados y no el empeoramiento que se observa en los datos experimentales). Concretamente, en los tres cursos se ha propuesto la entrega de prácticas voluntarias y con idéntico peso.

La principal diferencia metodológica entre los tres cursos consiste en la aplicación de la revisión entre iguales en el proceso de desarrollo. Tal como se ha visto en el apartado 5.2.8, durante el curso 2003-2004 se introdujo la metodología de evaluación entre iguales; sin embargo, puede considerarse que la asignación de revisores fue aleatoria, puesto que el modelo en que se basó no

se correspondía con el estado real de los alumnos. Durante el curso 2004-2005, se aplicó revisión entre iguales adaptativa, tal como se explica en el apartado 5.2.9. Finalmente, durante el curso 2005-2006 no se aplicó revisión entre iguales, lo que permite utilizar (con la debida prudencia) los resultados de este curso como grupo de control.

En consecuencia, y aunque es obvio que numerosos factores adicionales pueden influir en los resultados, estos datos permiten estudiar el efecto de la metodología.

En la figura 5.27 se muestra la evolución de la nota media de los proyectos entregados a lo largo de los tres cursos. La figura 5.28 muestra los histogramas correspondientes a dichos cursos de las calificaciones de los proyectos realizados por los alumnos. La figura 5.29 representa los mismos datos, pero utilizando intervalos de división más reducidos para la generación del histograma.

Como puede observarse, la introducción de mecanismos de revisión entre iguales mejora tanto la calificación media del proyecto como la distribución de calificaciones respecto al escenario en que no se realizaban revisiones de compañeros. Asimismo, puede observarse una mejora sustancial, de nuevo tanto en la nota media como en la distribución, al incorporar mecanismos de adaptación en el proceso de asignación de revisores.

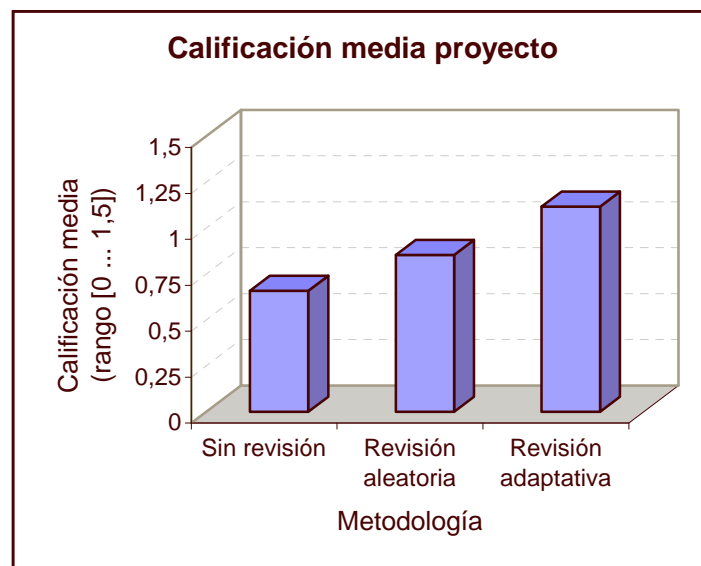


Figura 5.27: OCA: comparativa de la calificación media.

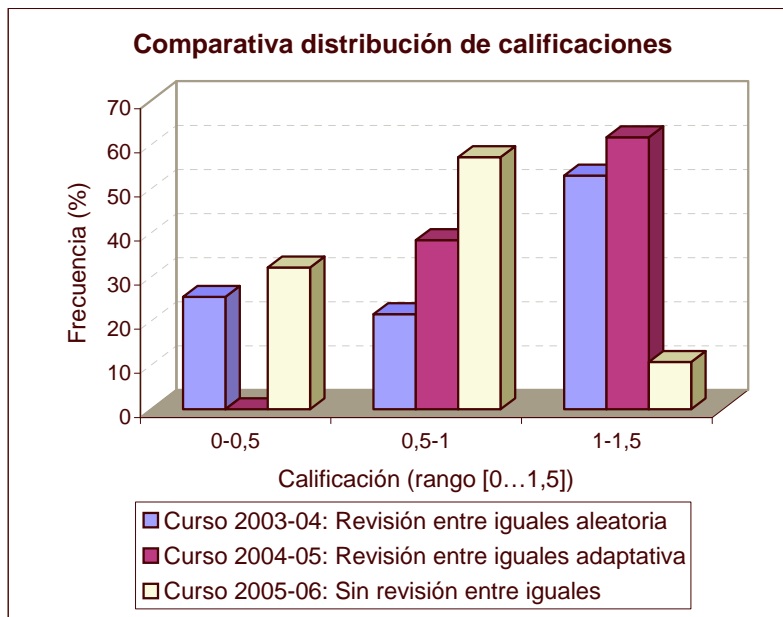


Figura 5.28: OCA: comparativa de la distribución de calificaciones de prácticas.

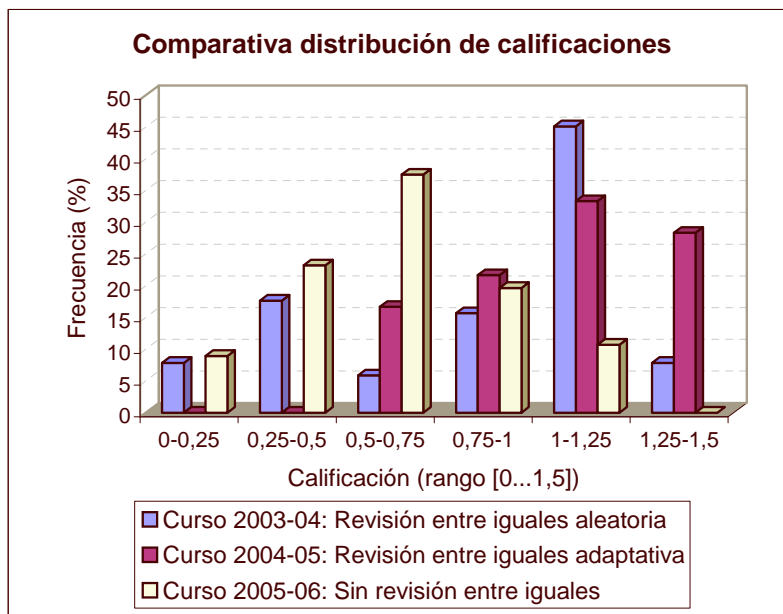


Figura 5.29: OCA: comparativa de la distribución de calificaciones de prácticas (detalle).

5.2.12 Conclusiones

Como conclusiones de la experiencia, destaca, en primer lugar, la positiva respuesta de los alumnos. El grado de participación ha sido mayor de lo previsto, teniendo en cuenta su carácter voluntario. La iniciativa ha sido muy bien acogida por los alumnos y se han recibido valoraciones muy positivas.

La experiencia confirma carencias de los alumnos detectadas en otros cursos. Se han puesto de manifiesto dificultades de los alumnos con habilidades técnicas importantes, como la prueba de programas o resolución de errores. Por ejemplo, algunos revisores no conseguían visualizar el applet pedido simplemente porque el código no estaba compilado, tal como se pedía en el enunciado. Y, fundamentalmente, dificultades con habilidades no técnicas imprescindibles: la expresión escrita es en muchos casos muy deficiente, afectando incluso a la comprensión del texto. Un ejemplo particularmente ilustrativo de este problema es el caso de un grupo al cual tuvo que explicar el profesor (más acostumbrado por lo que parece a descifrar las expresiones de los alumnos que ellos mismos) la revisión enviada por otro alumno.

Respecto a los objetivos experimentales, se extraen las conclusiones que se exponen a continuación.

Los resultados de la primera edición de la experiencia, durante el curso 2003-2004, conducen a reformular el modelo del alumno o, más exactamente, los mecanismos de captura de información que permiten construir el modelo. El modelo basado en la inducción del nivel a partir de indicadores previos no ha cumplido, en este caso de estudio, los requisitos de validez mínimos, de modo que deben buscarse mecanismos de captura de información alternativos. Los resultados de la segunda edición confirman la validez del modelo construido a partir de datos de auto-evaluación procedentes de los propios autores. De acuerdo con los resultados, esta alternativa ofrece una solución fiable y escalable.

La experiencia desarrollada ha permitido refinar la metodología y evaluar el correcto funcionamiento del sistema de asignación de revisores desarrollado. Como consecuencia de los resultados obtenidos, se ha ampliado el modelo de especificación de criterios de asignación para dar cobertura a situaciones en que las características a considerar representan una relación entre actores del proceso en lugar del estado concreto de los mismos. La variedad de criterios de asignación de revisores aplicados confirma la potencia expresiva del modelo desarrollado, así como su usabilidad.

En cuanto a los resultados de aprendizaje, el análisis de los datos empíricos recopilados muestra una correlación significativa entre el nivel del proyecto

evaluado y el aprendizaje subjetivo referido por el revisor. Esta influencia se corresponde con las hipótesis teóricas postuladas como base de esta tesis. También los resultados objetivos del proceso, tanto los relativos a la evolución de los autores como los relativos a la evolución de los revisores, concuerdan con las expectativas iniciales y confirman las hipótesis teóricas.

Analizando los datos obtenidos, se observa cómo las entregas con menor nivel mejoran más en la siguiente iteración del proceso al serles asignadas revisores con un nivel alto que cuando se les asignan revisores con nivel deficiente. Y, análogamente, también los revisores con menor dominio de la materia que revisan entregas de autores con un nivel mayor al suyo, ven cómo la calificación de su siguiente entrega aumenta de forma significativa en comparación con los que evalúan entregas de similar nivel bajo. En cambio, esta influencia se reduce considerablemente para los alumnos, ya sean autores o revisores, que dominan la materia. La evolución de las entregas de estos alumnos es similar independientemente del nivel de la entrega o revisor con que se les asocie en el proceso de asignación de revisores, lo cual constituye una garantía de que no se ven perjudicados por la adaptación.

Esta tendencia confirma que los resultados del proceso, en cuanto a aprendizaje al menos, se ven influidos por el proceso de asignación de revisores, lo que justifica la conveniencia de adaptar el proceso en función del perfil del alumno.

En definitiva, los resultados experimentales confirman, la influencia del nivel de los alumnos y del criterio de asignación de revisores en los resultados del proceso, así como la adecuación del criterio de asignación de revisores propuesto, basado en la complementariedad de los perfiles de autores y revisores.

Capítulo 6

Conclusiones

It would appear that we have reached the limits of what it is possible to achieve with computer technology, although one should be careful with such statements, as they tend to sound pretty silly in 5 years.

John Von Neumann

El presente capítulo concluye esta tesis doctoral. En primer lugar, se resumen, a grandes rasgos, las ideas planteadas y las conclusiones derivadas de la misma. Posteriormente, se exponen las principales contribuciones realizadas. A continuación, se revisan los escenarios descritos en el apartado 1.2, contrastando las aportaciones de esta tesis a la problemática planteada en los mismos. Finalmente, se proponen posibles líneas futuras de investigación planteables a partir de los resultados obtenidos en esta tesis.

6.1 Conclusiones

En las últimas décadas, la actividad educativa se está viendo sometida a profundos cambios, reflejo de la transformación experimentada por la sociedad, de la evolución de las teorías pedagógicas en que se sustenta y de la introducción de nuevas tecnologías que brindan soporte al proceso educativo.

Actualmente, como consecuencia del desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, vivimos en un mundo globalizado, donde

no existen prácticamente fronteras ni distancias, y en el cual la información y el conocimiento se han convertido en un valor en alza y una necesidad (y un derecho) básica. Esta evolución social conlleva nuevos retos educativos derivados principalmente de la necesidad de formación continua y de la diversidad del alumnado.

Paralelamente, la pedagogía ha experimentado una notable evolución, surgiendo nuevas teorías y concepciones del aprendizaje que enfatizan el rol activo del alumno como centro de su propio desarrollo formativo; la interacción entre los estudiantes y el aprendizaje colaborativo; y la adaptación al alumno como mecanismo clave para mejorar la efectividad del proceso de aprendizaje. Dentro de esta tendencia se enmarca el auge experimentado por mecanismos de evaluación alternativos a los tradicionales, como la revisión entre iguales, metodología en la que se centra esta tesis.

De forma similar a otras actividades, la enseñanza no escapa a la inmersión tecnológica. La incorporación de la tecnología en este sector abarca todos los aspectos del proceso educativo. Proporciona herramientas que facilitan desde la gestión administrativa a la evaluación, pasando por el acceso a recursos formativos o la interacción entre los distintos actores del proceso. Y genera nuevos escenarios de aprendizaje que eliminan las barreras espacio-temporales asociadas a la enseñanza presencial tradicional. La irrupción de la tecnología en el ámbito educativo no sólo abre nuevas vías de aprendizaje sino que también proporciona herramientas que permiten plantear soluciones a retos pedagógicos pendientes. En esta línea, en la presente tesis se ha propuesto una metodología adaptativa para la revisión entre iguales con propósitos formativos.

A raíz del estudio de los modelos pedagógicos, se plantea la influencia del perfil cognitivo del alumno en los resultados del proceso de revisión entre iguales y la consecuente conveniencia de adaptar dicho proceso en función de las características de los estudiantes. Se ha identificado el proceso de asignación de revisores como el mecanismo de actuación característico de la metodología en el que integrar la adaptación al alumno. Se ha propuesto un modelo genérico, flexible, expresivo e intuitivo, para especificar los criterios de asignación de revisores. Se ha desarrollado un sistema de asignación de revisores que, mediante el modelo anterior, permite introducir en dicho proceso de selección criterios pedagógicos y de adaptación adicionales a los requisitos intrínsecos de validez del proceso. Finalmente, se ha aplicado la metodología propuesta en entornos educativos reales. Su uso en dos asignaturas de muy diferente naturaleza ha permitido contrastar y refinar las ideas teóricas desarrolladas, y evaluar la validez, generalidad y usabilidad tanto del modelo teórico propuesto como del sistema implementado para facilitar su adopción.

6.2 Contribuciones de esta tesis

En esta tesis se han realizado varias contribuciones en el ámbito de la metodología de revisión entre iguales y la adaptación al alumno del proceso de aprendizaje. A continuación se enumeran las principales:

1. Estudio del estado del arte y trabajos relacionados más relevantes en el ámbito de la revisión entre iguales.
2. Análisis de las posibilidades de adaptación al alumno del proceso de revisión entre iguales.
3. Evaluación de la influencia de factores asociados con el desempeño del alumno como base para la adaptación.
4. Propuesta de un modelo de especificación de criterios de asignación de revisores intuitivo, flexible y expresivo.
5. Desarrollo de un algoritmo de asignación de revisores que realice de forma eficiente dicha asignación de forma automática y de acuerdo con las directrices especificadas por el profesor.
6. Evaluación experimental de la metodología propuesta.
7. Se han sentado las bases para un estudio en profundidad de posibles factores adicionales que puedan influir en los resultados el proceso.

En los próximos apartados se resume brevemente cada una de las contribuciones mencionadas.

6.2.1 Estudio del estado del arte

En el capítulo 2 se analizan las diferentes corrientes pedagógicas vigentes y los fundamentos pedagógicos que justifican el uso de la metodología de revisión entre iguales con propósitos educativos.

Se analizan asimismo los fundamentos genéricos de dicha metodología y las principales aportaciones en el contexto educativo, así como los sistemas de soporte disponibles para facilitar su aplicación en el aula.

De este análisis se concluye que la aplicación de la metodología de revisión entre iguales en el ámbito educativo es una práctica frecuente, apoyada por diversos estudios que evalúan positivamente su eficacia.

Como resultado de este estudio, se identifica una carencia importante en la metodología, ya que el proceso de revisión entre iguales no tiene en cuenta en su desarrollo la adaptación al alumno imperante en la pedagogía moderna, inclusive en las propias corrientes pedagógicas en que se fundamenta su empleo con fines educativos.

6.2.2 Análisis de las posibilidades de adaptación

En el capítulo 3 se analiza el proceso de revisión entre iguales y los mecanismos de aprendizaje asociados a las diferentes tareas involucradas. Como resultado se identifican las posibilidades de adaptación al alumno que ofrece la metodología. Algunos mecanismos de adaptación genéricos, comunes a otras metodologías educativas, son susceptibles de aplicarse también en el caso de la revisión entre iguales. De forma específica, se identifica el proceso de asignación de revisores como el mecanismo inherente y exclusivo de la revisión entre iguales como punto de actuación característico para adaptar el proceso al alumno. Y, por tanto, la necesidad de guiar de acuerdo a premisas pedagógicas dicho proceso de asignación.

6.2.3 Evaluación de la influencia del nivel del alumno

En el capítulo 3 se analiza desde una perspectiva teórica la posible influencia de factores asociados al nivel de desempeño del alumno en la materia en los resultados del proceso.

En el capítulo 5 se evalúa dicha influencia desde una perspectiva empírica. De forma coherente con el estudio teórico, el análisis de indicadores empíricos tanto subjetivos como objetivos confirman la influencia del nivel de la entrega evaluada así como del alumno revisor. Este efecto actúa tanto sobre autores como sobre revisores.

Como resultado, los experimentales relativos a indicadores tanto subjetivos como objetivos reflejan una influencia significativa del nivel de la entrega evaluada en la evolución posterior del revisor. De forma simétrica, se comprueba también la influencia del nivel del revisor asignado sobre la subsiguiente evolución del o de los autores. Este efecto es máximo sobre alumnos con nivel de desempeño deficiente, mientras que los alumnos con niveles más destacados apenas se ven afectados por diferencias en el nivel de las relaciones establecidas.

A partir de los resultados experimentales obtenidos, se plantea un criterio de asignación de revisores en función del perfil de los alumnos, que favorece a

los estudiantes con mayores dificultades, sin perjudicar por ello a los alumnos más destacados.

6.2.4 Propuesta de un modelo de especificación de criterios de asignación de revisores

En el capítulo 3 se ha definido un modelo de especificación de criterios de asignación de revisores intuitivo, flexible y expresivo, acorde con las necesidades planteadas.

Este modelo se construye sobre el concepto de *prototipo*, que expresa las características diferenciadoras de los distintos tipos de alumnos considerados para el proceso de asignación de revisores.

Sobre este modelo básico, se construye una ampliación basada en la introducción de un nivel de abstracción superior, que permite el modelado de *relaciones* entre los agentes involucrados en el modelo, además de considerar perfiles concretos.

En el capítulo 5 se evalúa la adecuación del modelo en escenarios educativos reales. Los resultados son satisfactorios y corroboran que el modelo ofrece la potencia expresiva necesaria para dar cobertura a la casuística habitual que se presenta en el aula. Por otra parte, el modelo basado en prototipos propuesto ofrece una solución intuitiva, fácil de entender y aplicar para el profesorado.

En definitiva, el modelo propuesto satisface los requisitos de expresividad, usabilidad y aplicabilidad planteados.

6.2.5 Desarrollo de un algoritmo de asignación de revisores

En un entorno educativo real, el número de alumnos puede condicionar la aplicabilidad de la metodología adaptativa propuesta si no se dispone de un sistema que automatice el proceso de asignación de revisores. En el capítulo 4 se describe el sistema implementado para dar soporte a la adaptación en el proceso de revisión entre iguales. El algoritmo desarrollado realiza automáticamente la asignación de revisores, de forma eficiente y de acuerdo a las directrices especificadas por el profesor, en función del perfil de los alumnos.

El sistema desarrollado asigna de forma automática los revisores en función del perfil de los alumnos, respetando las restricciones de validez asociadas al proceso y favoreciendo la selección de revisores acordes con los criterios

especificados por el profesorado para el proceso.

Basado en el modelo de especificación de criterios de asignación propuesto, el sistema permite definir de forma flexible dichos criterios, que podrían variar en función de los objetivos del proceso.

6.2.6 Evaluación experimental de la metodología propuesta

En el capítulo 5 se presentan los resultados de los trabajos de campo llevados a cabo en el marco del programa de apoyo a experiencias de innovación y mejora docente de la universidad Carlos III de Madrid.

El estudio empírico de la metodología ha permitido refinar su definición, así como detectar y corregir problemas asociados a la misma. Entre éstos, destaca la captura de datos para el modelo del alumno de modo que la adaptación pueda basarse en información actualizada y fiable, representativa del estado real del alumno. Los resultados empíricos llevaron a descartar la gestión del modelo planteada inicialmente, por su falta de corrección, y a sustituirla por otra alternativa que demostró ser más adecuada.

Finalmente, los resultados experimentales permiten validar empíricamente las contribuciones de esta tesis: los modelos propuestos, la metodología desarrollada, el sistema de soporte implementado y la adecuación de los criterios pedagógicos postulados.

6.2.7 Bases para un estudio en profundidad de factores adicionales con influencia en el proceso

La presente tesis se centra en factores cognitivos relacionados con el conocimiento de la materia por asumirse que ejercen una influencia directa en el proceso. No obstante, no puede descartarse la influencia de factores alternativos, psico-pedagógicos o incluso demográficos. Con el modelo de especificación de criterios de asignación desarrollado, junto con el sistema de asignación de revisores implementado, se han sentado las bases para un estudio en profundidad de posibles factores adicionales que puedan influir en los resultados del proceso. Al tratarse de modelos genéricos, facilitan la implantación de diferentes estrategias de asignación de revisores, basadas en diferentes modelos del alumno, posibilitando la evaluación de su impacto en el proceso.

6.3 Revisión de los escenarios propuestos

Al término de esta tesis pueden analizarse las soluciones aportadas a los problemas didácticos planteados en la sección 1.2.

En el escenario descrito en el apartado 1.2.1 se plantea una asignatura cuyo temario presenta una fuerte diversificación y, por tanto, un alto riesgo de que los estudiantes no lleguen a aprehender todos los conceptos cubiertos en el mismo. La metodología de aprendizaje basada en proyectos aplicada en dicha asignatura fomenta el aprendizaje en profundidad del tema desarrollado, pero agudiza la visión sesgada del temario que reciben los alumnos.

Como parte de la evaluación empírica, en esta tesis se ha abordado dicho problema en un escenario idéntico al planteado. La solución propuesta, basada en incorporar tareas de revisión entre iguales adaptadas en función de la temática seleccionada por los alumnos en su propio proyecto, permite a los estudiantes ampliar su visión de la asignatura, explorando temas complementarios a los desarrollados en su propio proyecto, paliando así el problema planteado tal como muestran los resultados experimentales.

En el escenario descrito en el apartado 1.2.2 se plantea una situación en que el nivel de los alumnos involucrados en el proceso de revisión entre iguales afecta enormemente a los resultados del proceso. Se trata de un escenario en que la selección de revisores debe realizarse teniendo en cuenta la profunda diversidad de nivel del alumnado. El objetivo aquí es evitar emparejamientos de alumnos cuyos estados de aprendizaje no compartan elementos comunes que faciliten el intercambio de conocimiento. Es decir, evitar la formación de parejas cuyos miembros presenten una distancia excesiva en cuanto a su nivel de conocimiento.

Si bien los escenarios en que se ha realizado la evaluación empírica de esta tesis no se corresponden exactamente con la situación planteada (de hecho, el problema era frecuentemente el contrario) se han proporcionado las herramientas necesarias para solventar el problema descrito. La asociación de revisores con similar perfil de conocimiento que los autores es uno de los criterios evaluados durante el estudio empírico de la metodología. Y aunque no ofrece resultados óptimos en las condiciones en que se efectuó el análisis, satisface los requisitos planteados en este escenario, lo cual demuestra además la estrecha dependencia de los criterios de asignación respecto de los objetivos y condiciones del proceso.

Finalmente, el apartado 1.2.3 presenta un alumnado fuertemente diversificado. Si bien no se ha realizado una evaluación empírica en condiciones

equivalentes a dicho escenario, resulta sencillo extrapolar los resultados obtenidos.

Aunque esta tesis doctoral ha supuesto un avance para solventar las dificultades planteadas en los escenarios propuestos, todavía son muchos los retos que hay que abordar, algunos de los cuales se presentan en el siguiente apartado.

6.4 Vías de investigación futuras

En esta tesis se han aportado soluciones al problema de la adaptación al alumno en el contexto concreto del uso de la metodología de revisión entre iguales con fines formativos. A partir de los resultados obtenidos, se pueden abrir varias líneas de investigación. Estas posibles líneas incluyen temas estrictamente tecnológicos así como otros de corte pedagógico, que se apuntan en los siguientes apartados.

6.4.1 Modelo del alumno

En esta tesis se ha aplicado un modelo del alumno simplificado, con el fin de evaluar la influencia del nivel de conocimiento del alumno y analizar la adaptabilidad del proceso. La ausencia de estudios similares previos hace razonable el uso de este modelo simplificado. No obstante, se han sentado las bases para un estudio en profundidad de posibles factores, adicionales a los considerados, que puedan influir en los resultados el proceso.

En consecuencia, una línea prioritaria de investigación futura es el estudio de la potencial influencia de otras características del alumno, tanto variables demográficas (edad, sexo, etc.), capacidades cognitivas (específicas del dominio, habilidades de redacción, etc.) o de aprendizaje (por ejemplo, estilo de aprendizaje).

Por otra parte, los actores involucrados en el proceso desempeñan diferentes roles, resultando una interacción no simétrica. Por tanto, posiblemente se requieran perfiles diferentes en función del rol (autor o revisor) asignado al alumno.

Por último, podría considerarse una mayor granularidad e incluso estructuras alternativas para el modelo, por ejemplo redes bayesianas, con el fin de reflejar con mayor exactitud el estado del alumno. En el primer caso se mantiene la estructura vectorial del modelo y no requiere modificaciones del sistema desarrollado. En el segundo, al tratarse de una modificación sustancial de la es-

estructura del modelo del alumno, se requiere proporcionar conjuntamente con el nuevo modelo un mecanismo de comparación que permita evaluar la idoneidad de las potenciales asignaciones de revisores.

6.4.2 Variables categóricas

Si bien el modelo propuesto es genérico, el sistema desarrollado se basa en el concepto de distancia para realizar la evaluación comparativa de asignaciones, necesaria para seleccionar la opción más adecuada de entre las posibles alternativas. Lógicamente, las variables de tipo numérico continuo se ajustan de manera natural a los requisitos del sistema. Sin embargo, la ampliación del modelo del alumno podría dar pie a la inclusión de variables categóricas, con las cuales el cálculo de distancias no resulta tan inmediato. Sería interesante, por tanto, adaptar el algoritmo de evaluación para facilitar el tratamiento de este tipo de variables.

6.4.3 Integración en sistemas de gestión de revisión entre iguales y plataformas de e-learning

La integración en plataformas de *e-learning* facilitaría la adopción de la metodología propuesta en los entornos en que éstas estén ya implantadas. Por otra parte, la integración del sistema de asignación de revisores en sistemas de soporte para evaluación entre iguales amplía la funcionalidad de dichos sistemas y posibilita la personalización del proceso.

El diseño modular del sistema desarrollado facilita su integración en diferentes sistemas. Al utilizar Java como lenguaje de implementación, puede ejecutarse en múltiples entornos y sistemas operativos. El trabajo a desarrollar consistiría principalmente en integrar los mecanismos de captura de datos para alimentación del modelo del alumno con la funcionalidad de gestión ofrecida por el sistema. En el caso de plataformas de e-learning genéricas, sería necesario además dar soporte a la gestión del proceso en el caso de que el sistema no integre dicha funcionalidad.

6.4.4 Ampliación del estudio empírico

Los estudios de campo desarrollados en esta tesis abarcan una población de alumnos representativa y suficientemente extensa y variada para observar tendencias, en contextos educativos variados. Aún así, convendría ampliar los

estudios experimentales, extendiendo la evaluación de la metodología propuesta a otros escenarios, incluyendo distintas materias, entregables de diferente naturaleza, y entornos de aprendizaje diversificados (por ejemplo, aprendizaje virtual, aprendizaje a distancia), por citar algunas posibilidades.

6.4.5 Extensión a otras metodologías educativas y contextos

Esta tesis tiene como objetivo adaptar la interacción entre autores y revisores en el proceso de revisión entre iguales con fines formativos. Como trabajo futuro se plantea la posibilidad de extender la aplicación del modelo desarrollado a otras metodologías educativas. La tutoría entre compañeros se basa en interacciones similares a las establecidas en la revisión entre iguales, por lo que se considera la candidata más próxima para dicha extensión. Otras metodologías educativas caracterizadas por una fuerte interacción entre los alumnos, en pequeños grupos, también pueden ser susceptibles de dicho estudio. En este ámbito, puede analizarse la utilidad de la metodología adaptativa en la formación de grupos para aprendizaje colaborativo. Finalmente, el uso de la metodología de revisión entre iguales no se restringe exclusivamente al contexto educativo, de modo que también sería interesante evaluar la posibilidad de incorporar la adaptación en otros contextos de aplicación.

Bibliografía

- [1] P. Adriaans and D. Zantinge. *Data Mining*. Addison-Wesley, 1996.
- [2] Rakesh Agrawal and Ramakrishnan Srikant. Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th Int. Conf. Very Large Data Bases, VLDB*, pages 487–499. Morgan Kaufmann, 12–15 1994.
- [3] Rakesh Agrawal and Ramakrishnan Srikant. Mining sequential patterns. In Philip S. Yu and Arbee S. P. Chen, editors, *Eleventh International Conference on Data Engineering*, pages 3–14, Taipei, Taiwan, 1995. IEEE Computer Society Press.
- [4] T. Anderson and D.R. Garrison. Learning in a networked world: New roles and responsibilities. In C. Gibson, editor, *Distance Learners in Higher Education*. Atwood Publishing, Madison, WI., 1998.
- [5] Terry Anderson. Modes of interaction in distance education: Recent developments and research questions. In M. Moore, editor, *Handbook of Distance Education*. Erlbaum, Mahwah, NJ, 2002.
- [6] ASAP - Automatic Submission and Assignment Processor. asap.it.uc3m.es, accedido en: Febrero 2007.
- [7] ASEE/IEEE. *Frontiers in Education*, volume 36th, San Diego, CA, Octubre 2006.
- [8] A. C. M. (Association for Computing Machinery). ACM code of ethics and professional conduct. www.acm.org/constitution/code.html (última vez visto: 05-10-2005), October 1962. adopted by ACM Council 1962.10.16.
- [9] David Paul Ausubel. *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. Psicología y educación. Trillas, México, 1976.

- [10] R. L. Bangert-Drowns, C. L. C. Kulik, J. A. Kulik, and M. T. Morgan. The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61:213–238, 1991.
- [11] Rahel Bekele. *Computer-Assisted Learner Group Formation Based on Personality Traits*. PhD thesis, Fachbereich Informatik der Universität Hamburg, Octubre 2005.
- [12] Abhir Bhalerao and Ashley Ward. Towards electronically assisted peer assessment: a case study. *Association for Learning Technology journal (ALT-J)*, 9(1):26–37, 2001.
- [13] M. Birenbaum. Assessment 2000: Towards a pluralistic approach to assessment. In M. Birenbaum and F. J. R. C. Dochi, editors, *Alternatives in assessment of achievements, learning processes and prior knowledge*, pages 3–29, Boston, MA, 1996. Kluwer.
- [14] Blackboard Inc. www.blackboard.com, accedido en: Octubre 2006.
- [15] Benjamin Samuel Bloom. *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I, cognitive domain*. Longmans, Green, 1956.
- [16] Jerome S. Bruner. *Toward a Theory of Instruction*. The Belknap Press of Harvard University Press, 1966.
- [17] J. L. Castillejo, G. Vázquez, A. J. Colom, and J. Sarramona. *Teoría de la Educación*. Taurus, Madrid, 1993.
- [18] M. T. H. Chi. Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 10:S33–S49, 1996.
- [19] Cristina Conati and Heather Maclare. Evaluating a probabilistic model of student affect. In Lester et al. [77], pages 55–66.
- [20] Michael Cosser. Towards the design of a system of peer review of teaching for the advancement of the individual within the university. *Higher Education*, 35(2):143–162, March 1998.
- [21] Calibrated peer review. cpr.molsci.ucla.edu (última vez visto: 20-01-2005).
- [22] Raquel M. Crespo, Abelardo Pardo, and Carlos Delgado Kloos. An adaptive strategy for peer review. In *Frontiers in Education Conference. ASEE/IEEE*, October 2004.

- [23] Raquel M. Crespo, Abelardo Pardo, and Carlos Delgado Kloos. Adaptive peer review based on student profiles. *Intelligent Tutoring Systems 2006, Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, 4053, 2006.
- [24] Raquel M. Crespo, Abelardo Pardo, Juan Pedro Somolinos Pérez, and Carlos Delgado Kloos. An algorithm for peer review matching using student profiles based on fuzzy classification and genetic algorithms. *IEA/AIE 2005, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*, 3533:685–694, 2005.
- [25] Raquel M. Crespo García, Julio Villena Román, and Abelardo Pardo. Peer review to improve artificial intelligence teaching. In *Frontiers in Education Conference. ASEE/IEEE*, October 2006.
- [26] T. J Crooks. The impact of classroom evaluation practices on students. *Review of Educational Research*, 58:438–481, 1988.
- [27] Daedalus integrated writing environment. The Daedalus Group, 2003. www.daedalus.com.
- [28] Declaración de Bolonia. El espacio europeo de la enseñanza superior. Declaración conjunta de los ministros europeos de educación reunidos en Bolonia el 19 de junio de 1999.
- [29] Nicola Di Mauro, Teresa M.A. Basile, and Stefano Ferilli. GRAPE: An expert review assignment component for scientific conference management systems. In Moonis Ali and Floriana Esposito, editors, *Innovations in Applied Artificial Intelligence*, volume 3533 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 789–798. Springer, June 2005.
- [30] P. Dillenbourg. Over-scripting CSCL: The risks of blending collaborative learning with instructional design. In P. A. Kirschner, editor, *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL*, pages 61–91. Heerlen, Open Universiteit Nederland, 2002.
- [31] F. Dochy and L. McDowell. Assessments as a tool for learning. *Studies in Educational Evaluation*, 23(4):279–298, 1997.
- [32] Dokeos. www.dokeos.org, accedido en: Marzo 2007.
- [33] dotLRN. www.dotlrn.org, accedido en: Octubre 2006.
- [34] Edward W. Ernst. The editor’s page. *Journal of Engineering Education*, 82(1):1, 1993.

- [35] N. Falchicov. Product comparisons and process benefits of collaborative peer group and self assessments. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 11:146–166, 1986.
- [36] N. Falchicov. Peer feedback marking-developing peer assessment. *Innovations in Education and Training International*, 32:175–187, 1995.
- [37] Nancy Falchikov. *Learning Together: Peer tutoring in higher education*. Routledge Falmer Press, London, July 2001.
- [38] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, editors. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. MIT Press, 1996.
- [39] Richard M. Felder. Index of learning styles ILS. <http://www.ncsu.edu/felder-public/ILSpage.html>, consultado: marzo 2007.
- [40] Richard M. Felder and Linda K. Silverman. Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7):674–681, 1988. Author’s preface by Richard M. Felder, June 2002.
- [41] María Feldgen and Osvaldo Clúa. Games as a motivation for freshman students to learn programming. In *Frontiers in Education Conference*. ASEE/IEEE, October 2004.
- [42] M. Carmen Fernández Panadero. *EPM: Un modelo para la caracterización y diagnóstico de procesos educativos*. PhD thesis, Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid, 2004.
- [43] Jacqueline Maria Flor and Susan Finger. The effect of individual and group characteristics on remote collaboration. In *36th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference* [7].
- [44] Hugh Foot and Christine Howe. The psychoeducational basis of peer-assisted learning. In Topping and Ehly [135], pages 27–43.
- [45] B. W. Ford. The effects of peer editing/grading on the grammar-usage and theme-composition ability of college freshmen. In *Dissertation Abstracts International*, 33, 6687, 1973.
- [46] William J. Frawley, Gregory Piatetsky-Shapiro, and Christopher J. Matheus. Knowledge discovery in databases: An overview. *AI Magazine*, pages 57–70, Fall 1992.

-
- [47] J. R. Frederiksen. Assessment as an agent of educational reform. *Educator*, 8:2–7, 1994.
- [48] Mark Freeman. Peer assessment by groups of group work. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 20(3):289–301, December 1995.
- [49] S. A. Fry. Implementation and evaluation of peer marking in higher education. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 15:177–189, 1990.
- [50] William B. Gardner. Assessing individual contributions to group software projects. In *8th Western Canadian Conference on Computing Education (WCCCE '03)*, pages 33–50, Courtenay, BC, Canada, May 2003.
- [51] Edward F. Gehringer. Peer grading over the web: Enhancing education in design courses. In *1999 ASEE Annual Conference and Exposition*, Charlotte, North Carolina, June 20–23 1999. ASEE.
- [52] Edward F. Gehringer. Strategies and mechanisms for electronic peer review. In *30th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Kansas City, MO, October 2000. ASEE/IEEE.
- [53] Edward F. Gehringer. Assignment and quality control of peer reviewers. In *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. ASEE, 2001.
- [54] Edward F. Gehringer. Electronic peer review and peer grading in computer-science courses. In *Proc. of the Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 139–143. SIGCSE, February 2001.
- [55] Edward F. Gehringer. Building resources for teaching computer architecture through electronic peer review. In *Workshop on Computer Architecture Education, associated with 30th International Symposium on Computer Architecture*. ASEE, June 2003.
- [56] Edward F. Gehringer. Electronic peer review builds resources for teaching computer architecture. In *Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*. ASEE, 2003.
- [57] Edward F. Gehringer and Yun Cui. An effective strategy for the dynamic mapping of peer reviewers. In *Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*. ASEE, 2002.

- [58] Judy Goldfinch. Further developments in peer assessment of group projects. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 19(1), April 1994.
- [59] A. C. Graesser, N. K. Pearson, and J. P. Magliano. Collaborative dialogue patterns in naturalistic one-to-one tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 9:495–522, 1995.
- [60] Sabine Graf and Rahel Bekele. Forming heterogeneous groups for intelligent collaborative learning. In Ikeda et al. [66], pages 217–226.
- [61] S. H. Ha, S. M. Bae, and S. C. Park. Web mining for distance education. In *Proceedings of IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT)*, volume 2, August 2000.
- [62] Jiawei Han and Micheline Kamber. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [63] Judy Hardy, Mario Antonioletti, and Simon P. Bates. E-learner tracking: tools for discovering learner behaviour. In *Web-based Education Conference*, pages 458–463. IASTED, March 2004.
- [64] Christine Helfers, Sarah Duerden, Jeanne Garland, and D. L. Evans. An effective peer revision method for engineering students in first-year english courses. In *Frontiers in Education Conference*, pages 7–12, November 1999.
- [65] IEEE LTSC. ieeeltsc.org, accedido en: Octubre 2006.
- [66] Mitsuru Ikeda, Kevin D. Ashley, and Tak-Wai Chan, editors. *8th International Conference, ITS 2006, Jhongli, Taiwan, June 2006, Proceedings*, volume 4053 of *LNCIS*. Springer, Junio 2006.
- [67] IMS. www.imsglobal.org, accedido en: Octubre 2006.
- [68] G. Jacobs. Miscorrection in peer feedback in writing class. *Journal of Language Teaching and Research in Southeast Asia*, 20(68), 1989.
- [69] Lucy Johsonton and Miles Lynden. Assessing contributions to group assignments. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 29(6):751–768, Diciembre 2004.
- [70] M. Joy and M. Luck. The BOSS system for on-line submission and assessment. *CTI Computing: Monitor*, 10, 1998.

- [71] Deborah Kauffman. Peer ratings in cooperative learning teams. In *1999 ASEE Annual Conference and Exposition*, Charlotte, North Carolina, June 20-23 1999. ASEE.
- [72] Vinícius Medina Kern, Joyce Munarski Pernigotti, Marco Montarroyos Calegario, and Merilyn Bento. Peer review in engineering education: speeding up learning, looking for a paradigm shift. In *Proceedings of the 7th International Conference On Engineering and Technology Education (INTERTECH)*, page 1.1/19, Santos, Brasil, 2002. SUSPI.
- [73] J.R. Koza. *Genetic Programming-On the programming of the computers by means of natural selection*. MIT Press, 1992.
- [74] J. A. Kulik and C. L. C. Kulik. Timing of feedback and verbal learning. *Review of Educational Research*, 58:79–97, 1988.
- [75] François Dominic Laramée. *AI game programming wisdom*, chapter Genetic Algorithms: Evolving the Perfect Troll, pages 629–639. Charles River Media, 2002.
- [76] D. Laurillard. *Rethinking university teaching*. Open University Press, Buckingham, 1993.
- [77] James C. Lester, Rosa Maria Vicari, and Fábio Paraguaçu, editors. *Intelligent Tutoring Systems, 7th International Conference, ITS 2004, Macceió, Alagoas, Brazil, August/September 2004, Proceedings*, volume 3220 of *LNCS*. Springer, 2004.
- [78] Robert Lewis. Trabajo y aprendizaje en comunidades distribuidas. In Vizcarro and León [148], pages 191–220.
- [79] Eric Zhi-Feng Liu, S.S.J. Lin, Chi-Huang Chiu, and Shyan-Ming Yuan. Web-based peer review: the learner as both adapter and reviewer. *IEEE Transactions on Education*, 44(3):246–251, August 2001.
- [80] Yiming Ma, Bing Liu, Ching Kian Wong, Philip S. Yu, and Shuik Ming Lee. Targeting the right students using data mining. In *KDDIND*, 2000.
- [81] J. M. K. MacAlpine. Improving and encouraging peer assessment of student presentations. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 24(1):15–25, Marzo 1999.

- [82] H. Mannila and H. Toivonen. Discovering generalized episodes using minimal occurrence. In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 146–151, Menlo Park, CA, 1999. AAAI Press.
- [83] Jack McGourty. Using multisource feedback in the classroom: A computer-based approach. *IEEE Transactions on Education*, 43(2):120–124, May 2000.
- [84] Jack McGourty, Peter Dominick, and Richard R. Reilly. Incorporating student peer review and feedback into the assessment process. In *1998 FIE Conference*, pages 14–18, 1998.
- [85] C. O. Mendonca and K. E. Johnson. Peer-review negotiations and revision activities in ESL writing instruction. *TESOL Quarterly*, 28:745–769, 1994.
- [86] Moodle. moodle.org, accedido en: Octubre 2006.
- [87] Michael Graham Moore. Three types of interaction. *American Journal of Distance Education*, 3(2):1–6, 1989.
- [88] Pedro J. Muñoz Merino, Carlos Delgado Kloos, Ralf Seepold, and Raquel M. Crespo García. Rating the importance of different lms functionalities. In *Frontiers in Education Conference*. ASEE/IEEE, October 2006.
- [89] G. Natriello. The impact of evaluation processes on students. *Educational Psychologist*, 22:155–175, 1987.
- [90] Stephanie Nelson. Teaching collaborative writing and peer review techniques to engineering and technology undergraduates. In *Frontiers in Education Conference*, pages 1–5, October 2000.
- [91] Joseph D. Novack. *Teoría y práctica de la educación*. Alianza Universidad. Alianza, Madrid, 1982.
- [92] T. Y. Obah. Learning from others in the ESL writing class. *English Quarterly*, 25(8), 1993.
- [93] Y. Ochi, Y. Yano, T. Hayashi, and R. Wakita. JUPITER: a kanji learning environment focusing on a learner’s browsing. In *Proceedings of the Third Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, pages 446–451, 1998.

- [94] International Working Group on Educational Data Mining. Educational data mining. web, 2006. Consultado: Octubre 2006.
- [95] Abelardo Pardo. A multi-agent platform for automatic assignment management. In *International Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Aarhus, Dinamarca, Junio 2002.
- [96] G. Pask. Review of conversation theory and a protologic (or protolanguage). *Educational Communications and Technology Journal*, 32(1):3–40, 1984.
- [97] Jean Piaget. *The moral judgment of the child*. Routledge & Kegan Paul, London, 1932.
- [98] George Piatetsky-Shapiro and William J. Frawley, editors. *Knowledge Discovery in Databases*, 1991.
- [99] P. R. P. R. Pintrich and B. Schrauben. Students' motivational beliefs and their cognitive engagement in classroom academic tasks. In D. Schunk and J. L. Meece, editors, *Student Perceptions in the Classroom*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992.
- [100] The white paper: A description of CPR. cpr.molsci.ucla.edu (última vez visto: 20-01-2005), 2001.
- [101] John W. Prados. Is educational scholarship on oxymoron. *Journal of Engineering Education*, April 1999. www.findarticles.com/p/articles/mi_qa3886/is_199904/ai_n8829386.
- [102] J. Ross Quinlan. Induction of decision trees (ID3 algorithm). *Machine Learning*, 1(1), 1986.
- [103] J. Ross Quinlan. *C4.5: Programs for machine learning*. Morgan Kaufman Publishers, California, 1993.
- [104] R. Rada, S. Acquah, B. Baker, and P. Ramsey. Collaborative learning and the MUCH system. *Computers and Education*, 20:225–233, 1993.
- [105] Y. Rafiq and H. Fullerton. Peer assessment of group projects in civil engineering. *Assessment Evaluation Higher Educ.*, 21:69–81, 1996.
- [106] R. A. E. (Real Academia Española). *Diccionario de la lengua española*. Editorial Espasa Calpe, S.A., 22^a edition, 2001.

- [107] D. P. Resnick, L. B. y Resnick. Tests as standards of achievement in schools. In *New uses of standardized tests in american education*, Nueva York, NY, 1990. Educational Testing Service Invitational Conference.
- [108] Mitchel Resnick. Distributed constructionism. In *Proceedings of the International Conference on the Learning Sciences*, 1997.
- [109] Barbara Rogoff. *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. Oxford University Press, Oxford and New York, 1990.
- [110] Barbara Rogoff. Social interaction as apprenticeship in thinking: guidance and participation in spatial planning. In Lauren B. Resnick, John M. Levine, and Stephanie D. Teasley, editors, *Perspectives on socially shared cognition*, pages 349–383. APA Press, Washington, DC, 1991.
- [111] W. M. Roth. From everyday science to science education: how science and technology studies inspired curriculum design and classroom research. *Science and Education*, 6:373–396, 1997.
- [112] C. Rushton, P. Ramsey, and R. Rada. Peer assessment in a collaborative hypermedia environment: A case-study. *Journal of Computer-Based Instruction*, 20:75–80, 1993.
- [113] Arlene A. Russell. Calibrated Peer Review. Volume IV: What works, what matters, what lasts. Project Kaleidoscope (www.pkal.org), 2004.
- [114] Víctor Santiuste Bermejo. El aprendizaje cognitivo. In *Psicología del aprendizaje y del desarrollo* [116], chapter 5, pages 245–256.
- [115] Víctor Santiuste Bermejo. Historia y formación de la psicología del aprendizaje. In *Psicología del aprendizaje y del desarrollo* [116], chapter 1, pages 193–204.
- [116] Víctor Santiuste Bermejo and Mariano Moraleda Cañadilla. *Psicología del aprendizaje y del desarrollo*, chapter II. Instituto de Ciencias de la Educación. UCM, 2002.
- [117] J. Schaffer. Peer response that works. *J. Teaching Writing*, 15:81–90, 1996.
- [118] SCORM (Sharable Content Object Reference Model). www.adlnet.gov/scorm/index.cfm, accedido en: Octubre 2006.

- [119] Claude E. Shannon. A mathematical theory of communications. *Bell System Technical Journal*, 27, 1948.
- [120] Jirarat Sitthiworachart and Mike Joy. Web-based peer assessment in learning computer programming. In *The 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. IEEE, 2003.
- [121] Jirarat Sitthiworachart and Mike Joy. Effective peer assessment for learning computer programming. In *ITiCSE '04*, Leeds, UK, June 28-30 2004. ACM.
- [122] A.J. Smith. The task of the referee. *IEEE Computer*, 23:46–51, April 1990.
- [123] Amy Soller, Patrick Jermann, Martin Muehlenbrock, Alejandra Martínez Monés, Ángeles Constantino González, Alain Derycke, Pierre Dillenbourg, Brad Goodman, Katrin Gassner, Elena Gaudio, Peter Reimann, Marta Rosatelli, Ron Stevens, and Vassileva Julita. Workshop on designing computational models of collaborative learning interaction. In Lester et al. [77].
- [124] Barbara A. Soloman and Richard M. Felder. Index of learning styles ILS questionnaire. <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>, consultado: marzo 2007.
- [125] R. Srikant and R. Agrawal. Mining generalized association rules. In *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Very Large Data Bases*, page 407419, San Mateo, CA, 1995. Morgan Kaufmann.
- [126] I. B. Strachan and S. Wilcox. Peer and self assessment of group work: Developing an effective response to increased enrollment in a third year course in microclimatology. *J. Geography Higher Educ.*, 20:343–353, 1996.
- [127] Changjie Tang, Huabei Yin, Tong Li, Rynson W.H. Lau, Qing Li, and Danny Kilis. Personalized courseware construction based on web data mining. In *Proceedings of the First International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE'00)*, pages 204–211, 2000.
- [128] T. Tang and G. McCalla. Student modeling for a web-based learning environment: a data mining approach. In *18th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, pages 967–968, Edmonton, Canada, July 2002.

- [129] Tiffany Y. Tang and Keith C. Chan. Feature construction for student group forming based on their browsing behaviors in an e-learning system. In M. Ishizuka and A. Sattar, editors, *PRICAI*. Springer-Verlag, 2002.
- [130] César Tejedor Campomanes. *Introducción a la Filosofía*. S.M., Madrid, 1984.
- [131] The Regents of the University of California. CPR introduction. cpr.molsci.ucla.edu (última vez visto: 20-01-2005), 2001.
- [132] K. J. Topping. The effectiveness of peer tutoring in further and higher education: A typology and review of the lit. *Higher education*, 32:321–345, 1996.
- [133] Keith Topping. Peer assessment between students in colleges and universities. *Review of Educational Research*, 68(3):249–276, Fall 1998.
- [134] Keith Topping and Stewart Ehly. Introduction to peer assisted learning. In *Peer Assisted Learning* [135], pages 1–23.
- [135] Keith Topping and Stewart Ehly, editors. *Peer Assisted Learning*. Lawrence Erlbaum Associates, publishers, 1998.
- [136] Stephan Trahasch. From peer assessment towards collaborative learning. In *34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Savannah, GA, October 2004.
- [137] Universidad Carlos III de Madrid. Normas generales del tiempo de permanencia del alumnado en la universidad carlos iii de madrid, matriculación, dispensa de convocatoria y anulación de matrícula. <http://www.uc3m.es/uc3m/gral/IG/NOR/norm101.html>.
- [138] Universidad Carlos III de Madrid. Normativa de matriculación de la Universidad Carlos III de Madrid, aprobada por el consejo de gobierno en sesión de 27 de junio de 2002. *Boletín Oficial de la UCIIM*, (número 17-02/1), 31 de julio de 2002.
- [139] Universidad Carlos III de Madrid. Encuestas de evaluación de la docencia, 2003.
- [140] Universidad Carlos III de Madrid. Encuestas de evaluación de la docencia, 2004.
- [141] Universidad Carlos III de Madrid. Encuestas de evaluación de la docencia, 2005.

- [142] University of Portsmouth. Transferable peer assessment. In National Council for Educational Technology, editor, *Using information technology for assessment, recording and reporting: Case study reports*, volume 1, pages 73–78. National Council for Educational Technology, Coventry, England, 1995.
- [143] K. A. Van Lehn, M. T. H. Chi, W. Baggett, and R. C. Murray. *Progress report: Towards a theory of learning during tutoring*. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, 1995.
- [144] Lluís Vicent, Xavier Avila, Jordi Riera, David Badia, Jaume Anguera, and Jose A. Montero. Appropriateness of e-learning resources for the development of transversal skills in the new european higher education area. In *36th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference* [7].
- [145] Julio Villena Román. Inteligencia en redes de comunicaciones (página web de la asignatura). [on-line] <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/indice.html>, 2005. (última vez visto: 25/01/2006).
- [146] Carmen Vizcarro. Introducción al papel de las nuevas tecnologías en la enseñanza y el aprendizaje. In Vizcarro and León [148].
- [147] Carmen Vizcarro and José A. León. La evaluación como parte del proceso de enseñanza y aprendizaje: la evaluación tradicional y sus alternativas. In *Nuevas tecnologías para el aprendizaje* [148].
- [148] Carmen Vizcarro and José A. León, editors. *Nuevas tecnologías para el aprendizaje*. Psicología. Pirámide, 1998.
- [149] Lev Semionovich Vygotsky. *Mind in society: the development of the higher psychological processes*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1930, Re-published 1978.
- [150] Wei Wang, Jui-Feng Weng, Jun-Ming Su, and Shian-Shyong Tseng. Learning portfolio analysis and mining in SCORM compliant environment. In *Frontiers in Education Conference*, Savannah, GA (USA), Octubre 2004. IEEE.
- [151] A. Ward, J. Sitthiworachart, and M. Joy. Aspects of web-based peer assessment systems for teaching and learning computer programming. In *IASTED International Conference on Web-based Education*, pages 292–297, February 2004.

- [152] James Watson. La psicología tal como la ve el conductista. *Psychological Review*, 20, 1913.
- [153] WebCT Inc. www.webct.com, accedido en: Octubre 2006.
- [154] M. C. Witbeck. Peer correction procedures for intermediate and advanced ESL composition lessons. *TESOL Quarterly*, 10:321–326, 1976.
- [155] Lofti Zadeh. Fuzzy sets. *Inf. Control*, 8:338–353, 1965.
- [156] O. Zaiane and J. Luo. Towards evaluating learners' behavior in a web-based distance learning environment. In *Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pages 357–360, Madison, WI, 2001.

Apéndice A

Planes de estudios

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Carga lectiva global: 375 créditos

PRIMER CURSO

Primer cuatrimestre

* Álgebra	7 créditos
* Cálculo I	7 créditos
* Física I	7 créditos
* Programación	7 créditos
* Sistemas y circuitos	6 créditos

Segundo cuatrimestre

* Cálculo II	7 créditos
* Componentes electrónicos y medidas	6 créditos
* Electrónica digital	4.5 créditos
* Física II	7 créditos
* Laboratorio de programación	6 créditos

SEGUNDO CURSO

Primer cuatrimestre

* Ampliación de matemáticas	7 créditos
* Electrónica analógica	6 créditos
* Estadística	6 créditos

 INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

* Laboratorio de electrónica digital	3 créditos
* Sistemas lineales	6 créditos
<i>Optativas Generalistas</i>	
* Materiales I	6 créditos
* Metodología del desarrollo visual	4.5 créditos
* Sociología de la profesión de ingeniero	3 créditos
* Una panorámica de las telecomunicaciones	3 créditos
<i>Segundo cuatrimestre</i>	
* Análisis y diseño de circuitos	6 créditos
* Campos electromagnéticos	4.5 créditos
* Fotónica	3 créditos
* Fundamentos de ordenadores I	3 créditos
* Fundamentos de ordenadores II	3 créditos
* Laboratorio de electrónica analógica	6 créditos
* Teoría de la comunicación	6 créditos
<i>Optativas Generalistas</i>	
* Ampliación de matemáticas II	6 créditos
* Fundamentos de la ingeniería de control	6 créditos
* Materiales electrotécnicos	3 créditos

 TERCER CURSO

<i>Primer cuatrimestre</i>	
* Comunicaciones digitales	5 créditos
* Microprocesadores	6 créditos
* Redes y servicios de comunicaciones	6 créditos
* Sistemas concurrentes	3 créditos
* Sistemas y canales de transmisión	6 créditos
* Telemática	4.5 créditos
<i>Optativas Generalistas</i>	
* Análisis de la sociedad de la información	3 créditos
* Diseño electrónico asistido por ordenador	6 créditos
* Métodos estadísticos para la mejora de la calidad	6 créditos

Segundo cuatrimestre

 INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

* Cálculo numérico	3 créditos
* Circuitos integrados y microelectrónica	4.5 créditos
* Economía	4.5 créditos
* Laboratorio de microprocesadores	3 créditos
* Laboratorio de señales y comunicaciones	3 créditos
* Laboratorio de telemática	3 créditos
* Transmisión de datos	6 créditos

Optativas Generalistas

* Diseño y utilización de bases de datos	6 créditos
* Instalaciones eléctricas en sistemas de comunicaciones	4.5 créditos
* Computación en red	6 créditos
* Aviónica	6 créditos

CUARTO CURSO

Primer cuatrimestre

* Arquitectura de los ordenadores	6 créditos
* Diseño de circuitos y sistemas electrónicos	3 créditos
* Electrónica de comunicaciones	6 créditos
* Métodos matemáticos en telecomunicación	3 créditos
* Microondas y circuitos de alta frecuencia	6 créditos
* Normativa y política de telecomunicaciones	3 créditos
* Transmisión y propagación	3 créditos
* Técnicas de codificación	3 créditos

Optativas Generalistas

* Laboratorio de microelectrónica	3 créditos
* Análisis de Sistemas en tiempo real	3 créditos

Optativas de Especialidad (escoger 1)

Sistemas y redes de telecomunicación	
* Sistemas de Telecomunicaciones	4.5 créditos
Planificación y gestión de las comunicaciones	
* Economía de las telecomunicaciones	4.5 créditos
* Sistemas de información	4.5 créditos

Segundo cuatrimestre

* Comunicaciones ópticas	6 créditos
--------------------------	------------

 INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

* Conmutación	4.5 créditos
* Laboratorio de arquitectura de los ordenadores	3 créditos
* Laboratorio de circuitos y sistemas electrónicos	3 créditos
* Laboratorio de electrónica de comunicaciones	3 créditos
* Laboratorio de radiofrecuencia	3 créditos
* Redes de ordenadores	4.5 créditos
* Tratamiento digital de señales	6 créditos

Optativas Generalistas

* Programación de Sistemas en tiempo real	3 créditos
---	------------

Optativas de Especialidad

Sistemas y redes de telecomunicación

* Radiocomunicaciones	3 créditos
Planificación y gestión de las comunicaciones	
* Técnicas de calidad total	3 créditos

QUINTO CURSO

Primer cuatrimestre

* Administración de empresas	3 créditos
* Estudio tecnológico	3 créditos
* Instrumentación electrónica	3 créditos
* Laboratorio de comunicaciones ópticas	3 créditos
* Laboratorio de tratamiento digital de señales	3 créditos
* Proyecto de ingeniería	6 créditos

Segundo cuatrimestre

* Laboratorio de instrumentación electrónica	3 créditos
* Proyecto fin de carrera	6 créditos

Optativas Generalistas

* Diseño y utilización de bases de datos	6 créditos
* Instalaciones eléctricas en sistemas de comunicaciones	4.5 créditos
* Computación en red	6 créditos
* Aviónica	6 créditos

Optativas de Especialización

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Especialidad: Sistemas y Redes de Telecomunicaciones

Primer cuatrimestre

BLOQUE A (elegir 1) (4,5 créditos)

* Aplicaciones del tratamiento digital de señales

* Terminales de comunicaciones

* Inteligencia en redes de comunicaciones

BLOQUE B (elegir 2) (4,5 créditos)

* Arquitectura de redes de comunicaciones

* Ingeniería de servicios

* Software de comunicaciones

* Comunicaciones móviles

* Transmisión en Banda Ancha

Segundo cuatrimestre

* Redes de Banda Ancha

BLOQUE C (elegir 2) (3 créditos)

* Comunicaciones sectoriales

* Telemática sectorial

* Radiodeterminación

LABORATORIOS (elegir 3) (3 créditos)

* Laboratorio de aplicaciones del tratamiento digital de señales

* Laboratorio de terminales de comunicaciones

* Laboratorio de arquitectura de redes de comunicación

* Laboratorio de comunicaciones móviles

* Laboratorio de ingeniería de servicios

* Laboratorio de software de comunicaciones

* Laboratorio de Comunicaciones Digitales

Especialidad: Planificación y Gestión de Telecomunicaciones

Primer cuatrimestre

BLOQUE A (elegir 1) (4,5 créditos)

* Gestión de redes de comunicaciones

* Optimización de sistemas de comunicaciones

BLOQUE B (elegir 2) (4,5 créditos)

* Arquitectura de redes de comunicaciones

* Ingeniería de servicios

* Software de comunicaciones

* Comunicaciones móviles

* Transmisión en Banda Ancha

 INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Segundo cuatrimestre

* Redes de Banda Ancha

BLOQUE C (elegir 2) (3 créditos)

* Gestión de Recursos Humanos

* Innovación tecnológica

LABORATORIOS (elegir 3) (3 créditos)

* Laboratorio de arquitectura de redes de comunicación

* Laboratorio de comunicaciones móviles

* Laboratorio de ingeniería de servicios

* Laboratorio de software de comunicaciones

* Laboratorio de simulación de comunicación

* Laboratorio de Comunicaciones Digitales

 LIBRE ELECCIÓN: 37.5 créditos

 CRÉDITOS NO ASIGNADOS A CURSO

* HUMANIDADES

6 créditos

* INGLÉS (Prueba de nivel II)

6 créditos

 Tabla A.1: Plan de estudios - Ingeniería de Telecomunicación.

 INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN: SONIDO E IMAGEN

Carga lectiva global: 225 créditos

 PRIMER CURSO

Primer cuatrimestre

* Matemáticas I	6 créditos
* Sistemas y circuitos	6 créditos
* Fundamentos físicos de la Ingeniería	6 créditos
* Electrónica digital	6 créditos
* Infraestructuras locales audiovisuales	6 créditos
* Representación de datos y aplicaciones	6 créditos

Segundo cuatrimestre

* Matemáticas II	6 créditos
* Sistemas lineales	6 créditos
* Estadística	6 créditos
* Organización de contenidos audiovisuales	6 créditos
* Interconexión de equipos	6 créditos
* Introducción a las telecomunicaciones	4,5 créditos

 SEGUNDO CURSO

Primer cuatrimestre

* Electrónica analógica I	6 créditos
* Análisis y diseño de circuitos	4,5 créditos
* Fundamentos de ingeniería acústica	6 créditos
* Flujos de información multimedia	6 créditos
* Tratamiento digital de la información	6 créditos

Segundo cuatrimestre

* Electrónica analógica II	4,5 créditos
* Electroacústica	4,5 créditos
* Tratamiento digital de voz	6 créditos
* Televisión	6 créditos
* Teoría de la comunicación	6 créditos
* Servidores de información multimedia	6 créditos

 TERCER CURSO

 INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN: SONIDO E IMAGEN

Primer cuatrimestre

* Proyectos	6 créditos
* Tratamiento de audio	6 créditos
* Tratamiento digital de imagen	6 créditos

OPTATIVA: 2 6 créditos

En el tercer curso existen dos orientaciones, Transmisión de Medios y Tratamiento de Medios. El alumno debe escoger las 3 asignaturas de la especialidad elegida. Además, deberá elegir otra optativa (bien de otra orientación, o no ligada a ninguna orientación) para competir un total de 24 créditos.

<i>Orientación Transmisión de medios:</i>	* Comunicaciones digitales
	* Sistemas de Telecomunicaciones
<i>Orientación Tratamiento de Medios:</i>	* Presentación Multiplataforma
	* Redes Multimedia

Segundo cuatrimestre

* Audio en telecomunicaciones	4,5 créditos
* Administración de empresas	4,5 créditos
* Proyecto fin de carrera	6 créditos

OPTATIVA: 2 6 créditos

<i>Orientación Transmisión de medios:</i>	* Gestión de la Información
<i>Orientación Tratamiento de Medios:</i>	* Laboratorio de Redes Multimedia
<i>Optativas no ligadas a orientación:</i>	* Tecnología de Sistemas de Visualización

 LIBRE ELECCIÓN: 24 créditos (A cursar en 2º o 3º curso)

CRÉDITOS NO ASIGNADOS A CURSO

* HUMANIDADES	6 créditos
* INGLÉS (Prueba de nivel I)	6 créditos

Tabla A.2: Plan de estudios - Ingeniería Técnica de Telecomunicación (especialidad Sonido e Imagen).