



Evaluación en entornos de informática educativa. Del
modelo del estudiante al modelo de interacciones

Alejandra Martínez Monés
amartine@infor.uva.es

Informe Técnico IT-DI-2000-0005

Evaluación en entornos de informática educativa. Del *modelo del estudiante al modelo de interacciones*

Alejandra Martínez Monés
amartine@infor.uva.es

Resumen La implantación progresiva de las tecnologías de la información y comunicación en el ámbito educativo hace necesario reforzar los métodos de evaluación de dichos sistemas. Dicha evaluación tiene que tener en cuenta muchos factores, entre los que se encuentran: cuestiones de calidad de software, interacción persona-ordenador, y las específicas del dominio educativo, como es el aprendizaje que se promueve con dichos sistemas.

La evolución experimentada por parte de los sistemas de software educativo responde, entre otras razones, a las distintas perspectivas sobre el aprendizaje con que dichos sistemas se han construido. Estas perspectivas definen cómo se ha de conseguir el aprendizaje, y por tanto, cómo se ha de evaluar.

Este trabajo hace una revisión de las formas de realizar la evaluación del aprendizaje en dos de los paradigmas que más influencia han tenido en el desarrollo de la informática educativa: los sistemas tutores inteligentes (STI) y los sistemas de aprendizaje colaborativo asistido por ordenador (CSCL). Se hará hincapié en las características que diferencian ambos enfoques, resaltando cómo los diferentes puntos de partida llevan a cuestiones de investigación diferentes. Sin embargo, a lo largo del trabajo, y especialmente en el último capítulo, se verá cómo dichas perspectivas pueden ser complementarias.

Índice General

1	Introducción	4
1.1	Informática educativa	4
1.2	Evaluación en entornos de informática educativa	5
1.3	Estructura del resto del trabajo	7
2	Teorías educativas y su implicación en la Informática Educativa	8
2.1	Evolución del diseño de sistemas de software educativo	9
2.1.1	Conductismo radical	10
2.1.2	Enfoques cognitivos	11
2.2	Evolución de la investigación en tecnología educativa	14
2.2.1	Cuestiones planteadas en cada paradigma	14
2.2.2	Metodologías de evaluación educativa	14
2.3	Otros métodos de interés en este trabajo	16
2.4	Resumen	18
3	Una propuesta de modelo del estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes	19
3.1	Arquitectura de los sistemas tutores inteligentes	20
3.2	SIAL: Un sistema tutor para el aprendizaje de la lógica	21
3.2.1	Descripción general de SIAL	22
3.3	Modelado del estudiante en SIAL	23
3.3.1	Diagnóstico del error en el modo fuertemente guiado	25
3.3.2	Modo débilmente guiado y diagnóstico de error	26
3.4	Diseño de la interfaz en SIAL	27
3.5	Conclusión	28
4	Análisis de la interacción en entornos colaborativos constructivistas	29
4.1	Punto de partida	30
4.1.1	Descripción del marco DELFOS	30
4.1.2	Evaluación en DELFOS	31
4.1.3	Experiencia de evaluación. El caso de CECI	33
	Sistema de evaluación en CECI	34
	Conclusiones de la experiencia con CECI	36
4.1.4	Resultados adicionales de la validación del marco DELFOS	37
4.1.5	Primera aproximación al estudio de eventos utilizando Análisis de Redes Sociales	38
4.1.6	Resumen de la experiencia	38
4.2	Análisis de las interacciones en DELFOS	39
4.2.1	Cuestiones previas	39

Objetivos del análisis de interacciones.	39
¿Qué interacciones vamos a considerar?	40
4.2.2 Propuesta para el análisis de interacciones en DELFOS	41
Registro de eventos.	41
Análisis de la participación.....	41
Estudio cualitativo.....	42
4.3 Resumen y conclusiones	43
5 Consideraciones finales	45
5.1 Hacia una perspectiva de continuidad entre los paradigmas STI y CSCL	45
5.2 Consideraciones finales y trabajo futuro.....	46
5.3 Agradecimientos	48

Capítulo 1

Introducción

La aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) a la educación, que vamos a denominar *informática educativa* o *software educativo* es una área muy activa. Desde las instituciones se está promoviendo la implantación de las TIC en todos los niveles educativos, y el sector empresarial también apuesta por este tipo de medios para la formación continua de los trabajadores [Uni98], [IEE99]. Sin embargo, esta política no siempre tiene objetivos pedagógicos claros, y la experiencia va demostrando que muchas actuaciones no han dado lugar a mejoras significativas de la práctica educativa [Hol99], [SW97].

Por otro lado, el esfuerzo dedicado a desarrollar entornos educativos apoyados en diversos tipos de tecnología no se ha visto acompañado normalmente de la definición de *métodos de evaluación* para valorar el impacto de dichos sistemas, ni el aprendizaje conseguido con ellos. Esto es así a pesar de que, como hemos dicho, no siempre está claro que estos sistemas tengan efectos positivos.

El tema central de este trabajo es la *evaluación* en entornos de *informática educativa*. Tanto “*evaluación*” como “*informática educativa*” son dos términos muy utilizados, y debido a ello, han perdido un significado único. En las dos próximas secciones vamos a delimitar el sentido de estos términos en el presente trabajo, y terminaremos esta introducción presentando el contenido del resto de capítulos del mismo.

1.1 Informática educativa

El uso en educación de recursos basados en las TIC ha recibido muchas denominaciones. En este trabajo, se utilizarán los términos *informática educativa* o *software educativo* para referirnos a esta área de trabajo en un sentido amplio.

Las manifestaciones de la informática educativa son muy diversas. Entre los sistemas que han sido o son más populares se encuentran: las herramientas profesionales como medio para aprender una destreza, sistemas tutores, hipertexto e hipermedia aplicados a la educación, simulaciones y micromundos [Vaq98]. Esta variedad de aplicaciones se debe a muchos factores, y en último extremo han dado lugar a diferentes *paradigmas* de investigación y desarrollo. La diferencia entre los distintos paradigmas radica en que parten de teorías distintas sobre el aprendizaje, y sobre cómo debe ser promovido, que conducen a los investigadores a plantearse métodos y objetivos de investigación diferentes entre sí. En el próximo capítulo se revisarán cuatro paradigmas de informática educativa, que han sido definidos por Koschmann en [Kos96], dos de los cuales: paradigma del Sistema Tutor Inteligente, o STI, y paradigma del Aprendizaje Colaborativo

Asistido por Ordenador, (conocido como CSCL por sus siglas en inglés, *Computer Supported Collaborative Learning*), serán objeto de estudio en los capítulos 3 y 4 respectivamente.

1.2 Evaluación en entornos de informática educativa

Como hemos dicho, la evaluación de los entornos de informática educativa es una necesidad clara, dada la importancia que estos entornos están adquiriendo en los sistemas de formación. Sin embargo, el proceso de realización de esta evaluación no es directo, y la investigación sobre este tema no tiene tanto recorrido como la dedicada al desarrollo de los sistemas [Oli97].

La evaluación es un proceso o tarea muy amplia, que abarca múltiples facetas. Una definición que da idea de la generalidad de este concepto es la siguiente:

La *evaluación* puede considerarse como un proceso, o conjunto de procesos, para la obtención y análisis de información significativa en que apoyar *juicios de valor* sobre un objeto, fenómeno, proceso o acontecimiento, como soporte de una eventual decisión sobre el mismo [LdA96, p.241].

La variedad de *cuestiones de evaluación* que se pueden considerar en un entorno de informática educativa es grande. Esto es debido a que el desarrollo de estos sistemas es un trabajo interdisciplinar, con dimensiones relativas a la ingeniería del software, al uso de diversas tecnologías, a la interacción persona-ordenador, y al dominio educativo en que se aplican los entornos. La implantación de este tipo de sistemas afecta a muchos actores: los responsables de las instituciones educativas, los desarrolladores de software, los profesores, los estudiantes, etc. Esta diversidad de factores explica las diversas cuestiones a las que puede referirse la evaluación de un sistema de informática educativa, entre las que se encuentran:

- Evaluación del *aprendizaje* obtenido por los alumnos con el uso del sistema. Siendo este el objetivo fundamental de todo sistema de enseñanza/aprendizaje, este aspecto debe ser considerado en toda evaluación de un entorno de informática educativa.
- Estudio del *impacto* que tiene la introducción de un sistema de informática educativa sobre el curriculum, la clase, el aprendizaje obtenido por los alumnos. Los promotores de este tipo de evaluación suelen ser los diseñadores del curriculum y los profesores.
- Validación de las etapas del *proceso del desarrollo* del sistema software, que vendrán dadas por la metodología elegida. Por ejemplo, en un método basado en prototipos, es necesaria la evaluación iterativa de los mismos hasta llegar al sistema final. Esta evaluación afecta fundamentalmente a los desarrolladores del sistema, y en general, a todos los implicados en el mismo (usuarios finales, clientes, etc.).

- Valoración del *coste*, rendimiento, sostenibilidad, etc. del sistema desarrollado, con el fin de comprobar si es factible su implantación en un entorno concreto. Este tipo de evaluación afecta más a los responsables de la institución escolar.
- Realización de algún tipo de *investigación*. Muchos sistemas de informática educativa se implantan con el objetivo de investigar algún aspecto, relativo a cualquiera de los anteriormente señalados (desarrollo de sistemas software, aprendizaje, curriculum, etc.). En este caso, el objetivo de la evaluación será el apoyar la definición de una nueva teoría, el contraste de una ya existente, etc.

Además de esta diversidad de *cuestiones* que pueden ser objeto de evaluación, ésta puede ser conducida con distintos *objetivos*. En este sentido, una clasificación clásica es la que distingue entre la evaluación formativa y la evaluación sumativa.

La evaluación sumativa se realiza para determinar niveles de rendimiento. Hace referencia a un proceso que ha terminado, y sobre el que se emite una valoración terminal. El objeto de la evaluación es el producto final, y suele expresarse en forma de apreciación cuantitativa del resultado apreciado.

La evaluación formativa es la que se realiza con el propósito de favorecer la mejora de algo: de un proceso de aprendizaje de los alumnos, de una estrategia de enseñanza, de un sistema de informática educativa (ver como ejemplo de este último aspecto [VB99]). La evaluación realizada con esta finalidad debe realizarse de forma continuada durante el transcurso del *proceso*, que pasa a ser el objetivo fundamental del estudio.

La evaluación sumativa tiene como objetivo *medir* lo que ha pasado, frente a la formativa, que pretende *comprender* lo que está ocurriendo para mejorarlo. La investigación o *evaluación iluminativa* [PH85] se encuentra dentro de esta línea. Este tipo de evaluaciones se basan en métodos de investigación etnográficos, y son de carácter interpretativo, frente a los métodos experimentales tradicionales, de carácter positivista. Sobre estos términos volveremos en la sección 2.2.2.

Al hablar de “*evaluación*” en este trabajo, vamos a referirnos fundamentalmente a la evaluación del aprendizaje del alumno realizada con ayuda del propio sistema informático, y cuyo fin es el de mejorar el apoyo que la aplicación proporciona al aprendizaje del alumno. Por tanto, el tema central de estudio en este trabajo es la *evaluación formativa del aprendizaje apoyada por ordenador*.

El trabajo explicará cuáles son los presupuestos bajo los cuales se trata el problema de la evaluación del aprendizaje en los paradigmas STI y CSCL arriba mencionados y qué soluciones concretas se han aportado al mismo. Veremos las diferencias existentes entre ambos enfoques, pero también se resaltarán cual es la línea de continuidad existente entre la investigación en ambos tipos de entornos.

De forma adicional, en el caso del capítulo 4, dedicado a los sistemas CSCL se estudiarán otras implicaciones del proceso de evaluación, como las comentadas más arriba: evaluación del proceso de desarrollo de las aplicaciones, impacto de los sistemas sobre el entorno en que se aplican, etc. Como ya veremos en dicho

capítulo, este “*ensanche del foco*” se debe en parte a que en los sistemas CSCL el aprendizaje es considerado como algo complejo, integrado en un contexto, y por tanto, su estudio no puede ser separado del entorno en que está teniendo lugar.

1.3 Estructura del resto del trabajo

En este trabajo se van a presentar las teorías que más han influido en el desarrollo de aplicaciones de informática educativa, y cómo se ha intentado resolver en estos sistemas la evaluación del aprendizaje. Se presentan dos aproximaciones a dicha evaluación sobre dos de los modelos más influyentes en la investigación en informática educativa: el del STI y el del CSCL.

El capítulo 2 explica la evolución de la tecnología educativa, y cómo la evaluación del aprendizaje en estos sistemas ha sido un factor fundamental.

El capítulo 3 trata el problema del *modelo del estudiante* en los STIs, y la solución aportada en SIAL (Sistema Inteligente para el Aprendizaje de la Lógica), en el que se ha propuesto una alternativa para dicho problema, que ha sido presentada en varias conferencias internacionales [MS99], [MSM⁺00] [SMM⁺00]. En este trabajo, mi aportación ha consistido en colaborar en el diseño del sistema y encuadrar la propuesta de dicho modelo dentro de las existentes en la literatura.

El capítulo 4 se centra en el estudio de la evaluación en entornos CSCL constructivistas, que se manifiesta en la preocupación por el estudio de las interacciones del estudiante con el sistema y con resto de participantes. Este trabajo se ha desarrollado en colaboración con el grupo EMIC (Educación, Medios, Informática y Cultura) [DBB⁺00] de la Universidad de Valladolid, que ha desarrollado un marco para el desarrollo de sistemas CSCL constructivistas, denominado DELFOS (*'a Description of a Layered-based Framework Oriented to Learning Situations'*) [OD99]. El capítulo explica el papel que desempeña la evaluación en el marco, la experiencia adquirida con diversas aplicaciones tomando una de ellas como ejemplo: CECI (Cuentos Colaborativos en Inglés) [MEP⁺99]. Se presenta también una propuesta para realizar dicho análisis, que surge de la experiencia aquí explicada, y que ha sido presentada en un *workshop* específico [MOB⁺00].

Finalmente, el capítulo 5 presenta una interpretación de la evolución de la investigación en los dos paradigmas estudiados, STI y CSCL, siguiendo una propuesta presentada por Self [Sel99], y en concreto, en la relación entre el modelo del estudiante de los STI y el modelo de interacciones de los CSCL. La última parte del capítulo presenta las conclusiones y las líneas de trabajo futuro. Hay que señalar que este documento presenta un trabajo en marcha, por lo que las conclusiones no son cerradas, sino que han de ser completadas con la realización de las líneas propuestas para el futuro, que en sí mismas han resultado del trabajo previo realizado y que aquí se explica.

Capítulo 2

Teorías educativas y su implicación en la Informática Educativa

La aplicación de la informática a la educación ha experimentado una evolución constante en las últimas décadas. Entre otras razones, motivada por cambios en los dos campos de los que bebe (tecnología y educación). El propio sector ha ido evolucionando a partir de la reflexión sobre la propia actividad, desarrollada en conferencias sobre el tema y revistas especializadas.

Como ya se ha comentado, la evaluación de estos sistemas, y más en concreto, la del aprendizaje promovido por los mismos, depende fundamentalmente de la teoría pedagógica subyacente. En este capítulo se va a hacer una revisión de las teorías de aprendizaje con más influencia en el desarrollo de sistemas de software educativo. Dichas teorías definen su propia visión de cómo este aprendizaje se produce, y por tanto, de cómo ha de ser estudiado.

Hacer una clasificación de teorías educativas y de su reflejo en entornos computacionales no es una tarea fácil, debido a que los enfoques nunca son totalmente puros. Sin embargo, existen múltiples propuestas, dentro de las cuales vamos a destacar la presentada por Koschmann [Kos96] y la más reciente de Andriessen y Sandberg [AS99].

Koschmann considera cuatro *paradigmas* en el desarrollo de sistemas educativos apoyados por ordenador. Un nuevo paradigma supone la aparición de un conjunto de temas, herramientas, metodologías y premisas, con los que los investigadores se enfrentan a lo que antes se había considerado un problema intratable. Los paradigmas propuestos por son: *Enseñanza Asistida por Ordenador*, *Sistemas Tutores Inteligentes*, *Logo as Latin*, y *Aprendizaje Colaborativo Asistido por Ordenador*. Sobre ellos volveremos en la próxima sección.

Dentro de la comunidad de la Inteligencia Artificial Aplicada a la Educación (AIED), Andriessen y Sandberg han definido más recientemente tres *escenarios*, que representan las principales corrientes de investigación en este campo, y las principales posturas pedagógicas existentes en la actualidad. Estos tres escenarios son: *transmisión*, *estudio*, y *negociación*, y también serán explicados en la próxima sección.

Otra posibilidad de clasificación es la que parte de una revisión de las principales teorías sobre el aprendizaje y ver cómo se relacionan con los enfoques arriba propuestos y en general, con la investigación sobre los sistemas educativos asistidos por ordenador. Este es el enfoque seguido en [DBBO95], y [Osu00], y el que vamos a seguir en la próxima sección, ya que consideramos que puede ayudar a aclarar ciertos conceptos cada vez más utilizados en la literatura,

procedentes de la tradición de las ciencias de la educación, y que por tanto, son lejanos a los tecnólogos.

El objetivo de esta sección es proporcionar una visión general que permita encuadrar las cuestiones que se presentan en los siguientes capítulos y entender los diferentes enfoques adoptados en cada uno de ellos. Se presenta la evolución de teorías educativas y su influencia en el desarrollo de software educativo. A continuación, se comentan los *métodos de investigación* utilizados en cada uno de los enfoques, para terminar con una breve introducción de algunos métodos de investigación de especial relevancia en este trabajo.

2.1 Evolución del diseño de sistemas de software educativo

La construcción de sistemas para el aprendizaje basados en el ordenador se ha visto irremediablemente influida, no siempre de forma consciente, por los presupuestos pedagógicos con los que dichos sistemas han sido construidos. Es necesaria pues, una revisión de las teorías sobre el aprendizaje, a la vez que se comentan los sistemas o cuestiones a los que han dado lugar en el ámbito de la tecnología educativa.

Antes de presentar dichas teorías, es necesario hacer una distinción entre dos perspectivas sobre el aprendizaje, el *instructivismo* y el *constructivismo* [JPW99, p.7], que se basan en concepciones distintas del conocimiento, y por tanto, de cómo este puede ser adquirido.

Para el enfoque **instructivista**, también conocido como tradicional, el conocimiento es algo objetivo, externo al sujeto, que se puede transmitir. La enseñanza es un proceso basado en la clase magistral y controlado por el profesor. El contexto del aprendizaje no se tiene en cuenta.

En el enfoque **constructivista**, el conocimiento es interno, construido por cada persona a partir de sus esquemas previos y de su interacción con el contexto físico y social en el que se encuentra. El aprendizaje consiste en la construcción de dicho conocimiento a partir de la interpretación del mundo que hace el aprendiz. El objetivo de la enseñanza consiste en proporcionar medios para que el estudiante construya su propio conocimiento, a través de procesos como la reflexión sobre sus experiencias y de la articulación de dicho conocimiento.

Estas dos perspectivas configuran la definición de un entorno educativo y suponen a nuestro juicio la distinción fundamental a la hora de enfrentarnos al mismo. Estas perspectivas influyen también en la definición de las diversas teorías sobre el aprendizaje que vamos a presentar a continuación.

El mismo concepto de aprendizaje depende mucho de la perspectiva con que se estudie, pero siguiendo a Driscoll, podemos decir que el aprendizaje *es un cambio persistente en la actuación o posibilidad de actuación humanas. Este cambio en la actuación debe ser resultado de las interacciones del aprendiz con el entorno* [Dri94, p.9]. A partir de este concepto de aprendizaje, una teoría de aprendizaje *comprende un conjunto de “constructos” que enlazan los cambios observados en la actuación con lo que se piensa que fomentan dichos cambios.*

Los constructos hacen referencia a los conceptos que los teóricos proponen para identificar las variables psicológicas, por ejemplo, la memoria, la atención, etc. Los componentes básicos de una teoría de aprendizaje son: los *los resultados*: qué es lo que denominamos cambios de actuación en cada teoría; los *medios*: los procesos por los que se consiguen los resultados del aprendizaje; y las *entradas*: los recursos o experiencias que constituyen la base del aprendizaje. La respuesta a estas preguntas caracteriza las distintas perspectivas y teorías, que vamos a explicar a continuación.

Existen dos familias de teorías, *conductismo* y *cognitivismo*, que parten de presupuestos muy diferentes, y que vamos a distinguir antes de explicar las teorías más influyentes dentro de cada rama.

En términos generales, la distinción entre conductismo y cognitivismo consiste en que el primero considera al aprendiz como una caja negra, no intenta estudiar los procesos cognitivos internos del individuo, al contrario que el cognitivismo, que intenta explicar el comportamiento humano en términos de sus variables cognitivas internas.

Dentro de cada corriente se han propuesto muchas teorías, de las cuales vamos a destacar aquí las que más influencia han tenido en el desarrollo de software educativo.

2.1.1 Conductismo radical

El mayor representante de esta corriente es Skinner. Para Skinner el aprendizaje es *un cambio observable y permanente de la conducta*, y la enseñanza es *la disposición de contingencias de reforzamiento que permiten acelerar el aprendizaje* [Gal92]. En el conductismo, una materia compleja puede subdividirse en componentes más pequeños. El aprendiz puede ir aprendiendo progresivamente estos componentes, gracias a los refuerzos o la ausencia de ellos, que va recibiendo a medida que responde a las preguntas que se le van haciendo acerca de los mismos.

El conductismo ha influido en entornos que varían desde la terapia clínica a la práctica escolar habitual, en la que sigue siendo la visión preponderante. La principal crítica hacia el conductismo es su consideración de la mente como caja negra, con la que es imposible explicar los procesos internos que llevan al aprendizaje. Por ello, no es capaz de explicar ciertos tipos de comportamiento, como la adquisición del lenguaje, o las motivaciones intrínsecas para el aprendizaje. Precisamente, el enfoque cognitivo surge como respuesta a estas limitaciones.

El enfoque conductista se encuentra bajo el paradigma de la **enseñanza asistida por ordenador (EAO)** en la taxonomía sugerida por Koschmann. En estos sistemas es típica la presentación de unos contenidos al alumno, acompañados de pruebas que éste tiene que ir superando para avanzar a niveles superiores. Su enfoque es claramente instructivista, basado en el método del *drill and practice* (ejercicio y práctica).

A pesar de la aparición de múltiples teorías posteriores al conductismo, este enfoque y este tipo de sistemas siguen dominando la práctica escolar, por lo que la investigación sobre sus efectos sigue siendo un tema importante.

2.1.2 Enfoques cognitivos

Todos los enfoques que aparecen como respuesta al conductismo se basan en presupuestos cognitivos.

La ciencia cognitiva es según Pylyshyn [Pyl88] *un término que sirve para amparar a varias ciencias distintas, todas las cuales intentan comprender el funcionamiento de la mente*. Se trata pues, de una corriente general, dentro de la que se han propuesto distintas teorías, de las cuales destacamos las más importantes, basándonos en las clasificaciones propuestas por [Dri94] y [DBBO95].

Teoría del Procesamiento de la información Este paradigma se basa en la suposición de que la cognición se asemeja a un proceso computacional que puede ser estudiada a través de la construcción de sistemas “inteligentes”. Estos sistemas sirven como modelos funcionales de procesos de la mente humana, de otro modo inaccesibles. Es la base de lo que Koschmann denomina paradigma del **Sistema Tutor Inteligente (STI)**. Desde este enfoque, el aprendizaje humano es un procesador de información parecido a un ordenador. En el aprendizaje, la información es la *entrada (input)* del proceso, procesada y guardada en la memoria y la *salida (output)* adquiere la forma de alguna capacidad aprendida.

Los STIs surgen como una herramienta de laboratorio, cuyo objetivo es el estudio de la cognición humana, emulando a verdaderos profesores humanos. La investigación sobre STIs utiliza fundamentalmente técnicas procedentes de la Inteligencia Artificial, y su preocupación principal es la competencia instructiva de los tutores, es decir, ¿emula fielmente la aplicación el comportamiento de un tutor humano?

Aunque tanto los sistemas de EAO como los STIs se basan en teorías distintas del aprendizaje, ambos asumen un modelo de transmisión para la tarea educativa. Sin embargo, el objetivo de los STIs se ha enfocado más hacia la adquisición de conocimiento procedural para la resolución de problemas complejos pero también definidos formalmente, como el álgebra, la programación, o la lógica.

La investigación sobre tutores inteligentes ha superado su origen “de laboratorio”, aplicándose en entornos reales con éxito [Bol00]. Los estudios sobre estos sistemas han relajado el requisito de emular fielmente a los tutores humanos, girando hacia otras preocupaciones, como estudios sobre el impacto educativo, cuestiones propias de la ingeniería del software, etc. [ACKP95]. Como señala Self [Sel99] una preocupación que sí se ha mantenido es la de la adaptación del sistema al estudiante, basada en lo que en el campo de los STIs se denomina *modelo del estudiante*. En el capítulo 3 se explica como se ha abordado este problema en el diseño de un sistema para el aprendizaje de la lógica.

Conflicto cognitivo y conflicto socio-cognitivo Estos conceptos se basan en la teorías de Piaget. Según Piaget, el conocimiento se trata de una construcción individual que emana de la interacción del sujeto con su medio físico

[FM95, p.8]. El mecanismo que da lugar al aprendizaje es el *conflicto cognitivo*, que se produce al poner al aprendiz en situaciones donde dicho conflicto tiene lugar.

La influencia de Piaget ha sido enorme. En el ámbito de la informática educativa, un seguidor suyo, Papert, propuso la aplicación del lenguaje Logo como medio para fomentar la adquisición de habilidades metacognitivas (aprender a aprender) en los niños. Este es el paradigma que Koschmann define como **Logo as latin** (Logo como latín), puesto que centra en el aprendizaje del lenguaje logo el método para adquirir otro tipo de conocimiento.

Koschmann incluye dentro de este paradigma el desarrollo de sistemas basados en el constructivismo, en los que se busca el desarrollo de propiedades metacognitivas del aprendiz, que luego han de ser transferidas a otro tipo de situaciones. Este enfoque se encuentra en línea con un tipo de sistemas que se han hecho muy populares, que pretenden promover el desarrollo de habilidades cognitivas utilizando el ordenador como herramienta de modelado, fomentando la reflexión sobre lo aprendido, etc [JPW99]. El *escenario del estudio* de Andriessen se encuadra dentro de este tipo de sistemas. En ellos, el estudiante es responsable de su propio aprendizaje, ayudado por múltiples medios, proporcionados en parte por un entorno tecnológico flexible, con acceso a simulaciones, bases de datos, entornos web, etc. La preocupación pedagógica fundamental es también el desarrollo de habilidades metacognitivas.

El término *conflicto socio-cognitivo* es introducido con algunos seguidores de Piaget, conocidos como neo-piagetianos, como Mugny, Doise, y Perret-Clermont. Su enfoque es conocido como socio-constructivismo. Estos autores observaron cómo el desarrollo cognitivo se ve influido también por las interacciones sociales con otros individuos. Estudiaron los efectos del trabajo en grupo, y vieron que no siempre los resultados eran los mismos, lo que les condujo a estudiar los mecanismos de interacción que sí producían progreso [FM95, p.19].

Estos dos enfoques, el conflicto cognitivo y el socio-cognitivo tienen en común su visión del conocimiento como una propiedad individual, en la que influyen las interacciones con el contexto físico (Piaget) y social (neo-piagetianos). Por tanto, los estudios llevados a cabo por ellos se basan en la realización de pre-tests y post-tests individuales, mientras que los procesos de interacción entre ambos momentos no son estudiados directamente.

La teoría socio-cultural Un autor muy influyente en el desarrollo del aprendizaje colaborativo ha sido Vygotsky. Él fue el primero en señalar la importancia de estudiar la interacción en sí misma. La cognición era el resultado de internalizar las interacciones sociales producidas fundamentalmente a través del discurso. De esta forma, las interacciones en el grupo pasan a ser objeto de estudio, al contrario que los enfoques cognitivos anteriores. Muchos sistemas de software colaborativo se han desarrollado basándose en las teorías formuladas por Vygotsky, por ejemplo [BBP00], en el que se propone un sistema denominado Clarissa, en el que la colaboración se emula con el diálogo

entre agentes. [DBBO95] propone también algunos ejemplos.

Cognición situada y cognición distribuida Esta teoría surge de varias corrientes, procedentes de la psicología, de la ciencia cognitiva y de la antropología. El conocimiento es visto como algo global, construido por comunidades de personas, influidos por el contexto social en el que se encuentran [Lit99, p. 182].

Relacionada con esta corriente se puede situar la Teoría de la Acción *Activity Theory (AT)*, que estudia la actividad humana dentro de un contexto físico y social, mediado por los recursos que posee. La AT puede constituir un marco apropiado en el diseño instruccional para valorar las tareas dentro de los contextos en que éstas ocurren [RM99]. Esta teoría ya ha sido utilizada como base para el diseño de entornos educativos colaborativos, como DEGREE [BV00], o CSILE [SB96], un clásico entre los sistemas de CSCL. CSILE se basa en la construcción de *comunidades de construcción de conocimiento*, que pretenden emular, dentro del ámbito educativo, a las comunidades de intercambio de saber científico y profesional.

El escenario de la *argumentación* propuesto por [AS99] corresponde a este enfoque. Según estos autores, este escenario es apropiado en dominios donde no existe un único punto de vista, muy frecuentes en las ciencias sociales. El objetivo del aprendizaje es adquirir la capacidad de comprender y participar en las discusiones de *comunidades de práctica*, es decir, grupos de profesionales que se comunican y actúan de una forma concreta.

El **paradigma CSCL** *Computer Supported Collaborative Learning* o Aprendizaje Colaborativo Asistido por Ordenador, definido por Koschmann se relaciona con el enfoque socio-constructivista, el socio-cultural y el de la cognición distribuida arriba presentados. En general, el modelo de enseñanza subyacente en este paradigma es denominado *aprendizaje colaborativo*. Como el mismo Koschmann reconoce, es difícil dar una definición de este término, debido precisamente a la variedad de teorías que lo utilizan. En el capítulo 4 se volverá sobre él.

El CSCL incluye el uso de redes de ordenadores tanto en entornos de aprendizaje a distancia como en entornos presenciales, en los que un grupo de alumnos utiliza el entorno en el aula, con presencia física de los compañeros. Esto tiene dos consecuencias importantes: por un lado, el uso de estos sistemas está íntimamente relacionado con los procesos diarios de trabajo en el aula [Cro98], y por otro lado, la colaboración se establece ante y a través del ordenador, por lo que el estudio de la misma debe considerar ambos niveles.

Esta sección se ha concentrado en presentar las relaciones existentes entre teorías de aprendizaje y los distintos paradigmas de tecnología educativa presentados. Las teorías de aprendizaje no influyen solamente en los tipos de sistemas desarrollados, sino también en el tipo de investigación que se pretende realizar con ellos, y los métodos utilizados para dicha investigación. La próxima sección desarrolla estas ideas.

2.2 Evolución de la investigación en tecnología educativa

El término “*paradigma*” adoptado por Koschmann para describir los enfoques arriba presentados conlleva la existencia de un conjunto de cuestiones de investigación y de métodos para responderlas distintas para cada uno de ellos, que son tratadas en el primer punto de esta sección. En el segundo punto se trata el problema de la evaluación en entornos educativos, considerada como una forma de investigación con fines prácticos.

2.2.1 Cuestiones planteadas en cada paradigma

Cada uno de los paradigmas presentados en la sección anterior se ha venido planteando diferentes cuestiones, y las ha respondido utilizando perspectivas metodológicas diferentes, producto de la visión sobre el conocimiento y el aprendizaje que subyace en cada uno de ellos.

Los paradigmas EAO y STI, que parten de una concepción instructivista sobre el aprendizaje, adoptan preguntas y métodos basados en esta visión. La diferencia entre ambos consiste en el conocimiento que se pretende transmitir en cada uno de los paradigmas, más complejo en el caso de los STIs. Por ello, la principal preocupación de los investigadores en el paradigma STI era la fidelidad a la hora de representar el conocimiento en los sistemas. Es necesario señalar, sin embargo, que poco a poco el paradigma ha ido ampliando su perspectiva, y ha estudiado otras cuestiones, como la eficacia pedagógica de los sistemas, el impacto de la interacción con el usuario, etc. [ACKP95].

Las teorías basadas en el constructivismo tienen como eje común el estudio de la interacción del aprendiz con el entorno [DBBO95], [LL99], pero con distintas visiones. Brevemente, se pueden ver dos enfoques: uno basado en la tradición de psicología evolutiva (Piaget, neo-piagetianos) y del enfoque sociocultural de Vygotsky, procedentes de la psicología, en que se estudia cómo el trabajo en grupo influye sobre la cognición individual; y otro, basado en las teorías situacionales, que considera que el aprendizaje se desarrolla en un contexto social. Para este último, el objetivo de estudio es el grupo en sí, y las interacciones que se establecen en dicho grupo.

Esta variedad de cuestiones a las que se enfrentan los distintos paradigmas podrá ser observada en los próximos capítulos. En concreto, veremos cómo en el STI, que se presenta en el capítulo 3, el problema de la representación del conocimiento necesario para diagnosticar los errores de los alumnos es el que centró mayores esfuerzos; y cómo la preocupación por el análisis de interacciones en entornos CSCL está presente en la propuesta presentada en el capítulo 4.

2.2.2 Metodologías de evaluación educativa

La evaluación es una forma de investigación educativa que persigue *fines prácticos*, frente a otras formas de investigación que buscan la elaboración o contraste de teorías. Estos fines prácticos son más amplios que los tradicionales que la reducen a la mera calificación de los avances de los alumnos, y suponen concebir

la evaluación como *el instrumento de investigación que poseen profesores, alumnos y todos los implicados en el sistema escolar para analizar el funcionamiento del mismo* [GP85, p.11]. Los sujetos no son sólo los profesores, y el objeto de la misma concierne a todo el sistema escolar, incluida la actividad del propio profesor.

Dado que la evaluación es una forma de investigación educativa, sus métodos son los mismos. Vamos a revisarlos a continuación. A grandes rasgos, se diferencian dos enfoques de metodología de investigación educativa: positivista e interpretativo ¹ [LdA96].

El primero, también denominado *cuantitativo, empírico-analítico, o racionalista*, considera el conocimiento como algo objetivo y factual, independiente del contexto y de quien lo estudia. Su objetivo es explicar, predecir y controlar los fenómenos del mundo natural.

El segundo, también denominado *cualitativo, fenomenológico, naturalista, humanista o etnográfico*, considera que la realidad como algo dinámico, que depende del sujeto que la esté observando. Los fines perseguidos por este enfoque son la comprensión de dicha realidad, concentrándose en lo que es único y particular de cada sujeto, y no pretende generalizar puesto que no cree en la existencia de leyes universales.

De lo dicho se desprende que el positivismo es apropiado para los métodos de evaluación propuestos en los entornos intructivistas, como los procedentes del paradigma EAO y STI. En ellos, la evaluación es o pretende ser objetiva, el método seguido para realizarla es el hipotético-deductivo, que requiere un tratamiento estadístico de los datos, y por tanto, la cuantificación de las observaciones. La evaluación se basa en el producto o resultado del aprendizaje, sin tener en cuenta las cuestiones que van apareciendo a lo largo del mismo, muchas veces imprevisibles [GP85, pp.426-428].

El enfoque interpretativo es más apropiado para las teorías constructivistas del aprendizaje. En estos, la evaluación es holística, tiene en cuenta el contexto; está orientada al proceso, considerando la evolución del comportamiento de los participantes a lo largo del tiempo; las propiedades cognitivas de los alumnos son muy importantes, ya que configuran la forma en que estos construyen el nuevo conocimiento; por último, la evaluación se basa en las *acciones* que establece el aprendiz con el entorno, tanto físico como social [AS00]. Como señala [LdA96, p. 200], en las metodologías cualitativas el análisis de datos es inductivo: las categorías y patrones emergentes se construyen sobre la base de la información obtenida.

Los métodos cualitativos no excluyen la utilización de medidas cuantitativas como apoyo en el proceso global [RGG99, p.216]. En realidad, en la práctica, las dos corrientes se entremezclan constantemente. Por ejemplo, dentro del dominio

¹ En realidad, se suele distinguir un enfoque adicional, denominado *crítico*, que se asemeja conceptual y metodológicamente al interpretativo, diferenciándose sólo en los fines de ambos. Para los objetivos de este trabajo, se pueden considerar como una única corriente

del CSCL nos encontramos con varios estudios que han seguido esta aproximación, como el trabajo de Barros y Verdejo [BV00].

A la hora de diseñar el método de investigación, algunos investigadores optan por un enfoque pragmático, o emergente, en el que el investigador es responsable de decidir en cada momento qué tipo de medida utilizar, de acuerdo con su propia experiencia [NC99], [Kyn99]. Otros autores, como [MW99] abogan por la elaboración de una teoría que englobe ambos tipos de enfoques.

En los capítulos dedicados a explicar la experiencia con sistemas STI (capítulo 3) y CSCL (capítulo 4), se podrá comprobar cómo, en el caso del sistema STI la evaluación del aprendizaje en sí no recibe atención, mientras que en los sistemas CSCL sí aparece la preocupación por la evaluación formativa del aprendizaje. La ausencia de referencias directas en el caso del sistema ITS se debe a que en ellos, una vez se ha resuelto el problema del modelado del conocimiento del estudiante, la evaluación consiste sencillamente en establecer cuantos ejercicios ha resuelto correcta o incorrectamente. Lo que realmente centraliza el trabajo en los sistemas STI es la comprobación de la bondad del modelo del estudiante realizado por el sistema, y a este problema es al que se dedicaron los principales esfuerzos.

2.3 Otros métodos de interés en este trabajo

A continuación se explican brevemente dos métodos de especial interés para el presente trabajo, y que hemos considerado necesario introducir para una mejor comprensión de los mismos. Se trata de los métodos de investigación etnográfica, que se están popularizando en el ámbito educativo, y el *análisis de redes sociales*, que supone una perspectiva interesante para el estudio de las relaciones que se establecen en grupos sociales, y al que nos volveremos a referir en el capítulo 4.

Investigación etnográfica. Una de las formas de investigación cualitativa más utilizadas es la *etnografía*. Esta técnica surge en la antropología como medio para describir el comportamiento de grupos sociales en profundidad. La *etnografía educativa ofrece un estilo de investigación alternativo para describir, explicar e interpretar los fenómenos educativos que tienen lugar en el contexto de la escuela* [LdA96, p.226]. Una de las características de este enfoque es que se basa en todo tipo de materiales recogidos sobre el campo de estudio. Es en este punto donde la capacidad de almacenamiento y procesamiento de los ordenadores puede suponer una ayuda [LL99], y esto plantea el posible interés que el estudio del apoyo del ordenador a las prácticas de evaluación etnográfica pueda tener.

Análisis de Redes Sociales. El Análisis de Redes Sociales o *Social Network Analysis* [Sco00], [WF94], (SNA a partir de ahora) constituye una alternativa a los métodos estadísticos tradicionales para el estudio de las relaciones establecidas en grupos sociales. En el dominio del CSCL, ha sido utilizado para el análisis de entornos CMC (*Computer Mediated Communication*) [NLP99], [Wor99].

SNA define una serie de conceptos formalmente, a partir de los cuales se pueden desarrollar modelos evaluables. Entre estos conceptos se encuentran:

- Actor. Son unidades sociales discretas, bien individuales, corporativas, o colectivas. El uso del término “actor” en SNA no implica el hecho de que estas unidades tengan voluntad o capacidad de actuar.
- Enlace. Los actores están enlazados unos a otros a través de enlaces sociales.
- Díada. Consiste en un par de actores y los enlaces (posibles) entre ellos. Los análisis diádicos se centran en las propiedades de las relaciones entre pares, tales como estudiar la reciprocidad de los enlaces, o si formas específicas de relaciones múltiples tienden a aparecer estructuradas de dos en dos.
- Tríos. Un subconjunto de tres actores y los enlaces entre ellos. Cuestiones que se estudian especialmente en el caso de los tríos son si las redes son balanceadas y si son transitivas.
- Subgrupos. Un subgrupo de actores es un subconjunto de actores y todos los enlaces entre ellos. La localización y el estudio de subgrupos utilizando determinados criterios ha sido una preocupación clásica dentro del SNA.
- Grupos. Un grupo consiste en un conjunto finito de actores que por razones conceptuales, empíricas o teóricas son tratados como un conjunto finito de individuos sobre los que se realizan medidas de red.
- Relaciones. Son las colecciones de enlaces entre miembros de un grupo. Hay que diferenciar entre *enlace* (entre dos actores) y *relación* que es el conjunto de los enlaces de un grupo.
- Red Social. Consiste en un conjunto finito de actores y la relación o relaciones definidas entre ellos.
- Modo. Número de conjuntos considerado en una red social.

El SNA define dos clases de redes: redes de un modo, en las que todos los actores pertenecen a un conjunto, como por ejemplo, los estudiantes de una clase; y redes bimodales, (*2-mode networks*), en las que tenemos dos conjuntos de actores, como, por ejemplo estudiantes y profesores. Una clase especial de redes bimodales son las *redes de afiliación*. En ellas que se miden, no las relaciones entre un grupo de actores, sino la asistencia de dichos actores a determinados eventos, como la asistencia de un conjunto de trabajadores a las reuniones de la empresa.

Los métodos para el uso de redes bimodales no están tan desarrollados como los utilizados en redes monomodales. Una red bimodal se puede transformar en otra de un modo, por medio de operaciones algebraicas, o ser estudiada directamente mediante técnicas específicas, como el *análisis de correspondencia* [BE00].

Todos estos conceptos son utilizados en el capítulo 4 como parte de la propuesta que se presenta en el mismo.

2.4 Resumen

En este capítulo se ha ofrecido una visión general de la evolución de la investigación en informática educativa, resaltando la influencia que sobre dicha evolución han tenido las diversas teorías sobre el aprendizaje.

Se ha visto cómo la adopción de uno u otro paradigma lleva a los investigadores a plantearse distintos objetivos y preguntas de investigación y a utilizar enfoques metodológicos diferentes para abordar la evaluación, desde el positivismo al enfoque interpretativo.

Aunque en la práctica muchas cuestiones no son tan puras, y aparecen entremezcladas en los diseños reales, creemos que es necesario tener en cuenta todo lo dicho en este capítulo, a la hora de conducir una investigación coherente sobre el tema, que tenga en cuenta cuáles son los presupuestos en los que se basa cada tipo de sistema, y qué preguntas es lícito plantearse desde los mismos.

Con este capítulo se ha pretendido dar una visión amplia de las principales manifestaciones de la informática educativa, con el objetivo de que el lector pueda situar los dos estudios que se presentan a continuación dentro de este marco general. El capítulo 3 se concentra en el área de los STIs, y el 4 en los sistemas CSCL. En ambos capítulos, el trabajo presentado se encuadra dentro de la evaluación del aprendizaje en cada uno de los dos tipos de sistemas.

Capítulo 3

Una propuesta de modelo del estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes

Como ya se ha explicado en el capítulo 2, los Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) constituyen uno de los paradigmas más representativos de la aplicación de la informática a la educación.

Tras su aparición como herramienta de laboratorio en los años 70, como parte de diversos estudios que intentaban emular la cognición humana, los STIs han ido extendiendo su campo, y han sido aplicados en entornos educativos reales. Esta evolución ha sido liderada por el equipo de John Anderson en la CMU [ACKP95].

Siguiendo a Murray [Mur99], podemos definir los sistemas tutores inteligentes pueden ser definidos como sistemas instruccionales basados en ordenador, con modelos del contenido que especifican qué enseñar (*modelo del experto*) y *estrategias pedagógicas* que especifican cómo enseñar. Esta capacidad para modelar el conocimiento permite al sistema establecer interacciones detalladas con el aprendiz, basadas en el modelo que tiene el sistema acerca del conocimiento que posee el estudiante, o (*modelo del estudiante*).

[Sel99] considera el *modelo del estudiante* como el componente del sistema que le permite “hacerse cargo” del alumno, cumpliendo el objetivo de personalizar el aprendizaje, lo que constituye una de las razones del éxito alcanzado por los STIs como paradigma de investigación en informática educativa [AS99]. Sin embargo, la tarea de modelar el estudiante no es simple, y desde la aparición de los STIs, se han ido sucediendo propuestas para ello, en lo que constituye una preocupación constante en la investigación dentro de este paradigma. Las soluciones aportadas restringen de una u otra manera las variables a tener en cuenta a la hora de realizar el modelado.

En el capítulo 2 se caracterizaron como instructivistas los sistemas desarrollados bajo el paradigma STI. Esto es cierto en líneas generales, pero como también se comenta en dicho capítulo, el sector ha ido experimentando una evolución, afectada por las nuevas teorías pedagógicas constructivistas y por la propia investigación dentro del paradigma. Por ello, es posible encontrar STIs más flexibles en sus estrategias pedagógicas, que plantean nuevos problemas a la hora de realizar el modelado del estudiante.

En este capítulo se presenta la propuesta para el modelado del estudiante realizada dentro del proyecto SIAL (Sistema Inteligente para el Aprendizaje de la Lógica). Como veremos a continuación, el sistema desarrollado implementa varias formas de interacción con el estudiante, por lo que su estrategia pedagógica

está en línea con la tendencia hacia una mayor flexibilización mencionada en el párrafo anterior.

A modo de introducción en el área, el capítulo comienza con una descripción general de los componentes típicos de un sistema tutor inteligente, y de las propuestas de modelado del estudiante que más han influido en nuestro trabajo. A continuación se presenta la solución aportada en SIAL, explicando los distintos modos de interacción definidos, y cómo se ha planteado el modelado del estudiante en cada uno de ellos. Finalmente, se aportan algunas conclusiones que ayudarán a enlazar el contenido de este capítulo con el siguiente.

3.1 Arquitectura de los sistemas tutores inteligentes

No existe una única arquitectura para el desarrollo de STIs, pero sí un cierto consenso sobre cuales podrían ser los componentes básicos de una partición funcional de estos sistemas: el *modelo del experto*, el *modelo del estudiante o del aprendiz*, y el *modelo o estrategia pedagógica*.

Recientemente, junto a estos elementos, indiscutibles, se ha ido dando más importancia a la *interfaz* con el estudiante, que ha pasado también a ser un elemento central a considerar en el diseño de un STI.

Vamos a revisar cada uno de estos elementos por partes:

Modelo del experto. También denominado *modelo ideal del estudiante*, es el componente que modela el conocimiento del dominio que se quiere que el estudiante aprenda. Una técnica utilizada habitualmente para realizar este modelo es el de las reglas de producción [ACKP95] que permiten ejecutar el conocimiento paralelamente al del estudiante cuando éste está resolviendo un problema.

Junto con el modelo del experto se pueden modelar reglas falsas, o *mal-rules* que representan errores o fallos conceptuales típicos del dominio, y que forman el catálogo de errores.

Un enfoque que intenta reducir el coste de construir un modelo del experto basado en reglas de producción y catálogos de errores, es el basado en restricciones (*constraint based models*) [MO99]. en el que el dominio se representa en forma de restricciones que han de ser cumplidas al resolver problemas.

Modelo del estudiante. Es la imagen (modelo) que tiene el sistema del conocimiento que posee el estudiante, y que es construido a partir de las interacciones de este con el sistema. Las implementaciones del modelo del estudiante dependen de la solución escogida para modelar el conocimiento, y su construcción suele estar apoyada en algún método de diagnóstico que permita detectar las causas de un determinado error cometido por el estudiante. Sobre este problema volveremos más adelante.

Modelo o estrategia pedagógica. Indica cómo se comporta el sistema ante la actuación del estudiante. Existen muchas decisiones a tomar en este módulo: si se avisa inmediatamente o no en caso de error, si se informa de la solución correcta al estudiante o sólo se da una pista, qué tipo de ejercicios

se escogen en cada momento (e incluso si es el sistema o el estudiante el que escoge dichos ejercicios), etc.

Interfaz de usuario. Es el componente del sistema que administra la interacción entre el tutor y el estudiante. Es una pieza básica, ya que la consecución de los fines pedagógicos del programa depende en gran medida de la forma en que se establezca la interacción (el estudiante tiene que percibirla como algo agradable). Por otro lado, el modelo del estudiante se construye a partir de estas interacciones, con lo que interfaz y modelo del estudiante pueden estar muy ligadas.

El enfoque instructivista que, como se explicó en el capítulo 2, domina el paradigma STI, está por debajo de las definiciones arriba presentadas. El modelo del experto modela un *conocimiento bien definido* que el estudiante tiene que adquirir, a base de hacer ejercicios. El sistema debe *guiar* al estudiante para que realice los ejercicios que mejor ayuden a adquirir los conocimientos que se desee, y por ello, la estrategia pedagógica se basa fundamentalmente en cómo elegir dichos ejercicios.

Otra característica ya señalada de los STIs es su orientación hacia conocimientos complejos de tipo procedural formalmente definido, como la manipulación abstracta de expresiones de álgebra y el aprendizaje de lenguajes de programación.

Como ya hemos apuntado, algunas de las características típicas de los STIs se han ido modificando, lo que ha producido sistemas más cercanos a otros enfoques pedagógicos. En concreto, las estrategias pedagógicas han ido flexibilizándose, dando lugar a entornos que favorecen el control del aprendiz sobre su propio aprendizaje.

SIAL es un ejemplo de este tipo de sistemas, desarrollado para el aprendizaje de un dominio formal, la lógica de primer orden [CL73], pero que ofrece distintas posibilidades de interacción entre el estudiante y el sistema tutor.

3.2 SIAL: Un sistema tutor para el aprendizaje de la lógica

SIAL es un sistema desarrollado para el aprendizaje de la lógica computacional, dirigido a estudiantes de los dos ciclos de los estudios de Informática de la Universidad de Valladolid.

El trabajo surge de la experiencia con un sistema previo, denominado SLI (Sistema Lógico Inferente), un demostrador de teoremas de cálculo de proposiciones y de predicados. En él, el estudiante introduce los axiomas y el teorema a demostrar negado, y el sistema presenta el árbol de resolución si éste existe y lo puede encontrar. El estudiante puede observar las sustituciones realizadas para la resolución del problema. Aunque no fue diseñado con propósitos pedagógicos, SLI fue utilizado en los laboratorios de Inteligencia Artificial durante los cursos 97/98 y 98/99. Los principales beneficios de esta experiencia fueron el aumento de la participación del estudiante en su proceso de aprendizaje, que incrementó

el interés y la motivación por la asignatura, y un mejor entendimiento de los conceptos presentados [SMM98].

La experiencia con SLI hizo surgir un nuevo proyecto, bajo el que se desarrolló SIAL. Este sistema ha sido presentado en varias conferencias [MS99], [MSM⁺00], [SMM⁺00]. En este capítulo nos vamos a centrar en el problema del modelado del estudiante, y de cómo el modo de interacción con el usuario influyó en dicho modelado.

3.2.1 Descripción general de SIAL

Los objetivos que se buscaban con SIAL eran los siguientes:

- Mejorar el aprendizaje por medio de una aplicación software que facilitase la asimilación de conceptos abstractos y habilidades de resolución de problemas de lógica.
- Desarrollar una aplicación disponible para los estudiantes en el laboratorio que permitiese el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes por parte del profesor.

El sistema fue desarrollado para ser aplicado en las tres asignaturas de Inteligencia Artificial de los estudios de Informática impartidos por nuestro departamento. Con el objetivo de adaptar el sistema a las diferentes necesidades de los alumnos de estos tres cursos, SIAL implementa un amplio rango de ejercicios, clasificados en doce niveles. Estos comprenden desde los más sencillos, como clausulación de fórmulas bien formadas, a los más complejos, como regla de hiperresolución, etc.

SIAL implementa tres formas de interacción con el estudiante:

- **Fuertemente guiado o modo tutorizado**, para los seis primeros niveles, dirigido a los principiantes. Los ejercicios son resueltos paso a paso, y los errores son detectados inmediatamente.
- **Débilmente guiado o modo libre**, para los niveles 7 al 12. En este modo, el estudiante puede presentar la solución final al sistema, sin pasos intermedios.
- **Modo automático o controlado por el estudiante**. En este modo, el estudiante propone un problema y puede comprobar la solución al mismo, por medio de un resolutor automático.

Todo el sistema se basa en la idea de la descomposición del conocimiento presentada en [CA95]. Los ejercicios que componen los seis primeros niveles ayudan a practicar con las habilidades necesarias para resolver los de mayor dificultad. Una vez que el estudiante ha superado estos niveles, no es necesario apoyarlo paso a paso en la solución de los problemas más sencillos, al contrario, este tipo de interacción puede suponer una carga para el alumno experimentado. Por ello, los niveles superiores se ejecutan en modo débilmente guiado, con mayor flexibilidad para el alumno.

La arquitectura del sistema, que se puede ver en la figura 3.1, está compuesta de los siguientes módulos:

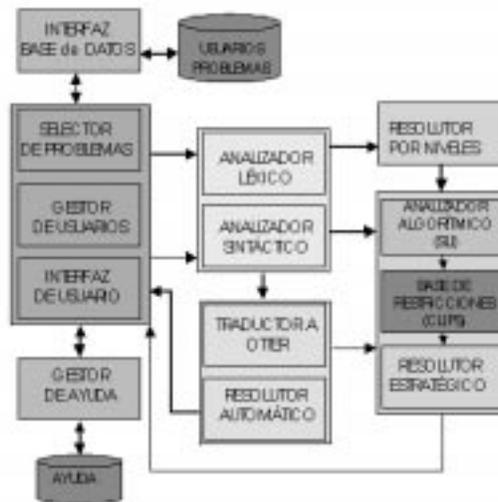


Figura 3.1. Arquitectura de SIAL

- *El módulo de interfaz*, que se encarga de la interacción con el usuario.
- *Analizador léxico-sintáctico*, que controla la entrada del usuario.
- *El resolutor por niveles*, que está basado en SLI como modelo del experto.
- *El módulo de diagnosis*, a su vez compuesto por varios elementos: el *analizador algorítmico* que utiliza SLI para comparar la expresión introducida por el usuario con la obtenida por el experto en los procesos de clausulación y refutación. Una *base de restricciones* implementada en CLIPS, que ayuda a descubrir la causa de algunos errores. Y finalmente, el *gestor estratégico*, no implementado aún, que ayudaría en el diagnóstico del error en caso de que el sistema experto fallara.
- *Resolutor automático*, que incluye OTTER [WOLB92], un sistema de resolución de lógica de primer orden.

Muchos de los módulos arriba descritos intervienen de alguna manera en el modelado del estudiante en SIAL, que vamos a presentar a continuación.

3.3 Modelado del estudiante en SIAL

Una de las tareas centrales en el diseño de SIAL fue el diseño del proceso de diagnóstico de errores. Este proceso es la base para construir un modelo del estudiante, que permita al sistema producir las interacciones oportunas para el aprendizaje del alumno.

En [Dil94] se presenta un marco de referencia para el estudio de las distintas propuestas de diagnóstico de errores que se han planteado. Para estos autores, el modelado del estudiante, o diagnóstico cognitivo, es *la tarea de inferir el conocimiento del estudiante analizando su comportamiento*.

Aunque existe una gran variedad de técnicas propuestas para el modelado del estudiante, las que se suelen aplicar en el dominio de los STIs se basan en el denominado *enfoque diferencial*, puesto que tratan de realizar el diagnóstico basándose en las diferencias entre el modelo del experto y el comportamiento del estudiante.

Los autores diferencian entre conocimiento conceptual, conocimiento procedural, y el comportamiento propiamente dicho. Basándose en esta clasificación, diferencian entre tres tipos de errores: errores de concepto (*misconceptions*), errores procedimentales (*bugs*) y errores de comportamiento (*errors*).

En un dominio procedural la tarea del sistema será deducir los errores de conocimiento procedimental a partir de los errores observados en el comportamiento del estudiante.

Vamos a citar a continuación las técnicas que han tenido alguna influencia en el diseño del modelo del estudiante en SIAL. Casi todas ellas se encuentran explicadas en el artículo arriba mencionado ([Dil94]).

Inferencia directa. Este enfoque se basa en la suposición de que el error de concepto o procedural puede ser inferido directamente del error en el comportamiento. Este enfoque necesita de la construcción de un catálogo de errores, en el se señalan los errores de comportamiento de los que se deducen los errores de procedimiento o de concepto. Los mayores problemas de este enfoque son la dificultad para conseguir un catálogo completo, y más importante, el hecho de que no siempre está clara la correspondencia entre un error de comportamiento y un único error de procedimiento o concepto.

Seguimiento de modelos o *model tracing*. Consiste en definir una serie de caminos de solución (válidos y no válidos) para un problema. El aprendiz debe solucionar el problema siguiendo estos pasos, que son monitorizados por el sistema. En el caso de detectarse un desvío, el sistema considera que el usuario ha cometido un error. El principal problema de este enfoque es que la definición de todos los posibles caminos de la solución es difícil, y la decisión sobre qué pasos intermedios se consideran puede ser arbitraria. La interacción con el usuario resulta demasiado restrictiva en algunas ocasiones con este modelo.

Representación intermedia. Este enfoque obliga al aprendiz a hacer explícitos sus planes para resolver el problema antes de introducir la solución. Además de facilitar el proceso de diagnóstico, esta propuesta es considerada positiva desde un punto de vista pedagógico, debido a que obliga a tomar conciencia de ciertas decisiones metacognitivas (acerca del proceso de solución en sí), lo cual le ayuda a reflexionar sobre el proceso de solución del problema.

Reconstrucción del camino de solución. El sistema intenta inferir qué pasos ha dado el usuario a partir de la solución final que éste presenta. Esta

solución presenta múltiples dudas acerca de su validez, ya que en términos generales, estos pasos no son únicos, y no es posible saber con exactitud qué camino siguió el estudiante.

Restricciones. Un problema que presentan los tutores basados en el seguimiento de modelos es el gran coste que supone la definición de los caminos de solución por medio de reglas de producción. Como respuesta a este problema se ha propuesto el enfoque basado en restricciones [MO99], en el cual el conocimiento del experto no está totalmente representado, sino que toma la forma de restricciones que debe cumplir la solución para ser aceptada.

El dominio de SIAL es complejo, por lo que la posibilidad de modelar el conocimiento del experto utilizando reglas de producción fue descartado, por considerarlo inabordable. Por otro lado, las soluciones de los problemas pueden tomar muchos caminos, todos ellos válidos, y no siempre previsible. Un requisito importante en el diseño de SIAL era no dar nunca respuestas erróneas, puesto que supondrían el inmediato rechazo del sistema por parte de los estudiantes. Tampoco queríamos restringir todas las posibles interacciones a una solución paso a paso, como ya se ha explicado.

El proceso de diagnóstico consta de varios módulos, los cuales en su conjunto implementan una combinación de las técnicas arriba descritas. A continuación se explican estos módulos y su función dentro del proceso global de diagnóstico. El análisis del error está muy influido por el nivel de interacción entre el sistema y el estudiante. Dentro del modo fuertemente guiado, el estudiante tiene que incluir todos los pasos que llevan a la solución. Los datos son introducidos por manipulación directa utilizando una interfaz gráfica, con botones especialmente desarrollados para manipular expresiones lógicas. Esta interfaz actúa como supervisora de la entrada del estudiante, y restringe el número de posibles errores.

3.3.1 Diagnóstico del error en el modo fuertemente guiado

El proceso de diagnóstico de error, representado en la figura 3.2 se describe a continuación.

Cualquier expresión introducida por el estudiante es filtrada a través del analizador léxico-sintáctico, para detectar la presencia de caracteres no válidos o símbolos que no corresponden a las especificaciones gramaticales del lenguaje de lógica utilizado. Cuando estos analizadores detectan un error, el módulo de diagnóstico rechaza la expresión, señalando cuál fue la causa del mismo. Una vez la expresión es aceptada por el analizador, es transformada a una notación estándar, y es comparada con la salida proporcionada por dos herramientas, que a su vez han procesado la expresión que el usuario tiene que resolver. OTTER es utilizado para detectar si existe o no una refutación, y SLI, para pruebas más detalladas sobre los procesos de clausulación y refutación (resolventes, hiperresolventes, factorizaciones, subsubconclusiones y tautologías). La comparación entre la expresión del usuario y la proporcionada por OTTER y SLI es realizada mediante unificación. Si las expresiones finales unifican, la respuesta del usuario es



Figura3.2. Diagnóstico del error en SIAL

validada, en caso contrario, el sistema trata de deducir la causa del error detectado. En algunas ocasiones, las causas del error no pueden detectarse a este nivel, y es necesario acudir a un sistema experto basado en restricciones. Esto ocurre en el proceso de clausulación, puesto que es el más complejo en cuanto a la detección de errores.

La base de restricciones realiza el análisis a un nivel lógico, dentro del modo fuertemente guiado. Aplica la solución a un conjunto de restricciones, que pueden detectar errores lógicos, y su causa. Esta base de restricciones ha sido escrita en CLIPS.

La base de restricciones está compuesta de dos tipos de restricciones. Por un lado, están las reglas que comprueban errores típicamente encontrados en lógica, como confundir el operador principal en una equivalencia lógica, por ejemplo, $a \rightarrow b \equiv \neg a \wedge b$, en lugar de $\neg a \vee b$. Por otro lado, el resto de reglas realizan una búsqueda en la que se comprueban todos los posibles errores producidos por un fallo simple en el reemplazo del conector principal.

3.3.2 Modo débilmente guiado y diagnóstico de error

El método de diagnóstico del error descrito en el punto anterior ha sido diseñado de forma que el tutor sigue “de cerca” el proceso de resolución del problema seguido por el estudiante, y de esta forma es capaz de establecer si éste es o no correcto.

Sin embargo, como se vio en la sección 3.2.1, SIAL define otro modo de interacción menos restrictivo, el “*débilmente guiado*”. Un problema que se plantea en este modo es que el sistema no controla todos los pasos seguidos para la

resolución del problema, y pierde por ello la posibilidad de aplicar el modelo de diagnóstico guiado por la interfaz que ha sido descrito en el apartado anterior.

La solución diseñada para este modo consiste en que el tutor, partiendo de la información que tiene sobre el dominio, establezca un diálogo con el estudiante, y le pregunte por pasos intermedios, de forma que poco a poco se vaya restringiendo de nuevo el campo de búsqueda de error.

La solución así diseñada representa un giro en la estrategia pedagógica, que ya no busca “enseñar” al estudiante, sino establecer con él las interacciones que llevarán al mismo a descubrir el error. Esto podría responder a otra filosofía de fondo, más cercana al constructivismo, en el que el estudiante es el responsable final de descubrir su error, acudiendo a los datos aportados por el sistema, y a las preguntas que éste le va haciendo. Esto conduce a centrar el esfuerzo, no tanto en modelar el conocimiento, sino en modelar la secuencia de interacciones entre el alumno y el sistema. En cierto modo, esto adelanta otra forma de modelar al estudiante, el modelado de interacciones, que será desarrollado con más detenimiento en el próximo capítulo, que estudia el modelado de interacciones en entornos colaborativos de aprendizaje constructivista.

3.4 Diseño de la interfaz en SIAL

Las características de SIAL que han sido explicadas hasta el momento: diferentes formas de interacción con el usuario, y modelado del estudiante controlado por la interfaz, nos hacen ver la importancia adquirida por el diseño de este elemento del sistema, tanto en el caso de SIAL como en general, en el dominio de los STIs. Esta sección explica brevemente las razones del protagonismo que está adquiriendo este elemento, y las características fundamentales que presenta la interfaz de usuario de SIAL.

Como ya se ha dicho en un punto anterior, el trabajo sobre STIs ha evolucionado desde un enfoque basado en la experimentación en psicología cognitiva a uno más orientado a la aplicación de los sistemas en entornos concretos, y por lo tanto, más preocupado por cuestiones de aplicación en las aulas y de ingeniería de software. Un ejemplo de este cambio de enfoque se puede ver en la importancia que ha ido adquiriendo el diseño de la interfaz en estos sistemas. Tanto es así que los promotores de los tutores cognitivos [ACKP95], tras diez años de experiencia proponen un método de diseño en el cual el primer paso en el desarrollo de un tutor es la definición del mundo donde la resolución de problemas por parte del estudiante va a tener lugar. Los requisitos que ellos establecen para diseñar la interfaz son los siguientes:

1. Las acciones que se llevan a cabo en la interfaz deben ser enviadas al sistema. El tutor necesita saber qué acciones han llevado a cabo los estudiantes de forma que puedan seguir a los mismos en su camino hacia la solución y ofrecer la respuesta adecuada.
2. El tutor debe ser informado de las consecuencias que tiene sobre el estado de la interfaz cualquier acción sobre la misma.
3. El tutor debe ser capaz de realizar acciones sobre la interfaz él mismo.

Todo esto nos lleva a un sistema donde tutor e interfaz están muy ligados.

En [ASF99] se presenta un tutor para el aprendizaje de ecuaciones lineales (AlgeBrain). Aparte de algunas características orientadas a hacer más atractivo el diseño, es de destacar la solución que eligen para la manipulación de las expresiones. Los términos se eligen directamente por medio de pulsaciones del ratón. Según sus propios autores, la selección de términos es *inteligente* en cuanto a que está basada en la estructura de la ecuación. Si se selecciona un elemento del término, la interfaz señala el término completo. De esta forma, se obliga al usuario a considerar los términos como la unidad de trabajo, no los caracteres sueltos, y se minimizan los posibles errores.

En el diseño de SIAL, la interfaz recibió una atención importante. Una de las razones de esta importancia es el papel fundamental de párrafo anterior, y algunas cuestiones relativas a la selección de subexpresiones, códigos de color, etc., que pretenden mejorar la usabilidad de la herramienta. Estas características han sido explicadas con más detalle en [SMM⁺00].

3.5 Conclusión

En este capítulo se ha presentado el trabajo realizado en la definición del modelo del estudiante en SIAL. El sistema aquí definido ha sido implementado, y se encuentra en fase de pruebas actualmente. El modelado del estudiante está implementado para el módulo fuertemente guiado, y está diseñado para su implementación en el módulo débilmente guiado.

En cuanto a su filosofía pedagógica, SIAL se encuentra a medio camino entre el control estricto sobre el aprendizaje del modo fuertemente guiado, cercano a un enfoque instructivista, y el aprendizaje por descubrimiento, que inspira el diseño del modo débilmente guiado.

Como hemos visto, el modelado del estudiante en el modo fuertemente guiado ha sido posible siguiendo un esquema basado en el seguimiento de modelos, más propio del enfoque STI tradicional, aunque en este caso se ha añadido el fuerte papel de la interfaz como mediadora de la interacción. También hemos visto cómo el diagnóstico del estudiante en el modo débilmente guiado, más cercano a un enfoque constructivista del aprendizaje, ha llevado a plantear nuevas cuestiones. Una de ellas, es la de plantear el problema del diagnóstico con otra filosofía, en la que el sistema y el estudiante interactúan en un diálogo que puede llevar a que finalmente el estudiante, por sí mismo descubra la causa del error cometido.

Por tanto, aunque se ha presentado SIAL como sistema desarrollado bajo el paradigma STI, vemos cómo el deseo de fomentar un aprendizaje más flexible y controlado por el alumno, lleva a plantear cuestiones que pueden leerse como un cambio de filosofía, más preocupada por el modelado de la interacción entre el estudiante y el tutor. Este tipo de modelado es el propio de los sistemas constructivistas, y será estudiado en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Análisis de la interacción en entornos colaborativos constructivistas

El paradigma CSCL es el de más reciente aparición de todos los presentados en el capítulo 2. El desarrollo de estas aplicaciones es una tarea compleja, debido entre otras razones al carácter interdisciplinar de la misma, que integra la definición de entornos constructivistas de aprendizaje, con varias dificultades técnicas, como son las procedentes del carácter distribuido de las aplicaciones, las referidas a la interacción persona-ordenador, persona-persona a través del sistema, etc.

Por ello, la definición de marcos de desarrollo para estas aplicaciones ha sido una prioridad durante los últimos años. En concreto, el trabajo que se presenta en este capítulo se sitúa dentro de un marco para el desarrollo de aplicaciones CSCL denominado DELFOS (“*a Description of a Layered-based Framework Oriented to Learning Situations*”) [OD99].

El paradigma CSCL, tal y como se describe en el capítulo 2, tiene una orientación constructivista, y está basado en el “aprendizaje colaborativo”.

El concepto de aprendizaje colaborativo es difícil de definir de forma única. Dillenbourg en [Dil99b], explica esta dificultad por la variedad de interpretaciones que se puede dar cada uno de los siguientes elementos: escala del grupo colaborativo, significado de la palabra “aprendizaje”, y significado de la palabra “colaboración”. Él propone la siguiente definición: *las palabras “aprendizaje colaborativo” describen una situación en la que se espera que ocurran ciertas formas de interacción entre personas, susceptibles de promover mecanismos de aprendizaje, sin ninguna garantía de que las interacciones esperadas vayan a ocurrir.*

Tras unos años en que los esfuerzos principales se han dirigido al desarrollo de entornos, el problema de la evaluación de estos sistemas, y del aprendizaje que se promueve con los mismos, es una prioridad.

El origen constructivista de estas aplicaciones tiene dos consecuencias fundamentales a la hora de abordar su evaluación (ver sección 2.2): la importancia del estudio de las interacciones entre el aprendiz y el entorno, y el cambio de metodología de evaluación hacia un enfoque interpretativo. Este último aspecto conlleva un cambio en el objetivo de la evaluación, que ya no es *medir la cantidad de conocimiento* adquirida por los alumnos, sino comprender los procesos de aprendizaje que se han producido, para poder mejorarlos.

En este capítulo presentamos una propuesta para el análisis de interacciones en el contexto de un marco para el desarrollo de aplicaciones CSCL, que ha sido presentada en un *workshop* dedicado al tema [MOB⁺00]. Dicha propuesta ha surgido de la experiencia adquirida en el uso del marco DELFOS para el diseño

y validación de varias aplicaciones CSCL. Una de estas aplicaciones es CECI (CoEdición de Cuentos en Inglés) [MEP+99], en la que nos detendremos para ejemplificar las cuestiones presentadas. La revisión de la experiencia con CECI y otras aplicaciones, ha sacado a la luz cuestiones sobre las que hay que seguir trabajando, y que configuran la propuesta que aquí se presenta.

El capítulo se divide en dos partes. En primer lugar, se presenta el punto de partida en el que se basa la propuesta, la cual es presentada en la segunda sección del capítulo. Finalmente, se ofrecen algunas conclusiones parciales, y perspectivas de trabajo futuro.

4.1 Punto de partida

Esta sección tiene como objetivo explicar el trabajo realizado en colaboración con otros miembros del grupo EMIC y alumnas de informática. Como fruto de este trabajo se detectó la necesidad de definir mejor el proceso de evaluación en DELFOS, y en concreto, el análisis de interacciones. Los elementos que configuran la propuesta surgen fundamentalmente de mi experiencia en el diseño y validación de CECI, de la colaboración en la validación general del marco DELFOS, y de algunos estudios iniciales realizados sobre las posibilidades de aplicación del Análisis de Redes Sociales a registros de eventos proporcionados por BSCW a partir de su aplicación en asignaturas de la E.T.S de Ingeniería de Telecomunicación. Esta sección explica todo este trabajo previo, junto con una descripción del marco DELFOS, con el fin de encuadrar la propuesta que se define en la siguiente sección.

4.1.1 Descripción del marco DELFOS

El principal objetivo de DELFOS es el de facilitar el proceso de construcción de aplicaciones telemáticas para situaciones de aprendizaje cooperativo con una orientación constructivista.

El marco fue motivado, y ha sido validado con la definición de varios entornos para el aprendizaje colaborativo: CECI (Coedición de Cuentos en Inglés), para la elaboración colaborativa a través de Internet de cuentos [MEP+99]; PENCACOLAS, una herramienta para la adquisición de habilidades para la composición escrita, basada en la interacción síncrona de un pequeño grupo de estudiantes y un profesor [BBD+99]; ATOIDI, un sistema para el desarrollo de las habilidades sociales [ODD99]; y una herramienta basada en el sistema de espacio compartido BSCW (*Basic Support for Cooperative Work*) [BSC00] para el apoyo de clases de Arquitectura de Ordenadores que utilizan el estudio de casos y trabajo por proyectos [GDD00] como metodología pedagógica.

DELFO define varios elementos: una **arquitectura** basada en capas; un **modelo** basado en *situaciones* para el diseño de escenarios de aprendizaje basados en el constructivismo; y una **metodología de desarrollo**.

La arquitectura de DELFOS establece tres capas para el diseño de aplicaciones, que a su vez son definidas utilizando una arquitectura orientada al

objeto, que ha sido descrita en UML (*Unified Modeling Language* o Lenguaje Unificado de Modelado) [RJB98]. Con esta arquitectura se pretende favorecer, entre otras cuestiones, la facilidad de desarrollo, gracias a los distintos niveles de abstracción de las capas, y la reutilización de elementos, gracias a las propiedades proporcionadas por la orientación al objeto.

El modelo para la descripción de escenarios define la *situación* como elemento básico. Una **situación de aprendizaje** es un escenario construido con el objetivo de que el estudiante construya conocimiento individualmente y colaborando. Está compuesta de varias **actividades**, cada una de las cuales desarrolla un objetivo pedagógico constructivista, como los orientados a la reflexión y a la exploración de conocimientos previos. Otros componentes de la situación son: los **roles**, o participantes en el proceso, los **objetos**, o entidades familiares para los aprendices que se pueden encontrar en sus contextos habituales, y las **interacciones** entre ellos.

La metodología de desarrollo se basa en los presupuestos del análisis participativo [CRC97] y el diseño iterativo. Uno de los objetivos de DELFOS es el establecer puentes entre los distintos roles implicados en el desarrollo de sistemas. Estos roles, son: *el profesor*, que tiene conocimiento del contexto del aula, y de los objetivos pedagógicos, y *el tecnólogo*, o desarrollador de aplicaciones, responsable de decidir qué características del análisis pueden ser desarrolladas con tecnología y bajo qué condiciones. DELFOS proporciona dos herramientas para ayudar en el proceso de diseño: una serie de plantillas para la descripción de las situaciones y de sus componentes, y la descripción de los mismos utilizando UML. Las plantillas proponen una visión de arriba a abajo para la descripción de situaciones educativas, con un lenguaje adaptado al utilizado por los educadores. La descripción a través de UML de los objetos de las plantillas es el primer paso para formalizar el diseño y la implementación a partir de la especificación hecha con las mismas.

El ciclo de vida propuesto en DELFOS se basa en un proceso iterativo que busca el refinamiento continuo del marco en sí y de las aplicaciones. Este proceso iterativo necesita de un proceso de evaluación bien estructurado y de carácter formativo [BC99].

A continuación vamos a ver cómo está definida la evaluación en DELFOS, y el papel del análisis de las interacciones en la misma.

4.1.2 Evaluación en DELFOS

La validación es un proceso clave dentro del marco DELFOS. En la versión actual del marco, la evaluación está definida como un proceso cualitativo, en el que distintos roles (profesor, diseñador de aplicaciones, alumno y evaluador externo) valoran las aplicaciones. Los métodos utilizados para ello se basan en los propios de los métodos etnográficos, como cuestionarios, entrevistas, observaciones formales, etc.

Es importante resaltar que el proceso de validación, además de evaluar las aplicaciones, tiene como objetivo valorar el marco en sí, dentro de lo que supone

un proceso iterativo de refinamiento del mismo marco como se puede observar en la figura 4.1.



Figura4.1. Evaluación en DELFOS

La validación del marco considera su función de *marco de referencia* para el proceso de análisis y diseño de aplicaciones, y su función como *modelo* del cual derivan aplicaciones de aprendizaje colaborativo constructivistas.

En cuanto a la evaluación de las aplicaciones, dos son los puntos que se destacan: valoración de la *usabilidad* y evaluación de los *procesos educativos* que se provocan con ellas. La medida de la usabilidad está definida teniendo en cuenta los parámetros del estándar ISO 9241-11 [Kei98]. En este trabajo nos interesa especialmente el segundo factor: la evaluación de cómo las aplicaciones fomentan el aprendizaje, y de las herramientas proporcionadas por el marco para realizar este proceso de evaluación. Es decir, centrándonos en el aspecto de la evaluación de aprendizaje, volvemos a plantear de nuevo un trabajo en dos planos: el de la aplicación y el del marco.

DELFO ha definido un *modelo de aprendizaje* (ver figura 4.2), donde la evaluación adquiere un valor central. En la figura se puede observar cómo el estudiante tiene conocimientos previos antes de comenzar una actividad de aprendizaje, que puede ser colaborativa o individual. La evaluación es un componente fundamental del modelo, y se define en DELFO como una evaluación formativa basada en el método de carpetas [PC95]. Tiene como fin valorar el avance cognitivo del alumno tras la realización de las actividades.

Este modelo sirvió de base para la definición de las cuestiones relativas al aprendizaje constructivista en las aplicaciones, y por lo tanto, de la evaluación del mismo. Vamos a explicar cómo fue resuelto esto en CECI.

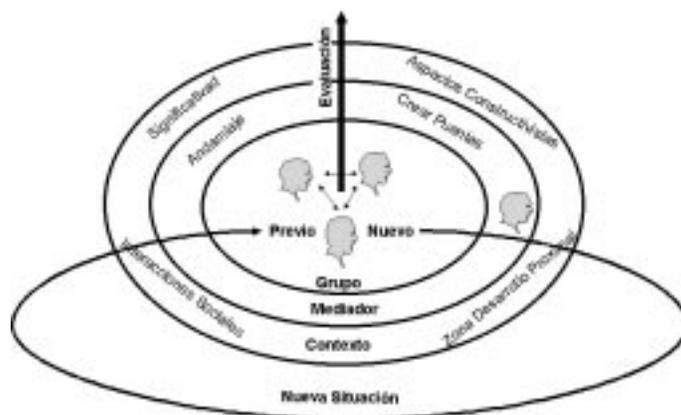


Figura4.2. Modelo de aprendizaje colaborativo en DELFOS

4.1.3 Experiencia de evaluación. El caso de CECI.

A partir del modelo arriba descrito, las aplicaciones desarrolladas con DELFOS poseen subsistemas específicos para apoyar la evaluación. Esta sección explica cómo fue definido dicho sistema en una aplicación concreta, CECI (CoEdición de Cuentos en Inglés) [MEP+ 99], y las conclusiones extraídas tras la implementación y primeras pruebas con la misma. CECI surge en el contexto de un proyecto cuyo objetivo es permitir que estudiantes de dos clases situadas en las Facultades de Educación de Valladolid y Castellón pudieran colaborar en la construcción de materiales educativos a través de Internet. Debido a la localización remota de los participantes, y la existencia de horarios incompatibles, se optó por un sistema de apoyo a la coautoría asíncrona. El espacio de trabajo se configuró como se puede ver en la figura 4.3, donde cada clase se divide en varios subgrupos. Un subgrupo de una clase colabora con otro subgrupo de otra clase, formando un grupo. Cada grupo es el responsable de la edición de un cuento. De esta forma, la colaboración se da a dos niveles: a nivel *interno*, en cada subgrupo, y a nivel *externo*, entre los dos subgrupos que colaboran en un cuento. Estos dos niveles producen dos formas de colaboración: *frente* al ordenador (nivel interno), y *a través* del ordenador (nivel externo) [Cro98]. Los sistemas para estudiar estos dos tipos de colaboración son distintos, como veremos más adelante, y es conveniente tenerlos presentes.

El proyecto se desarrolló en dos fases. La primera tuvo lugar durante el curso 98/99, en la que se utilizaron aplicaciones de dominio público, como *Netscape Composer*, para el apoyo al trabajo de los alumnos. Esta primera etapa permitió detectar necesidades, como el *fomento de la conciencia de grupo en el espacio colaborativo asíncrono* [GSG95], y la necesidad de apoyar con herramientas específicas la *evaluación del proceso de colaboración*. La segunda fase del proyecto

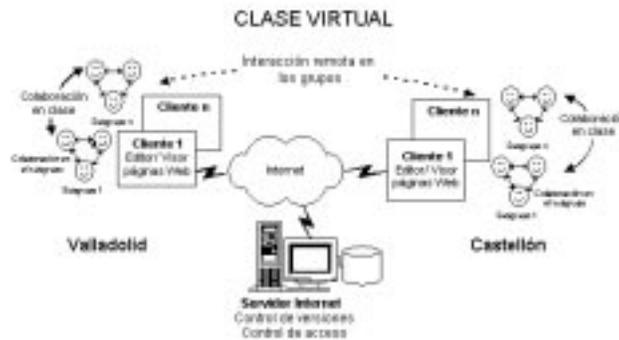


Figura4.3. Organización del espacio de trabajo en CECI

consistió en la elaboración de la herramienta CECI, para dar respuesta a las necesidades detectadas.

CECI es una aplicación cliente/servidor. El cliente proporciona dos aplicaciones: un editor de archivos HTML con funcionalidades adicionales para apoyar la edición de los cuentos, y una herramienta de análisis, para realizar la evaluación del proceso de escritura. El servidor es el encargado de la gestión de versiones, y de almacenar los datos relativos al proceso de edición del cuento. A continuación vamos a explicar cómo estos componentes asisten en el sistema de evaluación de CECI.

Sistema de evaluación en CECI El sistema de evaluación en CECI se apoya en dos pilares fundamentales: el *almacenamiento* de eventos y de metainformación realizado por el editor a lo largo del proceso de edición de los cuentos, que es almacenado en el servidor; y la *herramienta de análisis* que utiliza estos datos para apoyar la evaluación formativa desarrollada por el profesor.

Con el fin de apoyar el análisis, el editor de CECI almacena las *acciones* producidas a lo largo del proceso de escritura de los cuentos (inserción y borrado de caracteres), y registra *metainformación* relativa a la edición de las sucesivas versiones (tamaño, fecha y hora de publicación, subgrupo, autor, etc.). Por otro lado, el sistema almacena los *comentarios* (mensajes asíncronos) que se han intercambiado los alumnos y las *sugerencias* realizadas por el profesor a lo largo del curso.

Con esta información, la herramienta de análisis proporciona funciones para apoyar la evaluación con métodos *cuantitativos*, *cualitativos*, y realizar la *reconstrucción del proceso*. A continuación se explican las principales características de cada aspecto.

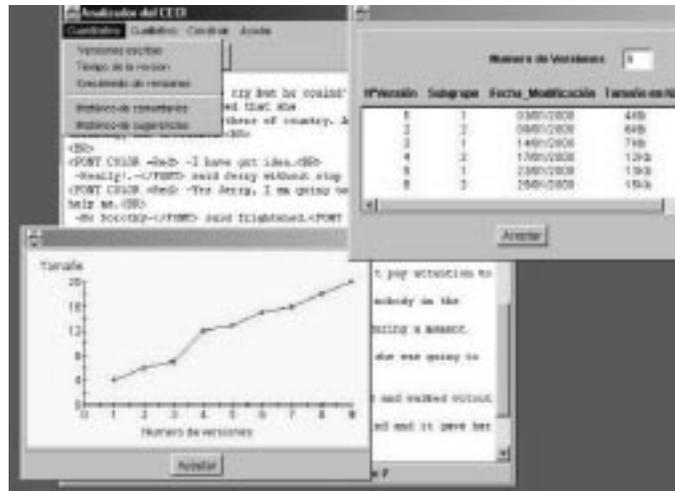


Figura4.4. Vista de la herramienta de revisión de CECI

Datos cuantitativos. Consiste en la presentación de datos acerca de la historia de versiones del documento: versiones escritas, autor, tamaño, duración de las mismas, etc. Esta información se presenta en forma de tabla y de gráfica. Con estos datos, es posible observar de forma gráfica cuestiones relacionadas con la historia de versiones, e inferir datos acerca del comportamiento de los subgrupos a la hora de escribir las mismas.

Herramienta de reconstrucción del proceso. Esta herramienta toma como entrada los datos almacenados durante la edición de los textos y los reproduce como si de un video se tratara. Su uso permite al profesor revisar cómo los distintos grupos han elaborado los cuentos. Los alumnos también tienen acceso a esta herramienta, con el fin de permitirles que aprendan a través de la reflexión sobre su propio proceso de escritura, método pedagógico muy usual en los entornos constructivistas.

Datos cualitativos. Para apoyar la evaluación cualitativa, CECI tiene integrado un cuestionario acerca de diferentes aspectos considerados de interés para la evaluación, que fueron definidos por las profesoras.

La evaluación apoyada por estas herramientas consiste en un proceso en el que se visualizan los datos cuantitativos, que permiten detectar situaciones anómalas, por ejemplo, falta de aportaciones de un subgrupo, o exceso de cambios en las sucesivas versiones de un cuento. Estas situaciones pueden ser revisadas en mayor profundidad mediante la herramienta de reconstrucción del cuento, que puede ayudar a entender las cuestiones señaladas por los datos cuantitativos, y sacar a la luz otras nuevas. La evaluación, sin embargo, no puede apoyarse totalmente en el uso de las herramientas, ya que es necesario considerar cuestiones relativas al contexto imposibles de detectar por estos medios. Además, en el caso de CECI,

las interacciones *internas*, establecidas entre los miembros de un subgrupo, no son capturadas en el ordenador, y han de utilizarse otros medios, como los propios del análisis etnográfico clásico para su evaluación. CECI aporta los cuestionarios cualitativos, que las profesoras rellenan teniendo en cuenta las observaciones realizadas durante el curso.

Conclusiones de la experiencia con CECI. CECI no ha sido evaluada en un entorno real hasta el momento, pero la experiencia adquirida con su desarrollo y uso en pruebas experimentales, dan lugar a algunas conclusiones y a ideas para el trabajo futuro. Estas conciernen a la metodología global de evaluación, al apoyo dado por las herramientas a la misma, y algunas cuestiones técnicas relativas al almacenamiento de eventos.

En cuanto a la **metodología de evaluación**, la experiencia con CECI ha permitido constatar que ésta no puede apoyarse exclusivamente en procesos automáticos, sino que ha de hacerse utilizando muchas fuentes de datos: cuestionarios, observaciones en el aula, etc. Esto es coherente con la metodología de evaluación cualitativa, que busca capturar cuestiones relativas al contexto y profundizar en los procesos observados. Además, en el caso de CECI, las interacciones *internas*, producidas en los subgrupos no son capturadas por el ordenador, lo que obliga a evaluarlas con otros métodos.

Esto no significa que el sistema de análisis automático no sea útil. Los datos cuantitativos han permitido observar de forma sencilla algunas cuestiones que de otro modo habrían llevado más tiempo. Por ejemplo, es posible observar a primera vista situaciones extrañas en el proceso de coedición, como disminuciones bruscas del tamaño del texto, y la ausencia de un subgrupo en el proceso. La posibilidad de reconstruir el proceso de escritura permite conocer los procesos de edición que se han dado en las clases de forma simultánea (alrededor de trece subgrupos trabajando al mismo tiempo), imposibles de capturar con los medios que tradicionalmente se utilizaban, como el video o la observación directa por parte del profesor. Sin embargo, la revisión de todos los procesos sigue siendo una tarea muy exigente para los profesores, normalmente faltos de tiempo. La cuestión que se abre ahora es cómo seguir mejorando la herramienta para maximizar la información aportada, y apoyar mejor el proceso de análisis cualitativo.

En lo relativo al **almacenamiento de eventos**, el sistema desarrollado en CECI proporciona a los mismos un bajo valor semántico (borrado, inserción de caracteres), que si bien permite realizar la reconstrucción del proceso arriba mencionada, hace muy difícil extraer información significativa de forma automática. Una cuestión que surge es cómo diseñar un sistema en que la interfaz permita detectar eventos de mayor nivel semántico (operaciones sobre objetos). Por otro lado, el formato elegido para el almacenamiento se definió en exclusiva para la aplicación, por lo que se impide la posible reutilización tanto de los datos almacenados como de la herramienta de análisis, al estar ambos basados en un formato ad-hoc. Por tanto, vemos que es necesario definir un formato para la representación de los eventos lo suficientemente general para abarcar el rango de

aplicaciones definidas en DELFOS, y expresado en un lenguaje estándar, como XML [W3C00], que permita la interoperabilidad de datos y herramientas.

Por último, en lo tocante al análisis de las interacciones asíncronas entre los dos subgrupos, se echa en falta alguna medida que permita extraer conclusiones acerca de los patrones de interacción entre los mismos. En un entorno asíncrono, estas interacciones se producen en los mensajes intercambiados (en forma de comentarios entre los subgrupos en CECI) y a través de las acciones sobre las versiones. El sistema actual no saca a la luz directamente la interacción, sino que hay que inferir los datos a partir de la revisión de las versiones. Una posible ayuda es que el sistema mismo realice esta inferencia para ayudar al profesor.

En resumen, se necesita avanzar en la definición de un sistema integrado en un proceso de evaluación cualitativo más amplio, capaz de capturar eventos a distintos niveles semánticos, que permita la manipulación posterior por parte del profesor, y que refleje de forma directa datos acerca de las interacciones establecidas entre los miembros del subgrupo.

Muchas de las cuestiones a las que dio lugar la evaluación de CECI se pueden encontrar también en la evaluación de otro sistema, PENCACOLAS, que posea también un sistema de reconstrucción del proceso de escritura. Esta evaluación ha sido explicada en [MOB⁺00]. De la existencia de estas dos herramientas similares en objetivos, pero con diferente implementación se sacan dos conclusiones: la primera, que DELFOS ayuda a definir aplicaciones con características comunes, la segunda, que todavía hay que avanzar para que dichas características comunes se reflejen en la implementación de componentes intercambiables, que puedan ser utilizables por varias aplicaciones.

4.1.4 Resultados adicionales de la validación del marco DELFOS

La experiencia con CECI forma parte de un proceso más amplio de validación del marco DELFOS y de las aplicaciones desarrolladas con él. No nos vamos a detener demasiado en este proceso, que se encuentra explicado en [Osu00], sino que comentaremos algunas cuestiones surgidas en la evaluación de la metodología de desarrollo definida en DELFOS.

Como se explica en la sección 4.1.1, DELFOS define una metodología de análisis participativo apoyada por unas plantillas para la descripción de situaciones educativas.

La evaluación de dicha metodología tuvo lugar mediante entrevistas a las personas participantes en los distintos desarrollos. De esta evaluación se vio que las plantillas son un marco apropiado para el análisis participativo de las aplicaciones, debido al uso de un lenguaje apropiado para los profesores, y a la estructura de arriba a abajo adoptada, que permite pensar en el problema globalmente, y luego detenerse en muchos detalles que de otro modo quedarían sin resolver.

Sin embargo, aparecen algunos puntos sobre los que es necesario seguir trabajando. Entre ellos se encuentran la demanda por parte de los profesores de apoyo al establecer los criterios de evaluación; y la dificultad observada en la definición de las interacciones a-priori por parte de los diseñadores.

De estas consideraciones surge la necesidad de refinar la definición del proceso de evaluación en DELFOS, y de profundizar en el estudio de las interacciones, con el fin de apoyar mejor su definición en la fase de análisis en el marco.

4.1.5 Primera aproximación al estudio de eventos utilizando Análisis de Redes Sociales

Otra aplicación surgida dentro del marco DELFOS es una herramienta de apoyo a la asignatura de Laboratorio de Ordenadores de Ingeniería de Telecomunicaciones, basada en BSCW (*Basic Support for Collaborative Work*), un entorno de carpetas compartidas. Este entorno se ha utilizado en clases basadas en el estudio de casos y trabajo por proyectos durante el curso 99/00 [GDD00].

BSCW permite almacenar los eventos que se producen sobre el espacio compartido, con información sobre: usuario, objeto, acción, y tiempo. Dicha información se almacena en formato texto o html, en un fichero de registro diario. Estos ficheros están definidos para promover la conciencia de colaboración entre los usuarios. Cada día estos usuarios pueden recibir mediante correo electrónico los últimos eventos y de esta forma, estar al tanto de lo que ocurre en el entorno.

Este hecho hace que los datos no presenten el formato adecuado para ser procesados a posteriori con el fin de revisar el proceso durante un tiempo largo. La tarea de convertir los ficheros de eventos a un formato que pudiera ser analizable fue larga, y costosa. Por ello, la primera consecuencia que se extrae de esta experiencia es la necesidad de definir un sistema automático para la transformación de los datos a un formato manipulable mediante las herramientas disponibles para el estudio con SNA [BEF99].

Una primera observación de los datos extraídos con BSCW hizo ver que el análisis de los mismos utilizando los métodos de *centralidad* y *estructura* ya utilizados en [NLP99] y [Wor99] no es posible, puesto que en este entorno no tenemos constancia de interacciones directas, sino de las establecidas a través del entorno. Por tanto, es necesario estudiar los métodos de redes de afiliación de SNA, no tan desarrollados como los primeros, y ver cuál es su significatividad en el entorno a estudiar. También es necesario realizar un análisis para estudiar qué tipo de interacciones indirectas son susceptibles de estudio y cuáles no. Por ejemplo, si dos usuarios leen el mismo documento, se establece una interacción entre ellos; si uno escribe y otro lee, también, aunque la interacción tiene matices distintos; si dos usuarios leen dos documentos distintos, no establecen interacción, etc. Es necesario aún un análisis más profundo de los tipos de eventos relevantes, para pasar a su estudio con SNA.

4.1.6 Resumen de la experiencia

Todas las cuestiones comentadas en la presente sección han ayudado a identificar la necesidad de refinar el proceso de evaluación definido en DELFOS, y han dado claves para enfrentar dicha tarea.

Las evaluaciones realizadas sobre los sistemas de análisis conducen a la necesidad de aumentar la funcionalidad de dichas herramientas, para reflejar explícitamente las interacciones entre los participantes, y para permitir la manipulación posterior por parte del profesor de los datos presentados en las herramientas de análisis. El estudio sobre el análisis de redes sociales, y las primeras observaciones sobre los eventos de BSCW han permitido detectar qué tipo de medidas pueden ser interesantes, aunque es necesario un estudio más profundo sobre las mismas. La validación de la metodología de desarrollo hizo observar que la definición a priori de las interacciones es una tarea difícil, para la que los diseñadores necesitan más apoyo. Este apoyo pasa por un mayor entendimiento de los tipos de interacciones que se pueden dar en los sistemas, lo que añade un nuevo objetivo a nuestro estudio: profundizar en el conocimiento de qué patrones de interacción se pueden dar en un sistema, para poder ofrecer distintas opciones al diseñador en la definición de las mismas.

Por último, y no menos importante, se ha constatado que este análisis de interacciones sólo tiene sentido en el contexto de un proceso más amplio de evaluación cualitativa. Es deseable que el trabajo sobre análisis de interacciones sea realizado teniendo en cuenta dicho contexto.

Todas estas consideraciones se incluyen en la propuesta que se presenta a continuación.

4.2 Análisis de las interacciones en DELFOS

Esta sección se centra en la explicación de una propuesta para el análisis de las interacciones en entornos CSCL constructivistas. Se trata de un primer paso dentro del trabajo que se pretende realizar en la tesis doctoral, y se puede considerar una presentación estructurada y ampliada de las conclusiones extraídas a lo largo del trabajo realizado, que han sido presentadas en la sección anterior.

Antes de presentar la propuesta, se comentan dos puntos necesarios para encuadrar la misma.

4.2.1 Cuestiones previas

Antes de presentar la propuesta de trabajo para el análisis de las interacciones, vamos a introducir algunas cuestiones necesarias para delimitar el campo de trabajo. Estas son: los objetivos concretos que se pretenden con este análisis de interacciones, y la definición del objeto de estudio, es decir, qué vamos a considerar *interacción* en nuestro trabajo.

Objetivos del análisis de interacciones. Es necesario enumerar aquí cuáles son estos objetivos, con el fin de dejar bien establecidos los fines y el contexto en que se encuadra el análisis de interacciones.

Dicho análisis es una parte fundamental del proceso iterativo de desarrollo del marco DELFOS, que como vimos anteriormente, define una metodología

participativa de análisis y diseño, que utiliza la evaluación formativa como medio para su continuo refinamiento.

En primer lugar, es necesario apoyar al profesor en su tarea de evaluación de los procesos de aprendizaje. Como ya se vio en la sección 2.2 en los entornos constructivistas esta evaluación se basa en el estudio de las interacciones que establece el aprendiz con su medio físico y social.

Los entornos CSCL no son meros entornos pasivos en los que los estudiantes establecen comunicación, trabajan, etc., sino que en muchas ocasiones se espera que los entornos sean “conscientes” de los procesos que se están produciendo, y sean capaces de reaccionar de una u otra manera a los mismos. Esto es lo que se ha dado en llamar I-CSCL, (*Intelligent Computer Supported Collaborative Learning* [Har00]). Este tipo de comportamiento del sistema depende también del análisis de las interacciones.

Es importante destacar que el análisis de estas interacciones debe hacerse siguiendo la metodología apropiada para los objetivos buscados. En este sentido, un análisis puramente cuantitativo, que olvide aspectos relativos al contexto, al proceso, etc. fundamentales en el enfoque constructivista, no tiene sentido. Por ello, es necesario definir, junto con las herramientas para el análisis de las interacciones un proceso de evaluación que ayude a integrar estas cuestiones no cuantificables.

Finalmente, los resultados de la evaluación del aprendizaje obtenidos con esta evaluación pueden hacer ver la necesidad de refinar algún aspecto de la aplicación, y, posiblemente, algún aspecto del marco.

En resumen, necesitamos analizar las interacciones para profundizar en su conocimiento y de esta forma acometer la tarea de refinar el marco, como medio para analizar los procesos educativos que se dan en los entornos construidos con el mismo. Este análisis debe realizarse en el contexto de un método de evaluación coherente con los principios del marco, y de sus resultados pueden suscitarse nuevas modificaciones en las aplicaciones o en el marco en sí mismo.

¿Qué interacciones vamos a considerar? En esta sección se intenta clarificar el término *interacción* en el contexto de este trabajo.

Algunos autores consideran únicamente las interacciones provocadas a partir del diálogo entre los participantes en un proceso, y han concentrado sus estudios en el análisis del diálogo [PMPB99].

Este enfoque deja a un lado las acciones que realiza el aprendiz con el entorno, y muchas de las cuestiones que aparecen en los silencios, o ausencia de acción en los mismos.

En el constructivismo, el aprendizaje surge de las interacciones del aprendiz con el entorno. Esto incluye el medio físico y el social [Sel99], lo que lleva a pensar en el término interacción en un sentido amplio, que incluye las acciones de los participantes en el medio, así como las interacciones entre ellos.

En nuestra experiencia previa con distintos sistemas, hemos distinguido cuatro tipos de interacciones: directas/indirectas y activas y potenciales.

Una interacción directa es la que se establece en el diálogo entre dos o más participantes, por ejemplo, un mensaje escrito, mientras que una indirecta es la que se establece a través de acciones sobre el espacio de trabajo compartido. Por ejemplo, dos usuarios manipulan el mismo objeto en una ventana compartida.

En cuanto a la distinción activa/potencial, nos referimos a la existencia o no de una acción real asociada. Por ejemplo, en un entorno de ventanas compartidas, un usuario puede estar leyendo el contenido escrito por otro usuario, pero no realizar ninguna acción asociada. Esta sería una interacción potencial. Con este concepto, se pretende evitar el peligro de analizar sólo las manifestaciones evidentes de la colaboración dejando atrás otros detalles que pueden ser muy significativos [LL99].

4.2.2 Propuesta para el análisis de interacciones en DELFOS

El análisis de interacciones en DELFOS considera tres aspectos en el tratamiento de los datos: *registro de eventos*, *análisis de la participación*, utilizando técnicas de SNA, y por último, el *proceso de evaluación cualitativa*. Vamos a detenernos en cada uno de ellos.

Registro de eventos. La información almacenada tras la realización de una acción debe almacenar al menos los datos sobre: tiempo, sesión, posición en el espacio de trabajo, autor, destinatario y contenido. Si el entorno permite añadir otro tipo de información de mayor nivel semántico, es deseable que lo haga. Con respecto al formato de los eventos es necesario utilizar un formato estándar, que permita la interoperabilidad de los sistemas que van a trabajar con dichos datos. Es necesario proponer un esquema de eventos utilizando un lenguaje estándar, como XML [W3C00] u OIL (*Ontology Interchange Language*), que permite representar relaciones semánticas en el esquema. Estos lenguajes servirán para representar los datos almacenados en un formato compartible y comprensible por muchas aplicaciones ya existentes de propósito general. También permitirá aplicar las herramientas que se generen, basadas en el formato elegido, a datos procedentes de otros sistemas.

Análisis de la participación. La *participación* consiste en la intervención de los aprendices en el entorno, incluyendo todas las interacciones presentadas previamente. Los datos sobre las interacciones directas o indirectas establecidas sobre el entorno pueden aplicarse a los métodos propuestos por el SNA para extraer características relevantes de los actores o de los grupos, que pueden ser interpretados más adelante a la luz de la revisión del proceso.

En la sección 2.3 se comentan las características más representativas del SNA. Ahora nos interesa la distinción entre *redes de un modo*, donde todos los actores pertenecen al mismo conjunto y *redes de dos modos*, donde se representan las relaciones entre dos grupos de actores. A estas últimas pertenecen las *redes de afiliación*, en que se estudia la relación entre un grupo de actores y los eventos en que participan.

Las que hemos denominado *interacciones directas*, establecidas entre dos actores, como por ejemplo, los mensajes entre dos estudiantes, se pueden estudiar por medio de redes de un modo. Sobre ellas es posible aplicar medidas de prominencia, que permiten estudiar la actividad de los estudiantes en el entorno. Entre estas medidas se encuentran las de centralidad, prestigio y *betweenness* [WF94]. Estas medidas han sido utilizadas por otros autores en el estudio de entornos CSCL [NLP99]. Otro tipo de estudio interesante es el de la estructura de los grupos. SNA define medidas, como la cohesión, o la equivalencia estructural, que permite estudiar características de los grupos y compararlos entre sí.

Las *interacciones indirectas*, establecidas a través de acciones sobre el espacio de trabajo compartido, son analizables utilizando *redes de afiliación*. En [WF94] se definen dos tipos de tratamiento para estas redes:

1. Convertirlas a redes de un modo, lo que es equivalente a suponer que una interacción indirecta es, en cierto modo, una interacción directa y puede ser estudiada como tal. Por ejemplo, si dos actores leen un mismo documento, se puede suponer que han establecido una interacción a través de dicha lectura.
2. Estudiar cómo se relacionan los eventos y los actores, utilizando medidas específicas de redes de afiliación. Este tratamiento permite estudiar cómo se sitúa un estudiante con respecto al conjunto de eventos; o viceversa, como se relacionan todos los estudiantes con un evento concreto, por ejemplo, escritura de un documento.

Como ya se ha dicho en varias ocasiones, el estudio del proceso es importante en los entornos constructivistas. En este sentido, se puede considerar la posibilidad de realizar estas medidas sobre los grupos varias veces a lo largo del proceso, y ver cómo van evolucionando a lo largo del tiempo. Un problema que aparece aquí, y que debe ser estudiado con detenimiento, es establecer la unidad de tiempo a considerar, como señala en [Iss99].

Los resultados obtenidos en el análisis de la participación a través de SNA pueden hacer resaltar ciertas situaciones, sobre las que el evaluador deberá profundizar, utilizando los métodos de análisis etnográfico que se considere apropiado. Dicho en otras palabras, no pretendemos que el análisis basado en SNA aporte conclusiones definitivas, sino que ayude al investigador a concentrarse en las cuestiones que aparezcan más relevantes.

Estudio cualitativo. Este aspecto engloba a los demás, y supone una definición del esquema de trabajo general que se ha de seguir en los estudios. Es probable que a lo largo del trabajo sea subdividido a su vez en varias fases. En este momento, proponemos las herramientas que consideramos apropiadas y que pueden dar más utilidad para la realización de la evaluación de la aplicación.

Se debe definir un conjunto de procedimientos etnográficos para la recogida de los datos en los contextos reales de las clases, que integre los métodos tradicionales con el registro de eventos realizado por el ordenador y los resultados del estudio de la participación con SNA. Este proceso estará dirigido por los objetivos ya establecidos en la definición de la situación educativa. Por ello, las

herramientas ya definidas en DELFOS para el análisis y diseño de la aplicación (plantillas de análisis) son una pieza clave para guiar el proceso de evaluación. El hecho de que se haya podido expresar los objetivos pedagógicos de la aplicación de forma estructurada es una ayuda para establecer criterios de evaluación en este momento. Es importante destacar aquí que, aunque las herramientas existentes son ya una ayuda, la validación del marco hizo ver que se necesita refinar las plantillas de cara a ayudar en este proceso.

Una vez que se han establecido los criterios de evaluación, el investigador puede empezar su trabajo, apoyado por los medios que le proporcione el entorno. Entre ellos, los resultados del estudio de la participación realizado con SNA. Estos resultados serán revisados a la luz de otras herramientas o de datos recogidos de forma tradicional, para extraer conclusiones.

Una herramienta que ya ha demostrado su utilidad en esta etapa de revisión es la reproducción de los eventos implementada en CECI y PENCACOLAS. Como ya se explicó en la sección 4.1.4, es necesario ampliar esta herramienta para mostrar al evaluador las interacciones que se han producido a lo largo del proceso. Un enfoque similar a esta herramienta se puede encontrar en el uso de “guiones de eventos integrados” en [NC99]. Una funcionalidad deseable en esta herramienta es la posibilidad de aplicar esquemas de codificación [RAGA00] a las interacciones observadas, para su estudio posterior, de una forma similar a la herramienta MEPA (*Multiple Episode Protocol Analysis*) utilizada en [VAK99].

Todos estos estudios deben ser sometidos a procesos de triangulación definidos en las metodologías cualitativas con el fin de asegurar la fiabilidad de los estudios realizados.

4.3 Resumen y conclusiones

Hemos presentado en este capítulo una propuesta para el análisis de interacciones en entornos CSCL constructivistas. La propuesta está apoyada y forma parte de un marco para el desarrollo de este tipo de aplicaciones.

La experiencia adquirida con la validación del marco y de las aplicaciones, y con la evaluación de las herramientas y métodos definidos en el mismo para apoyar el estudio de las interacciones, han servido de base para presentar dicha propuesta, que puede considerarse un resultado parcial de un trabajo en curso.

El trabajo realizado hasta el momento ha permitido definir los principios con los que se tiene que regir la evaluación de estos sistemas, y avanzar en la propuesta de medios concretos para acometer la misma.

Entre los principios definidos destacan: la necesidad de apoyar la evaluación global del sistema en la filosofía de los métodos interpretativos, utilizando técnicas de análisis etnográfico; y el papel fundamental del análisis de las interacciones del estudiante con el sistema y con el resto de participantes.

La forma de representación de los eventos debe ser estudiada de forma que aporte la mayor cantidad de información posible, y debe ser definida utilizando lenguajes estándar que permitan la interoperabilidad de aplicaciones.

El análisis de los elementos debe ser hecho por el sistema en tiempo real, de forma que pueda realizar *andamiaje*¹ de los procesos de aprendizaje en el momento; y también a posteriori, con intervención del profesor, como apoyo a la evaluación formativa.

Para realizar el andamiaje, se necesitan definir formas de procesamiento automáticas y eficientes capaces de responder en el momento a cada situación detectada. La definición de estos procesamientos debe ser cuidadosa, ya que la información con la que cuenta el sistema para realizarlo será siempre limitada.

El apoyo a la evaluación formativa por parte del profesor se debe realizar mediante una herramienta que permita visualizar los procesos producidos, con reflejo explícito de las interacciones producidas entre los participantes. Esta información debe ser manipulable, de forma que el profesor pueda extraer y codificar la información que considere más importante.

Las técnicas de SNA son la base del análisis cuantitativo de la participación de los usuarios en el sistema.

Vemos que es necesario adquirir más experiencia en el uso de los métodos cualitativos, novedosos en el entorno tecnológico, y profundizar en el estudio y aplicación de las técnicas arriba descritas (análisis de redes sociales, análisis de contenido, etc.) para delimitar con mayor exactitud el diseño del sistema final.

¹ Del inglés *scaffolding*, proceso mediante el cual un profesor o una herramienta actúa como soporte en la construcción de conocimiento del aprendiz [Dri94, p.235]

Capítulo 5

Consideraciones finales

A lo largo de este trabajo, se ha presentado la definición de la evaluación del aprendizaje en dos paradigmas de informática educativa, el STI y el CSCL. La visión dada sobre este problema, y la misma estructura del texto, han hecho hincapié en las diferencias entre ambos paradigmas.

A pesar de que la perspectiva dada en el capítulo 2 resalta dichas diferencias, hemos visto también cómo la realidad no se ajusta tanto a los esquemas prefijados. En concreto, el paradigma STI ha experimentado una evolución desde sus inicios, y por ejemplo, hemos visto cómo SIAL posee ciertas características que no pertenecen a las propias del paradigma “puro” descrito por Koschmann. Aunque consideramos que tener en cuenta la taxonomía propuesta por dicho autor y que ha sido presentada en el capítulo 2, ayuda a una mejor comprensión del área de la informática educativa, queremos en este capítulo ofrecer una perspectiva integradora entre los paradigmas que han sido estudiados en el trabajo. Para ello se seguirá la propuesta presentada por Self en [Sel99]. En concreto, este autor defiende que las técnicas desarrolladas para el dominio de los STIs durante tres décadas siguen siendo de utilidad en los nuevos entornos constructivistas.

Una vez explicado este enfoque integrador, se presentan algunas consideraciones finales y las líneas de trabajo que se desprenden de todo lo aquí explicado.

5.1 Hacia una perspectiva de continuidad entre los paradigmas STI y CSCL

Self [Sel99] presenta un artículo en el que defiende que, a pesar del aparente cambio de rumbo de la investigación sobre informática educativa, la inteligencia artificial sigue teniendo su papel en el desarrollo de estos sistemas, aunque para ello la perspectiva debe cambiar significativamente.

Según Self, a medida que nos acercamos a entornos de aprendizaje abierto, los elementos clásicos de la arquitectura de un STI, *modelo del experto*, *modelo del estudiante*, y *módulo pedagógico*, (ver sección 3.1), son sustituidos por otros, que se pueden considerar como una extensión de los mismos. Estos elementos son denominados: *modelo de la situación*, *modelo de interacciones* y *modelo de posibilidades*. A continuación se desarrolla esta idea.

En lo que respecta al dominio de conocimiento, ambos tipos de sistemas necesitan representarlo, aunque en el caso de los STIs, suele tratarse de un conocimiento formal y definido en forma de hechos, principios, etc. (*modelo del experto*), y en el de los sistemas CSCL se basa en representar situaciones de aprendizaje, *modelo de situación*. Este último, además de otras cuestiones, puede contener representaciones referidas al dominio de conocimiento a las que el

aprendiz podrá acceder a lo largo del proceso. En este caso, el dominio no es una descripción del conocimiento que se debe aprender, sino de los recursos disponibles en una situación de aprendizaje. De esta forma, el dominio debe aparecer en ambos entornos, aunque no necesariamente con el mismo nivel de detalle, ni con los mismos objetivos.

Las *estrategias pedagógicas* de los STIs tradicionales estaban basadas en planes bien delimitados que debían seguir los estudiantes para aprender. En los enfoques constructivistas, el sistema tiene un comportamiento menos intrusivo, y como mucho intenta ofrecer al alumno las posibilidades de interacción que se consideren más provechosas en un determinado momento (*modelo de posibilidades*). Este modelo puede ser visto como una extensión de las estrategias pedagógicas tradicionales.

Por último, Self presenta la evolución del *modelo del estudiante* al *modelo de interacciones*. Un modelo del estudiante se determina mediante el análisis de las acciones del estudiante referidas al conocimiento del dominio, con el objetivo de identificar errores o falta de conocimiento que pueden ser la base para una intervención del tutor. Desde una perspectiva constructivista, el proceso de construcción del aprendizaje es al menos tan importante como el producto final. Por ello, el modelo del estudiante debe concentrarse en modelar el proceso interactivo a lo largo del tiempo (*modelo del proceso de interacción*), considerando las acciones, los contextos en que han ocurrido y las estructuras cognitivas del estudiante en el momento. Estas estructuras cognitivas son de naturaleza diferente a la buscada en los STIs, ya que se consideran en relación con los contextos y las actividades que constituyen las interacciones de aprendizaje. Desde esta perspectiva, el modelo del proceso de interacciones puede ser visto como un superconjunto del modelo del estudiante típico de un STI.

El adoptar una visión integradora ayuda a reforzar la idea de que muchos de los métodos en que se basaba la investigación sobre STIs siguen siendo muy valiosos para la implementación de sistemas CSCL que puedan intervenir de alguna manera en el ambiente, en lo que se ha dado en llamar I-CSCL (*Intelligent CSCL*). Por ejemplo, la tecnología de agentes, especialmente la de los sistemas de agentes distribuidos [Dil99a].

5.2 Consideraciones finales y trabajo futuro

Hemos visto en este trabajo cómo el desarrollo de sistemas de informática educativa responde a una diversidad de paradigmas, que partiendo de distintos presupuestos sobre la naturaleza del aprendizaje, construyen un conjunto de objetivos, métodos y preguntas diferentes. Creemos que es necesario tener en cuenta este enfoque global a la hora de realizar un trabajo coherente, lo que ayudaría a superar algunos problemas detectados en la práctica. Por ejemplo, no tiene sentido realizar ni aplicar sistemas CSCL sin abandonar el enfoque instructivista propio de la enseñanza tradicional.

Sin embargo, hemos visto también cómo la investigación en informática educativa no puede estudiarse aislando totalmente los diversos paradigmas, puesto

que la realidad no responde nunca a esta separación teórica. Además, muchas técnicas y preocupaciones desarrolladas en un paradigma pueden ser de gran utilidad en el resto.

Nos hemos centrado en el estudio de la evaluación de estos sistemas, especialmente en cómo los sistemas pueden apoyar la evaluación formativa del aprendizaje que ellos mismos intentan provocar. Para ello, se han considerado dos de los paradigmas más influyentes en el área de la investigación educativa, el STI y el CSCL. En el caso de este último paradigma se han introducido otros aspectos relativos a la evaluación: cuestiones relativas al proceso de desarrollo de los sistemas, métodos para apoyar la evaluación a posteriori, etc. Esto responde a que en estos sistemas el aprendizaje es considerado una manifestación social, que depende del contexto, y por lo tanto no puede ser estudiado de forma aislada.

Este documento se ha escrito en el contexto de un trabajo en curso, que se va a centrar fundamentalmente en el desarrollo de la propuesta realizada en el capítulo 4. Los principios sobre los que se asienta la misma son el fruto del trabajo realizado durante estos dos años, y por lo tanto pueden ser vistas como **conclusiones** del mismo, a la vez que una descripción de los fundamentos sobre los que se asentará el **trabajo futuro**. A continuación se enumeran estos principios:

- Investigación interdisciplinar y basada en métodos cualitativos.
La experiencia adquirida con los sistemas aquí presentados nos lleva a reforzar la necesidad de realizar la investigación en el ámbito de la informática educativa con un enfoque interdisciplinar, y a seguir buscando formas de facilitar este tipo de trabajo. El marco DELFOS ha demostrado ser un medio para conseguir este objetivo, pero también se han detectado diversas cuestiones en las que el marco debe ser refinado para mejorar el proceso de implementación de aplicaciones CSCL.
A lo largo del trabajo se ha ido viendo cómo la evaluación de sistemas complejos, con múltiples factores sociales en juego no puede hacerse de forma exclusivamente cuantitativa, y con métodos experimentales. Asumir este cambio de visión supone muchos retos nuevos, entre los que destaco la necesidad de cambiar el tipo de objetivos planteados: no es posible plantear un esquema clásico de investigación, con un conjunto de hipótesis generalizables y una recogida de datos que ayude a confirmarlas o desecharlas. La investigación buscará más bien comprender los procesos, y con ello, ganar conocimiento en cómo la colaboración puede ser útil en el aprendizaje.
- Necesidad de profundizar en el estudio de las interacciones.
Se ha visto cómo la evaluación en los entornos constructivistas es un problema complicado, y un área de investigación activa actualmente. Es necesario profundizar en el estudio de las interacciones que se producen en los entornos de aprendizaje colaborativo.
Para llevar a cabo esta tarea, los sistemas CSCL proporcionan la posibilidad de construir herramientas que automaticen en parte los procesos de

evaluación. Por tanto, un objetivo de trabajo claro para los tecnólogos es el desarrollo de este tipo de herramientas, que aprovechen la capacidad para registrar los eventos producidos, y para procesar los datos de diversas maneras, para facilitar los procesos de evaluación. Como se ha visto, estas herramientas han de tener en cuenta la evolución en el tiempo de la colaboración, los contextos en que se esta tiene lugar, y las estructuras cognitivas del estudiante.

- Opción por la reusabilidad y la interoperabilidad.
La experiencia de desarrollo de varias aplicaciones con el marco DELFOS ha permitido comprobar la existencia de elementos que son comunes en varias de ellas. Por ejemplo, la herramienta de revisión de procesos, la de almacenamiento de datos, etc. Se ha visto, sin embargo, que dichas herramientas se han desarrollado sin tener en cuenta criterios de reusabilidad y con soluciones específicas. Esta experiencia nos lleva a la necesidad de plantear, dentro del marco DELFOS un desarrollo basado en componentes software reutilizables, y basado en tecnologías estándar.
- Aprovechar la experiencia y resultados de otros paradigmas.
Como se ha querido mostrar en este último capítulo, el hecho de cambiar de paradigma no debe hacernos olvidar la cantidad de métodos, herramientas y la experiencia acumulada en otros paradigmas. En concreto, muchos de los esfuerzos realizados dentro del paradigma STI para modelar el conocimiento deberán ser tenidos en cuenta por el paradigma CSCL, que a su vez necesita realizar tareas de modelado adaptadas a sus presupuestos.

El objetivo final será el diseño de una metodología para analizar patrones de interacción en entornos CSCL, en el contexto del marco DELFOS. El análisis de interacciones tiene como fin apoyar la evaluación formativa en el marco, de forma que ésta sirva como mecanismo para la mejora iterativa del diseño de aplicaciones, y para el refinamiento del marco DELFOS. Este trabajo es el que conforma la propuesta de trabajo de tesis que se pretende realizar en el futuro, y que se presenta en [Mar00].

5.3 Agradecimientos

Este trabajo ha surgido de la colaboración de la autora con dos grupos de trabajo: el grupo que ha llevado a cabo el proyecto SIAL y el grupo EMIC (Educación, Medios, Informática y Cultura). A todos sus miembros doy las gracias por las múltiples aportaciones recibidas a lo largo de estos dos años. También quiero agradecer a los estudiantes de post y pre-grado que han colaborado con los mismos su ayuda, fundamental para la realización de los proyectos. El trabajo que aquí se presenta ha sido financiado parcialmente por los proyectos VA04/99, VA19/99 y VA33/99 de la Junta de Castilla y León.

Referencias

- [ACKP95] J.R. Anderson, A.T. Corbett, K.R. Koedinger, y R. Pelletier. Cognitive tutors: lessons learned. *Journal of Learning Sciences*, 4:167–207, 1995.
- [AS99] Jerry Andriessen y Jacobijn Sandberg. Where is education heading and how about AI? *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:130–150, 1999.
- [AS00] Fabio N. Akhras y John A. Self. System intelligence in constructivist learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 2000. Pendiente de publicación.
- [ASF99] S.R. Alpert, M.K. Singley, y Peter G. Fairweather. Deploying intelligent tutors on the web: an architecture and an example. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:183–197, 1999.
- [BBD⁺99] M.T. Blasco, J.L. Barrio, Y.A. Dimitriadis, C.A. Osuna, O.M. González, M.J. Verdú, y D. Terán. From co-operative learning to the virtual class. An experience in composition techniques. *ultiBASE journal*, Diciembre 1999. Disponible en <http://ultibase.rmit.edu.au/Articles/blasco/blasco1.htm> [08/10/2000].
- [BBP00] Mark Burton, Paul Brna, y Rachel Pilkington. Clarissa: A laboratory for the modelling of collaboration. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11:79–105, 2000.
- [BC99] Paul Brna y Bridget Cooper. Classroom conundrums: Evaluating complexity. En Martin Oliver, editor, *The evaluation of Learning Technology, Conference proceedings, London Voluntary Resource Centre*, U.K., nov 1999. University of North London.
- [BE00] Stephen P. Borgatti y Martin G. Everett. Network analysis of 2-mode data, 2000. Publicado en <http://www.anlytictech.com/borgatti/2mode.htm> [09/07/2000].
- [BEF99] S.P. Borgatti, M.G. Everett, y L.C. Freeman, editores. *UCINET 5.0 Version 1.00*. Analytic Technologies, Natick, 1999.
- [Bo100] Benedict du Bolay. Can we learn from ITSS? En Gauthier et al. [GFV00], pp. 9–17.
- [BSC00] Basic Support for Cooperative Work, 2000. <http://bscw.gmd.de> [08/10/2000].
- [BV00] Beatriz Barros y M. Felisa Verdejo. Analysing student interaction processes in order to improve collaboration. The DEGREE approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 2000. Pendiente de publicación.
- [CA95] A.T. Corbett y J.R. Anderson. Knowledge decomposition and subgoal reification in the ACT programming tutor. En *Proceedings of the AIED 95: 7th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, 1995.
- [CL73] Chiang-Liang Chang y Richard Char-Tung Lee. *Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving*. Academic Press, Inc., San Diego, 1973.
- [CRC97] G. Chin, M. Rosson, y J. Carroll. Participatory analysis: Shared development of requirements from scenarios. En *Proceedings of the ACM Human Computer Interface, Atlanta, USA*, Marzo 1997.
- [Cro98] C. Crook. *Ordenadores y Aprendizaje Colaborativo*, chapter Interacciones colaborativas en torno a los ordenadores y a través de ellos, pp. 232–271. Morata, Madrid, España, 1998.

- [DBB⁺00] Y.A. Dimitriadis, J.L. Barrio, M.T. Blasco, C. Osuna, y A.M. Becerril. EMIC: lecciones de la trayectoria de un grupo transdisciplinar en telemática y educación. En *III Congreso Internacional de Formación y Medios, Valladolid, 2-3 julio 2000*, 2000.
- [DBBO95] P. Dillenbourg, M. Baker, A. Blaye, y C. O'Malley. The evolution of research on collaborative learning. En H. Spada y P. Reinmann, editores, *Learning in Humans and Machines. Towards an Interdisciplinary Learning Science*. Elsevier Science, Oxford, U.K., primera edición, 1995.
- [Dil94] Pierre Dillenbourg. The role of artificial intelligence techniques in training software. En *Proceedings of LEARNTEC 1994, Karlsruhe, Germany*, Noviembre 1994.
- [Dil99a] Pierre Dillenbourg, editor. *Collaborative Learning. Cognitive and Computational Approaches*. Elsevier Science Ltd., Oxford, U.K., 1999.
- [Dil99b] Pierre Dillenbourg. Introduction; What do you mean by "Collaborative Learning"? En Pierre Dillenbourg, editor, *Collaborative Learning. Cognitive and Computational Approaches*, pp. 1–19. Elsevier Science Ltd., Oxford, U.K., 1999.
- [Dri94] Marcy P. Driscoll. *Psychology of Learning for Instruction*. Prentice Hall, Needham Heights, MA, USA, 1994.
- [FM95] Pablo Fernández Berrocal y M^a Ángeles Melero Zabala, editores. *La interacción social en contextos educativos*. Siglo XXI editores, S.A., Madrid, España, 1995.
- [Gal92] Alvaro H. Galvis P. *Ingeniería de Software Educativo*. Ediciones Uniandes, Santafé de Bogotá D.C., Colombia, 1992.
- [GDD00] M.J. Gallego, R. Díaz, y Y. Dimitriadis. Aprendiendo de forma colaborativa en un entorno de proyectos con apoyo telemático en un contexto real. En *VIII Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, San Sebastián, Septiembre 2000*.
- [GFV00] Gilles Gauthier, Claude Frasson, y Kurt VanLehn, editores. *Intelligent Tutoring Systems: 5th international conference; Proceedings / ITS2000, Montréal, Canada, June 19-23, 2000*, volumen 1839 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, Berlin, 2000.
- [GP85] J. Gimeno Sacristán y A. Pérez Gómez, editores. *La enseñanza: su teoría y su práctica*. Akal editor, Méstoles, Madrid, España, 1985.
- [GSG95] Carl Gutwin, Gwen Stark, y Saul Greenberg. Support for workspace awareness in educational groupware. En *Conference of Computer Supported Collaborative Learning 1995*, 1995. Publicado en <http://www-cscl95.indiana.edu/csl95/gutwin.html> [09/10/2000].
- [Har00] Andreas Harrer. Interaction analysis at coordination level with semi-structured interfaces. En *Analysis and Design of Educational Interactions. Workshop Notes, ECAI 2000, Berlin*, pp. 17–23, Agosto 2000.
- [Hol99] W. Neville Holmes. The myth of the educational computer. *IEEE Computer*, sep 1999.
- [IEE99] IEEE society reports on emerging technologies, 1999. Disponible en <http://www.ieee.org/organizations/tab/emertech.html> [08/10/2000].
- [Iss99] Kim Issroff. Time-based analysis of students studying the Periodic Table. En Littleton y Light [LL99], pp. 46–61.
- [JPW99] David H. Jonassen, Kyle L. Peck, y Brent G. Wilson. *Learning with Technology: a constructivist perspective*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1999.

- [Kei98] T. Keinonen. One-dimensional usability. Influence of usability on consumers' product preference. En *Publicación No. A21*. UIAH, Helsinki, Finlandia, 1998.
- [Kos96] T. Koschmann. Paradigms shift and instructional technology. En T. Koschmann, editor, *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, pp. 1–23. Lawrence Erlbaum, Mahwah, N.J, 1996.
- [Kyn99] Chronis Kynigos. Perspectives in analysing classroom interaction data on collaborative computer-based mathematical projects. En *Proceedings of Computer Supported Collaborative Learning, 1999, Stanford, Palo Alto, California*, pp. 333–342, Diciembre 1999. Disponible en <http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/> [08/10/2000].
- [LdA96] Antonio Latorre, Delio del Rincón, y Justo Arnal. *Bases Metodológicas de la Investigación Educativa*. GR2, Barcelona, España, 1996.
- [Lit99] Karen Littleton. Productivity through interaction. En Littleton y Light [LL99], pp. 179–194.
- [LL99] Karen Littleton y Paul Light, editores. *Learning with Computers: Analysing productive interaction*. Routledge, London, U.K, 1999.
- [Mar00] Alejandra Martínez. Proyecto de tesis. Análisis de interacciones en entornos de aprendizaje colaborativo asistido por ordenador, 2000. Departamento de Informática, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- [MEP⁺99] Alejandra Martínez, Cristina Escudero, Mónica Pajares, César Osuna, Rocio Anguita, y Yannis Dimitriadis. Collaborative construction of educational materials in internet. En M.Ortega y J. Bravo, editores, *Congreso Nacional de Informática Educativa, CONIED'99, Puertollano, Ciudad Real*, Ciudad Real, Spain, Noviembre 1999. ADIE.
- [MO99] A. Mitrovic y S Ohlsson. Evaluation of a constraint-based tutor for a database language. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:238–256, 1999.
- [MOB⁺00] A. Martínez, C. Osuna, A.M. Becerril, Y. Dimitriadis, P. de la Fuente, L. Barrio, y T. Blasco. Modeling interactions with a conceptual framework. En *Analysis and Design of Educational Interactions. Workshop Notes, ECAI 2000, Berlin*, pp. 1–9, Agosto 2000.
- [MS99] A. Martínez y A. Simón. SIAL: An intelligent system for the learning of logic. En *Proceedings of the Young Researchers Track, AIED 99: 9th World Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 77–78, Julio 1999.
- [MSM⁺00] A. Martínez, M. A. Simón, J.A. Maestro, López M., y C. Alonso. Student modelling and interface design in SIAL. En Gauthier et al. [GFV00], p. 659.
- [Mur99] Tom Murray. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:1050–1059, 1999.
- [MW99] Neil Mercer y Rupert Wegerif. Is 'exploratory talk' productive talk? En Littleton y Light [LL99], pp. 79–101.
- [NC99] Dennis C. Neale y John M. Carroll. Multi-faceted evaluation of complex, distributed activities. En *Proceedings of Computer Supported Collaborative Learning, 1999, Stanford, Palo Alto, California*, pp. 425–433, Diciembre 1999. Disponible en <http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/> [08/10/2000].
- [NLP99] Kari Nurmela, Erno Lehtinen, y Tuire Palonen. Evaluating CSCL log files by Social Network Analysis. En *Proceedings of Computer Supported Collaborative Learning, 1999 Standord, Palo Alto, California*, pp. 434–442,

- Diciembre 1999. Disponible en [http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/\[08/10/2000\]](http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/[08/10/2000]).
- [OD99] C.A. Osuna y Y.A. Dimitriadis. A framework for the development of educational collaborative applications based on social constructivism. En *Proceedings of CYTED RITOS International Workshop on Groupware, CRIWG '99, Cancún, Quintana Roo, México*, pp. 71–80. IEEE Computer Society Press, Septiembre 1999.
- [ODD99] César Osuna, Raquel Díaz, y Yannis Dimitriadis. Telematic tool for developing social skills destined to adolescents. En *Conference Supplement European Computer Supported Collaborative Work, Copenhagen, Dinamarca*, Septiembre 1999.
- [Oli97] M. Oliver. A framework for evaluating the use of educational technology. Informe Técnico BP ELT Report no 1, University of North London, U.K, 1997. Disponible en <http://www.unl.ac.uk/elt/elt1.htm> [08/09/2000].
- [Osu00] César Osuna. *DELFO: Un marco telemático educativo basado en niveles orientado a situaciones de aprendizaje cooperativo*. PhD thesis, Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática. Universidad de Valladolid, Valladolid, Diciembre 2000.
- [PC95] C. Porter y J. Cleland. *The Portfolio as a Learning Strategy*. Boynton/Cook Publishers, Portsmouth, NH, 1995.
- [PH85] M. Parlett y D. Hamilton. *La enseñanza: su teoría y su práctica*, chapter La evaluación como iluminación, pp. 450–466. En Gimeno Sacristán y Pérez Gómez [GP85], 1985.
- [PMPB99] R. Pilkington, J. McKendree, H. Pain, y P. Brna, editores. *Analysing Educational Dialogue Interaction: Towards Models that Support Learning. Workshop 3, 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AI-ED 99, Le-Mans, France*, Julio 1999.
- [Py188] Zenon W. Pylyshyn, editor. *Computación y conocimiento*. Editorial Debate, Madrid, 1988.
- [RAGA00] Liam Rourke, Terry Anderson, D.R. Garrison, y Walter Archer. Methodological issues in the content analysis of computer conference transcripts. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 2000. Pendiente de publicación.
- [RGG99] Gregorio Rodríguez Gómez, Javier Gil Flores, y Eduardo García Jiménez. *Metodología de la investigación cualitativa*. Ediciones Aljibe, España, 1999.
- [RJB98] J. Rumbaugh, I. Jacobson, y G. Booch. *The Unified Modeling Language. Reference Manual*. The Addison-Wesley Object Technology Series, USA, 1998.
- [RM99] Lucia Rohrer-Murphy. Activity theory. En David H. Jonassen, Martin Tessmer, y Wallace H. Hannum, editores, *Task analysis methods for instructional design*, pp. 159–172. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey, 1999.
- [SB96] Marlene Scardamalia y Carl Bereiter. Computer support for knowledge-building communities. En T. Koschmann, editor, *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, pp. 249–268. Lawrence Erlbaum, Mahwah, N.J, 1996.
- [Sco00] John Scott. *Social Network Analysis. A Handbook*. SAGE Publications, London, U.K., second edición, 2000.
- [Sel99] J. Self. The defining characteristics of intelligent tutoring systems: ITSs care, precisely. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10:350–364, 1999.

- [SMM98] M. A. Simón, J.M. Marqués, y J.A. Maestro. Desarrollo de aplicaciones software que faciliten la asimilación de los contenidos teóricos de las asignaturas. En *Actas del IV Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Comunicaciones y Ponencias, Tomo I*, pp. 305–314, 1998.
- [SMM⁺00] M. A. Simón, A. Martínez, J.A. Maestro, M. López, , J.M. Marqués, y C. Alonso. Learning computational logic with an intelligent tutoring system: SIAL. En *Proceedings of the First International Congress on Tools for Teaching Logic, University of Salamanca, Salamanca, Spain, June 2000*, pp. 161–168, 2000.
- [SW97] Elliot Solloway y Raven Wallace. Does the internet support student inquiry? Don't ask. *Communications of the ACM*, 40(5), may 1997.
- [Uni98] V Programa Marco para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico. Acción clave III. Contenidos y herramientas multimedia. Educación y formación., 1998. Disponible en <http://www.cordis.lu/fp5/home.html> [08/04/2000].
- [VAK99] A.L. Veerman, J.E.B. Andriessen, y G. Kanselaar. Collaborative learning through computer-mediated argumentation. En *Proceedings of Computer Supported Collaborative Learning, 1999, Stanford, Palo Alto, California*, pp. 640–650, Diciembre 1999. Disponible en http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/monday/A_L_Veerman_640.pdf [08/10/2000].
- [Vaq98] Antonio Vaquero. Las TIC para la enseñanza, formación y el aprendizaje. *Novática*, 132:4–14, Marzo 1998.
- [VB99] M.Felisa Verdejo y Beatriz Barros. Combining user-centered design and activity concepts for developing computer-mediated collaborative learning environments: a case example. En *Proceedings of Edmedia'99*, 1999.
- [W3C00] Extensible markup language (XML), 2000. <http://www.w3.org/XML/> [08/10/2000].
- [WF94] Stanley Wasserman y Katherine Faust. *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1994.
- [WOLB92] L. Wos, R. Overbeek, E. Lusk, y J. Boyle. *Automated reasoning: introduction and applications*. Mc. Graw Hill, 1992.
- [Wor99] Donald W. Wortham. Nodal and matrix analyses of communication patterns in small groups. En *Proceedings of Computer Supported Collaborative Learning, 1999, Stanford, Palo Alto, California*, pp. 681–690, Diciembre 1999. Disponible en <http://sll.stanford.edu/CSCL99/papers/> [08/10/2000].