

Universidad Autónoma de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Grado en Ingeniería Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CUESTIONARIOS ADAPTATIVOS PARA EL APOYO AL APRENDIZAJE

Pablo Molins Ruano
Tutor: Pilar Rodríguez Marín

JUNIO 2015

Abstract

Abstract — The introduction of technologies in teaching-learning environments is a possibility that brings many promising hopes. The areas where technology can contribute to education are very wide, and so, this work is focused in the evaluation process. Based on the principles of the *Computer Adaptive Tests* (CAT) and the *Adaptive Educational Hypermedia* (AEH) as a result of this Final Project an online and adaptive system for assistance learning process is presented: e-valUAM.

The development of e-valUAM has aspired to achieve the following objectives: a) Allow teachers, in any discipline, to create adaptive online questionnaires that serve to the teachers or the students themselves to measure their knowledge in a way challenges each student; b) that is not necessary to have advanced knowledge in computer to respond, or create questionnaires; c) make available to the teacher automatic analysis tools to facilitate its work of identifying deficiencies in the evaluation process; and d) implement a robust, flexible system that properly abstracts the dynamics of evaluation, so it can be used in real environments.

Throughout the life of this project has been created two functional and incremental prototypes that have been used for the academic years 2013/2014 and 2014/2015. To create both prototypes it has been conducted a complete analysis of requirements that has collected the characteristics and needs that should cover the system. Then there has been a design that has created domain, user and adaptation models that have been implemented after in e-valUAM.

Both prototypes have been successfully tested in real environments which have encompassed diverse disciplines. Thanks to this tool, students have been available to self-assessment questionnaires that have provided them with early feedback, teachers have been able to create automatic correction tests in which errors have been detected quickly and a group of researchers has been able to test new models of adaptive testing.

Key words — Computer Adaptive Tests, Adaptive Educational Hypermedia, adaptive systems, online systems, evaluation methodologies, teaching-learning environments.

Resumen

Resumen — La introducción de las tecnologías en los procesos de enseñanza-aprendizaje es una posibilidad que trae consigo muchas y prometedoras esperanzas. Las áreas donde la tecnología puede aportar a la educación son muy amplias, por lo que este trabajo se centra en el proceso de evaluación. Basándose en los principios de los *Computer Adaptive Tests* (CAT) y la *Adaptive Educational Hypermedia* (AEH), como resultado de este Trabajo Fin de Grado se presenta un sistema de ayuda al aprendizaje online y adaptativo: e-valUAM.

Con la creación de e-valUAM se ha aspirado a alcanzar los siguientes objetivos: a) Permitir crear a profesores de cualquier disciplina cuestionarios online adaptativos que sirvan para que los profesores o los propios alumnos puedan medir sus conocimientos de una forma que resulte un reto justo a cada alumno; b) que no sea necesario disponer de un conocimiento avanzado en informática para responder o crear los cuestionarios; c) poner a disposición del profesor herramientas automáticas de análisis que faciliten su labor de detección de deficiencias en el proceso de evaluación; y d) implementar un sistema robusto, flexible y que abstraiga correctamente las dinámicas de una evaluación, para que pueda ser utilizado en entornos reales.

A lo largo de la vida del proyecto se han creado dos prototipos funcionales e incrementales que han sido utilizados durante los años académicos de 2013/2014 y 2014/2015. Para crear ambos prototipos se ha llevado a cabo un completo análisis de requisitos que ha recogido las características y las necesidades que debía cubrir el sistema. A continuación, se ha realizado un diseño en el que se han creado modelos de dominio, usuario y adaptación que después han sido implementados en e-valUAM.

Ambos prototipos han sido probados con éxito en entornos reales que han englobado disciplinas dispares. Gracias a esta herramienta, los alumnos han tenido a su disposición cuestionarios de autoevaluación que les han aportado retroalimentación temprana, los profesores han podido crear exámenes de corrección automática en los que han detectado rápidamente errores y un conjunto de investigadores han podido probar nuevos modelos de cuestionarios adaptativos.

Palabras clave — Computer Adaptive Tests, Adaptive Educational Hypermedia, sistemas adaptativos, sistemas online, metodologías de evaluación, entornos enseñanza-aprendizaje.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin que hace tres años Sacha y Pilar me dejaran jugar con ellos. Quiero creer que gracias a ello ahora soy un poco menos “yogurín”. Gracias a Sacha por brindarme esta oportunidad y haberme empujado estos años y a Pilar por su impagable consejo, ayuda y paciencia.

También quiero dar las gracias a Covadonga Sevilla, Francisco L. Borrego, Santiago Atrio y Simone Santini por haber accedido a utilizar e-valUAM en sus clases. Así mismo, gracias (o perdón) a todos los alumnos de las asignaturas de “Historia Antigua I” del Grado en Historia, “El Entorno como Instrumento Educativo” del Grado en Educación Infantil, “Proyecto de Programación” del Doble Grado en Informática y Matemáticas y “Diseño y Análisis de Algoritmos” del Grado y Doble Grado en Ingeniería Informática.

Gracias a mis compañeros de carrera, con los que estos cuatro años se han hecho mucho más divertidos: Álvaro, Dani, Diego, Euler, Isa, José, Julian, María, Miguel, Mónica y Rober. Gracias a los compañeros que traje de antes, aún conservo y tanto me han acompañado. Gracias también a todos los grandes profesores con los que he tenido el placer de aprender estos cuatro años.

Por último, gracias a mis padres y a mi increíble hermana Lucía.

“I don’t know what’s the matter with people: they don’t learn by understanding; they learn by some other way—by rote or something. Their knowledge is so fragile!”

Richard P. Feynman. “Surely you’re joking, Mr. Feynman!”

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Glosario | IX |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Marco y antecedentes | 2 |
| 1.3. Alcance y objetivos | 3 |
| 1.4. Estructura del documento | 5 |
| 2. Estado del Arte | 7 |
| 2.1. <i>Computerized Adaptive Testing</i> | 7 |
| 2.2. <i>Adaptive Educational Hypermedia</i> | 11 |
| 3. Diseño y desarrollo | 15 |
| 3.1. Visión general | 15 |
| 3.2. Análisis de requisitos | 17 |
| 3.2.1. Análisis funcional | 17 |
| 3.2.2. Análisis no funcional | 20 |
| 3.3. Diseño | 20 |
| 3.3.1. Interfaz de navegación | 21 |
| 3.3.2. Modelo de los usuarios | 21 |
| 3.3.3. Modelo del dominio | 22 |
| 3.3.4. Modelo de adaptación | 23 |
| 3.3.5. Motor de adaptación | 25 |
| 3.4. Desarrollo: e-valUAM | 25 |
| 3.4.1. Visión general | 25 |
| 3.4.2. Tecnologías y lenguajes empleados | 26 |
| 3.4.3. Base de datos | 26 |
| 3.4.4. Módulos asociados al docente | 28 |
| 3.4.5. Módulos asociados al estudiante | 32 |
| 4. Pruebas y resultados | 35 |
| 4.1. 2013/2014: Primer prototipo | 35 |
| 4.2. 2014/2015: Segundo prototipo | 37 |
| 4.2.1. Test de conocimientos informáticos | 37 |
| 4.2.2. Alumnos del Grado en Educación Infantil | 38 |
| 4.3. Comparativa con otras soluciones | 40 |
| 5. Conclusiones | 43 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Bibliografía | 47 |
| Apéndices | 49 |
| A. Estructura del proyecto | 51 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| 4.1. Datos de uso del primer prototipo. | 35 |
| 4.2. Datos de uso del test de conocimientos informáticos. | 38 |
| 4.3. Datos de uso del segundo prototipo utilizado para evaluación. | 39 |
| 4.4. Datos de uso del segundo prototipo utilizado para la entrega del trabajo. . | 39 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Diagrama de flujo de un CAT | 10 |
| 2.2. Abstracción de un sistema adaptativo | 12 |
| 3.1. Jerarquía de las entidades | 16 |
| 3.2. Algoritmo para determinar la siguiente pregunta | 24 |
| 3.3. Diagrama entidad relación de la base de datos | 27 |
| 3.4. Interfaz de e-valUAM para el profesor | 29 |
| 3.5. Menú de edición para un elemento | 29 |
| 3.6. Subida de elementos multimedia | 30 |
| 3.7. Visor de elementos multimedia | 31 |
| 3.8. Recuperación de exámenes | 32 |
| 3.9. Ejemplo de preguntas de un examen | 33 |
| 4.1. Interfaz del módulo del examen del primer prototipo | 36 |
| 4.2. Flujo de trabajo propuesto por SIETTE [27] | 41 |

Glosario

AEH

Adaptive Educational Hypermedia. 7, 11–13, 40, I, III

AH

Adaptive hypermedia. 11

CAT

Tests adaptativos por ordenador, por sus siglas en inglés, *Computer Adaptive Tests.* 7–10, 23, 40, I, III, XI

CTT

Classical Test Theory. 40

e-valUAM

Nombre con el que se conoce al sistema adaptativo para ayuda al aprendizaje desarrollado como parte de este Trabajo Fin de Grado.. 25, 35, 37–39

IRT

Item Response Theory. 9, 40, 42

MOOC

Curso en línea, masivo y abierto; por sus siglas en inglés, *Massive Open Online Course.* 1, XIII

SPOC

Curso online pequeño y privado, por sus siglas en inglés, *Small Private Online Course.* Término acuñado para referirse a una versión de un MOOC usado localmente con estudiantes presenciales.. 1

TEL

Aprendizaje asistido por tecnologías, por sus siglas en inglés, *Technology-Enhanced Learning.* 1

1 Introducción

En esta sección se detallará qué ha motivado la realización de este Trabajo Fin de Grado. A continuación, se explicará en qué marco se ha llevado a cabo, así como el alcance del proyecto, especificando sus objetivos. Por último, se expondrá la estructura que sigue el resto del presente documento.

1.1 Motivación

La revolución que ha supuesto la introducción de las tecnologías informáticas en el día a día es una revolución de un profundo calado. La informática ha traído consigo mejoras inconmensurables en las comunicaciones, la automatización o el desarrollo científico que, en general, han permitido al ser humano librarse de tareas repetitivas y dedicar más esfuerzo a tareas verdaderamente interesantes.

La educación ha bebido de los avances en informática pero a un ritmo mucho menor que otras áreas, a pesar de ser uno de los pilares sociales. Aunque cada día es más habitual el aprendizaje asistido por tecnologías (TEL) con el uso de ordenadores en las aulas, Internet como recurso docente o la introducción de pizarras digitales, **gran parte de la actividad educativa ha permanecido inalterada, anclada en modelos tradicionales**. Por ejemplo, en muchos casos la evaluación de los alumnos a día de hoy se sigue basando principalmente en cuestionarios creados cada año, que los alumnos responden en papel y los profesores corrigen a mano, uno a uno.

Pero, la evaluación tradicional de los alumnos puede conllevar problemas. Por un lado, al crearse cada año un nuevo conjunto de preguntas es posible que haya alguna pregunta mal planteada que no se descubra hasta la corrección. Así mismo, la cantidad ingente de tiempo que dedican los profesores en crear y corregir los exámenes es tiempo que dedican en tareas ingratas y repetitivas que podrían ser eliminadas. Ese tiempo también se traduce en que los alumnos sufran retrasos a la hora de recibir retroalimentación sobre su empeño, una información que es muy valiosa y de la que cuanto antes dispongan, mejor.

La aparición recientemente de nuevas líneas de investigación en educación y tecnologías, como los MOOC o los SPOC, demuestran que **existe interés en el tema** de la aplicación de la tecnología a entornos de enseñanza-aprendizaje.

De todos esos posibles campos donde la educación y las tecnologías pueden encontrarse, **este trabajo se centra en la parte de la evaluación del conocimiento**, como herramienta del estudiante como del docente para medir el desempeño del alumno. En ambos casos, esa información puede resultar clave. Hoy en día, aún en algunos casos, el alumno obtiene retroalimentación solo una vez por asignatura y justo al final. En otros casos, el alumno tendrá varios exámenes parciales, que le darán una información muy valiosa, pero a costa de un mayor esfuerzo del profesor.

Creyendo que la tecnología puede aportar mucho al proceso de evaluación, en este trabajo **se presenta una propuesta de un sistema adaptativo orientado a crear cuestionarios que sirvan de apoyo al aprendizaje, ya sea como sistema de autoevaluación de los alumnos o sistema de evaluación para los docentes**. Buscando que sea útil en la mayor cantidad de áreas del conocimiento y contextos posibles, se ha creado para que sea fácil de usar, sin que los usuarios necesiten disponer de los conocimientos informáticos especiales.

Así mismo, buscando que ahorre tiempo al profesorado, se ha creado un sistema que permite fácilmente crear nuevos cuestionarios, que se evalúen automáticamente y que vayan acompañados de un análisis de los resultados automático. Con ello se busca también que el docente pueda detectar lo más rápido posible las lagunas en sus alumnos y mejorar así ambos en el proceso enseñanza-aprendizaje.

1.2 Marco y antecedentes

Durante el curso académico 2011/2012 empezó una colaboración entre miembros de la Escuela Politécnica Superior y la Facultad de Filosofía y Letras, ambas de la Universidad Autónoma de Madrid. Gracias a dicha colaboración, durante los cursos 11/12 y 12/13 se llevaron a cabo varias experiencias en las que alumnos de los Grados en Ingeniería Informática e Historia colaboraban en la creación de videojuegos, resultando en un método docente altamente motivador [1] [2].

De estas primeras experiencias surgió un esfuerzo interdisciplinar enfocado en la introducción de las tecnologías en el proceso docente. Durante finales del curso 12/13 se decidió explorar nuevas posibilidades, esta vez centrándose en los cuestionarios adaptativos utilizados para la evaluación. En ese momento fue cuando surgió la línea de investigación en la que se enmarca este TFG.

En este sentido, durante el verano de 2013 se empezaron a definir unos modelos iniciales

de usuario y de adaptación, que se plasmarían en un primer prototipo del sistema que se desarrollo para realizar las primeras experiencias en una asignatura del Grado de Historia durante el curso 2013/2014.

Con la incorporación al estas experiencias de profesores de la Facultad de Formación de Profesorado y Educación, también de la UAM, se inició el desarrollo de un segundo prototipo que se utilizó, esta vez, en una asignatura del Grado en Magisterio en Educación Infantil, explorando nuevos modelos, nueva funcionalidad y en un entorno con más usuarios.

Esta investigación ha sido apoyada por la Convocatoria de Proyectos de Innovación Docente de la Universidad Autónoma de Madrid durante los cursos 2012/2013, 2013/2014, y 2014/2015, y por una Beca de Colaboración del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para el curso 2014/2015.

1.3 Alcance y objetivos

Dentro de la línea de investigación en la que se engloba el proyecto, **este Trabajo Fin de Grado no se ha centrado en la parte psicométrica, sino en la parte técnica del mismo**. Para probar los modelos planteados a lo largo de la investigación desde el principio se entendió como necesario crear un sistema online que implementara los modelos que se querían probar, para que pudiera ser utilizado en experiencias reales y de ahí obtener resultados que analizar. Así, este TFG tiene como sus objetivos:

- Disponer de un sistema que **permita a profesores crear cuestionarios online** para que sean utilizados como herramienta de autoevaluación por los alumnos o como parte de una evaluación por parte del docente.
- Que sea un sistema que puedan utilizar profesores y alumnos de **múltiples áreas del conocimiento, sin que necesiten conocimientos informáticos avanzados**.
- Habilitar para el profesor **herramientas de análisis** que le permitan detectar rápidamente las deficiencias que puedan existir en las preguntas elaboradas o en el conocimiento de los alumnos.
- Desarrollar un **sistema web robusto ante los picos de demanda** que suponen todos los alumnos de un curso accediendo a la vez durante un examen.

-
- Crear un **modelo de datos que abstraiga las entidades y relaciones de una evaluación**, que permita guardar toda la información posible para realizar análisis posteriores.
 - Diseñar una **arquitectura para el sistema que sea flexible** y permita incorporar los nuevos modelos que se van a ir desarrollando con la investigación.

Algunos de los resultados de los antecedentes o resultados parciales obtenidos hasta ahora han sido publicados en las siguientes comunicaciones o artículos:

- **Molins-Ruano, P.**, Sevilla, C., Santini, S., Haya, P. A., Rodríguez, P., & Sacha, G. M. (2014). "Designing videogames to improve students' motivation". in *Computers in Human Behavior*, 31, 571-579.
- González-Sacristán, C., **Molins-Ruano, P.**, Díez, F., Rodríguez, P., & Sacha, G. M. (2013, November). "Computer-assisted assessment with item classification for programming skills." in *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality* (pp. 111-117). ACM.
- **Molins-Ruano, P.**, Borrego-Gallardo, F., Sevilla, C., Jurado, F., Rodriguez, P., & Sacha, G. M. (2014, November). "Constructing quality test with e-valUAM." in *Computers in Education (SIIE), 2014 International Symposium on* (pp. 195-200). IEEE.
- **Molins-Ruano, P.**, González-Sacristán, C., Díez, F., Rodriguez, P., & Sacha, G. M. (2014). "Adaptive Model for Computer-Assisted Assessment in Programming Skills." arXiv preprint arXiv:1403.1465.
- **Molins-Ruano, P.**, Rodriguez, P., Atrio, S & Sacha, G.M. (2015) "Modelling expert' behavior with e-valUAM to measure computer science skills." Enviado *Computers & Education*.

Por último, y puesto que el sistema requiere de autenticación para poder ser explorado, se ha creado una cuenta a tal propósito cuyo nombre de usuario y contraseña son *TFG*. El sistema está disponible en <http://sacha.ii.uam/e-valUAM> para acceder como alumno y en <http://sacha.ii.uam/e-valUAM/profesor> para acceder como profesor. La cuenta tiene permisos tanto de alumno como de profesor, por lo que se pueden explorar libremente todo el sistema.

1.4 Estructura del documento

En el siguiente capítulo, sobre el estado del arte, se presenta una breve revisión de la evolución de los cuestionarios adaptativos por ordenador y de las dos fuentes principales de técnicas usadas en este trabajo: los *Computer Adaptive Tests* y la *Adaptive Educational Hypermedia*.

A continuación, se presenta un capítulo dedicado a las fases de análisis, diseño y desarrollo de la solución propuesta. En este capítulo se detalla la metodología de proyecto elegida, el análisis de requisitos (funcionales y no funcionales), además de la división del sistema en módulos y cómo se han implementado todos ellos.

En el cuarto capítulo, dedicado a las pruebas y resultados, se exponen los resultados obtenidos con cada uno de los dos prototipos desarrollados, explicando los entornos reales donde se probaron, además de cuál fue su desempeño.

El siguiente capítulo expone las conclusiones del trabajo además de unas notas sobre el trabajo futuro, seguido de la bibliografía y una serie de apéndices.

2 Estado del Arte

En esta sección se presentan las dos áreas más importantes en las que se ha basado este Trabajo Fin de Grado: el *Computerized Adaptive Testing* o CAT y la *Adaptive Educational Hypermedia*, o AEH.

Los CAT se engloban dentro de una teoría de la psicometría que exploró por primera vez la posibilidad de hacer exámenes que se adapten de forma automática a las características y el conocimiento del examinado. Primero se detalla la historia, ventajas e inconvenientes que conllevan, además de en qué medida ha influido en este trabajo.

A continuación, se detalla las aportaciones de AEH, una línea de investigación que busca resultados similares al de los CAT con aportaciones de las investigaciones sobre modelo de usuarios. De nuevo, también se revisa brevemente la evolución, ventajas y limitaciones de esta aproximación, además de las aportaciones que ha aportado a este trabajo.

2.1 *Computerized Adaptive Testing*

A lo largo de toda la historia de la evaluación se ha buscado el equilibrio entre exámenes individuales y colectivos, intentando buscar la evaluación más óptima. En un examen individual se puede lograr una batería de preguntas en las que no haya ninguna inapropiada y asegurar que el evaluado entiende correctamente la tarea. En los exámenes colectivos se asegura que la evaluación ha sido uniforme para todos los evaluados, a la vez que se reduce enormemente el coste de evaluar [3].

Hacia la década de los setenta aparecieron los primeros trabajos que exploraban la posibilidad de crear exámenes administrados masivamente pero adaptados a los individuos y sus características, eligiendo las nuevas preguntas en función de las respuestas anteriores y ofreciendo una retroalimentación instantánea [4]. Desde un principio fue evidente que este nuevo tipo de evaluación solo sería posible gracias a los ordenadores, por lo que pasó a conocerse como *Computerized Adaptive Testing*.

Entre las mejoras que prometían los CAT destacaban las siguientes [5]:

1. **Aumentaría la seguridad de los test**, ya que se almacenaría un conjunto de

preguntas y no solo aquellas preguntas que específicamente se van a realizar. Así, si alguien obtuviera acceso a las preguntas no puede mejorar su nota sencillamente estudiando unas cuantas (solo podría mejorar su nota estudiando un porcentaje muy elevado de las preguntas, en cuyo caso se merecería buena nota).

2. **Cada persona podría realizar el examen a su ritmo.** Además, se podría conocer el **tiempo que ha tardado en responderse cada pregunta**, información que puede ser útil para evaluar.
3. **A todo el mundo se le presentaría un reto, sin que nadie se desalentara.** A cada individuo se le presentarían las preguntas del rango de dificultad más adecuado para él.
4. **Los problemas asociados con el carácter físico de las hojas de respuestas tradicionales desaparecerían.** No existiría ambigüedad en respuestas a medio marcar o medio borrar, la pérdida de la hoja o las dudas sobre lo que está escrito en la hoja.
5. **El examen podría ser corregido inmediatamente**, reduciendo el tiempo que el alumno tiene que esperar para obtener retroalimentación, lo cual es especialmente útil en los exámenes dirigidos a ser utilizados para autoevaluación.
6. **Facilitaría realizar un precalibrado de los test**, ya que el sistema puede ir introduciendo progresivamente nuevas preguntas para ser calibradas.
7. **Se podrían eliminar inmediatamente preguntas defectuosas.**
8. Una enorme variedad de **nuevos formatos de preguntas podrían ser explorados**. El sistema de respuesta múltiple no sería el único válido. Se podrían crear problemas aritméticos a las que deba introducirse una respuesta numérica. Utilizando sintetizadores de voz, se podrían hacer exámenes de ortografía. Se podrían utilizar vídeos para sustituir largas explicaciones en exámenes de juicio situacional.

Desde entonces, los CAT se han utilizado con éxito para múltiples propósitos, como la mejora de competencias lingüísticas [6], la identificación de estilos de aprendizaje [7], al desarrollo de la habilidades matemáticas [8], o la evaluación del estado de salud [9]. Así mismo, se ha comprobado que los sistemas educativos que dan retroalimentación

inmediata a los alumnos son más efectivos que otras estrategias de aprendizaje más clásicas [10].

Sin embargo, pesar de todas las ventajas teóricas que ofrecen, los CAT han presentado algunos inconvenientes que deben ser tratados. Destacan los siguientes [3]:

1. **Nuevos modelos de examen requieren crear nuevas teorías psicométricas.**

Para el caso de los CAT ha sido bastante utilizada la *Item Response Theory*, o IRT. La IRT es un modelo matemático que caracteriza qué ocurre cuando a un individuo se le presenta una nueva pregunta. Cada individuo es caracterizado por un valor de competencia y cada pregunta por una dificultad y se busca elegir la mejor pregunta en función de esos dos valores [11].

2. Los CAT requieren de una extensa batería de preguntas, lo que hace complicada **la correcta calibración de las preguntas**. La estrategia más común para asegurar un buen proceso de calibración implica que la batería sea probada por una amplia población [8]. Sin embargo, dado que el pre-calibrado no siempre es posible, se utilizan modelos de estudiantes con el fin de perfeccionar la calidad de la estrategia de evaluación [12] [13] [14].

3. En los entornos CAT hay tres preguntas clave:

- a) ¿Cómo se determina con qué pregunta empieza el test?
- b) ¿Cómo se determina la siguiente pregunta que debe plantearse una vez hemos visto la respuesta del examinado a la pregunta actual?
- c) ¿Cómo se determina cuándo parar el test?

La elección de la respuesta a estas tres preguntas no es trivial ni única.

Existen muchos algoritmos de comienzo, continuación y parada y al ser tres partes claves del flujo que sigue todo CAT (como se puede ver en la figura 2.1), la mínima variación en cualquiera de ellos genera sistemas muy distintos. Cada nuevo modelo que aporte una nueva versión de los tres algoritmos necesita ser **probado para asegurar su confiabilidad, precisión y validez** [3].

El presente TFG toma como punto de partida la teoría sobre los CAT, aunque con algunas modificaciones. Se le ha dado importancia a que el sistema incluya herramientas de análisis para cumplir con la promesa de eliminar las preguntas defectuosas, o habilitar

Adaptive Test Logic

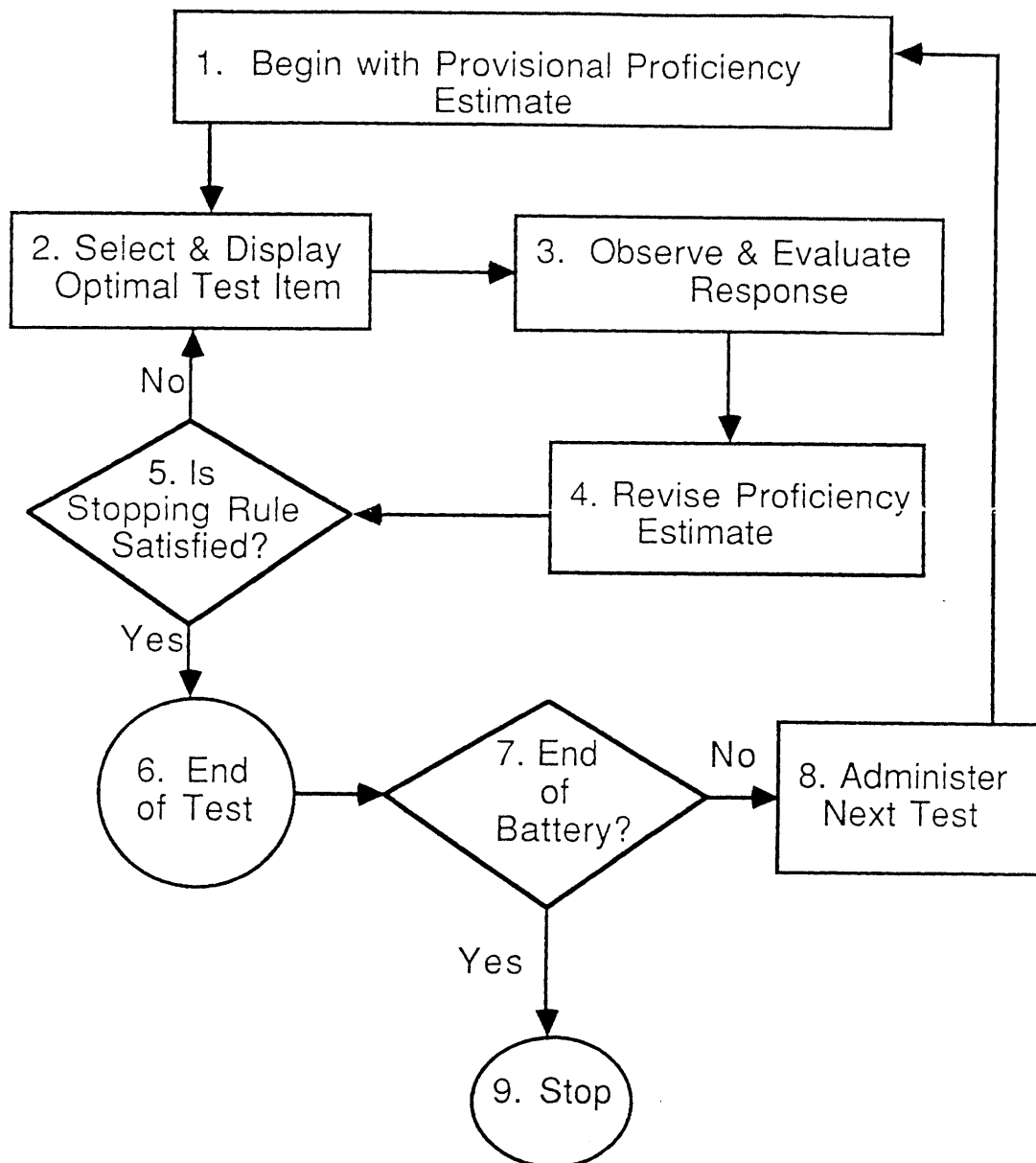


Figura 2.1: Diagrama de flujo de un CAT. Propuesto en el libro ‘Computerized Adaptive Testing: A primer’ [3]

posibilidades de nuevos tipos de preguntas, en este caso utilizando ficheros multimedia. El esquema de la figura 2.1 representa una abstracción del flujo que sigue nuestra propuesta, mientras que la elección de la respuesta a las tres preguntas ha venido condicionada por la investigación.

2.2 *Adaptive Educational Hypermedia*

Un importante salto ocurrió cuando en la década de los 90 se empezó a investigar la adaptación hipermedia (AH), y más concretamente, la *adaptive educational hypermedia* o AEH. **La madurez de las tecnologías relacionadas con la web presentó una nueva oportunidad** y un desafío para todo tipo de aplicaciones educativas por ordenador. Muchos sistemas adaptativos se transformaron en sistemas online, ante las posibilidades que la web ofrecía para este tipo de sistemas [15] [16]. Tal fue el interés que para finales de la década prácticamente todas las tecnologías de la adaptación hipermedia habían sido ya reimplementadas para ser utilizadas sobre la web [17].

Desde un principio se detectó que la adaptación era aún más relevante en los sistemas web, principalmente por dos motivos [18]:

1. La mayoría de las aplicaciones educativas basadas en la web tienen en su naturaleza el objetivo de ser **utilizadas por una variedad mucho más amplia de usuarios** que cualquier aplicación independiente.
2. Los estudiantes suelen trabajar con los sistemas educativos basados en la web por su cuenta (a menudo en casa) y **no pueden obtener el asistencia inteligente y personalizada que un profesor o la de un compañero a la que tendría acceso en un aula normal.**

Para afrontar el reto de cómo adaptar, **una abstracción muy utilizada en estos modelos es el que se representa en la figura 2.2.** El usuario (representado arriba a la izquierda) interacciona con el sistema a través de una **interfaz de navegación** que representa el estado del **motor de adaptación**, componente que articula al resto de módulos. El modelo del dominio, de adaptación y el modelo de los usuarios son las herramientas de las que el motor de adaptación obtiene la información que le permite dar una respuesta adecuada a cada situación.

El **modelo del dominio** recoge las relaciones entre los entes que componen el dominio del problema. El **modelo del usuario**, a su vez, recoge la información que existe sobre el

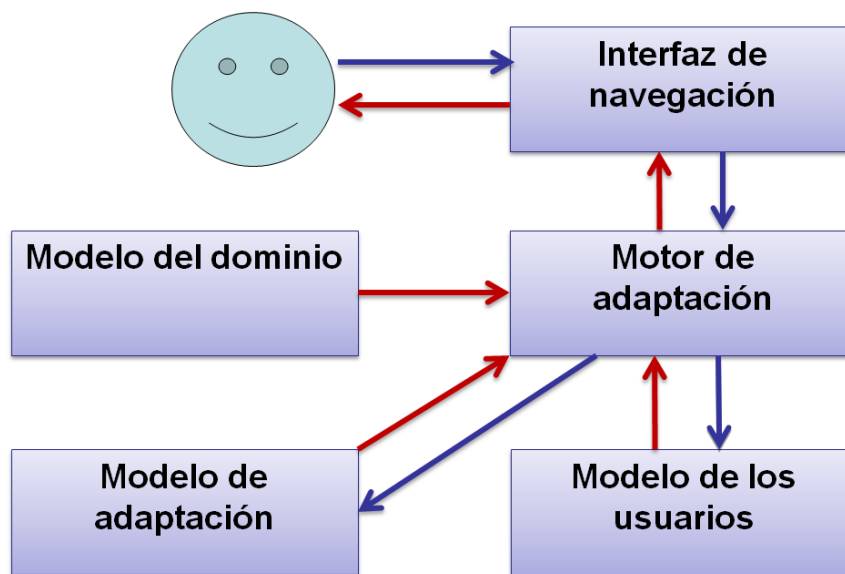


Figura 2.2: Abstracción de un sistema adaptativo

usuario, tanto establecida a priori como observada durante el uso del sistema. El **modelo de adaptación** recopila la información relativa a cómo debe ir adaptándose la aplicación a los inputs que vaya recibiendo y la información del resto de modelos. Mientras que el modelo del dominio se puede considerar estático, en el sentido de que permanece estable durante la vida del mismo, el modelo de adaptación y el modelo de los usuarios son modelos dinámicos que van incorporando nueva información en función de las interacciones del usuario con el sistema [19].

En la literatura se distingue entre **dos conjuntos de técnicas para realizar la adaptación: la adaptación de contenido y la adaptación de navegación** [20].

La **adaptación de contenido** tiene como objetivo adaptar la información presentada al usuario de acuerdo a su estilo cognitivo y a sus conocimientos. Para llevar a cabo la adaptación se pueden utilizar las técnicas de texto condicional o la de página condicional. Con la técnica del texto condicional, una página se divide en fragmentos y cada uno es completado con un texto distinto. Con la técnica de variante de página lo que se hace es tener preparadas varias páginas distintas entre las que se repartirán los usuarios dependiendo de sus características. La **adaptación de navegación** tiene como objetivo ayudar a los usuarios a encontrar un camino adecuado en un entorno AEH. Una técnica muy habitual es la manipulación de la selección y la presentación de los enlaces que se muestran al usuario para navegar por la página [21].

Para la realización de este proyecto, de todas las técnicas englobadas en AEH, han sido especialmente relevantes la **organización en módulos** siguiendo la figura 2.2, que es la base del diseño de la aplicación, además de la **adaptación de contenido**, que es la técnica que se ha utilizado para realizar la adaptación durante los exámenes que realizan los alumnos.

3 Diseño y desarrollo

En este capítulo se presentan los resultados de las fases de **análisis, diseño y desarrollo del proyecto**. Primero se presenta una visión general del sistema, seguida de un apartado donde se detallarán los requisitos, tanto funcionales como no funcionales, que se han identificado. A continuación, se explica el diseño realizado y como ha sido implementado.

Como se ha mencionado, este proyecto nació asociado a una investigación y sus orígenes se han creado varios prototipos incrementales, por ello, no se ha utilizado una metodología en cascada clásica sino que **se ha seguido un modelo de ciclo de vida en espiral**, partiendo del descrito en [22]. A pesar de que el modelo describe varias iteraciones, en esta sección se presentan agrupados los resultados finales a los que se han llegado entre todas las iteraciones, para facilitar su lectura.

3.1 Visión general

El sistema que se detalla en los apartados siguientes es un sistema online adaptativo creado para que sirva de apoyo a la enseñanza. Para ello, los profesores crearan unos cuestionarios que serán accesibles para los estudiantes. Así, existen dos roles de usuario con capacidades distintas: el **rol docente** y el **rol estudiante**. El primero tiene disponible herramientas de creación y análisis de resultados, mientras que el segundo tiene a su disposición herramientas para realizar los cuestionarios.

Para facilitar la labor del profesor, se ha creado una **jerarquía de entes** que le ayuden a clasificar las preguntas. Como se ve en la figura 3.1, el ente más importante es la materia. **Cada materia es una agrupación de preguntas y cada pregunta lleva asociada una serie de respuestas**. El número de materias, de preguntas por materia o de respuestas por pregunta no está previamente definido en el sistema, sino que se deja a voluntad del profesor.

Una vez que se han creado todas las preguntas de una materia, **el profesor puede crear un cuestionario**. Cuando el cuestionario sea realizado por un alumno, el sistema elegirá para mostrar al alumno alguna de las preguntas asociada con dicha materia.

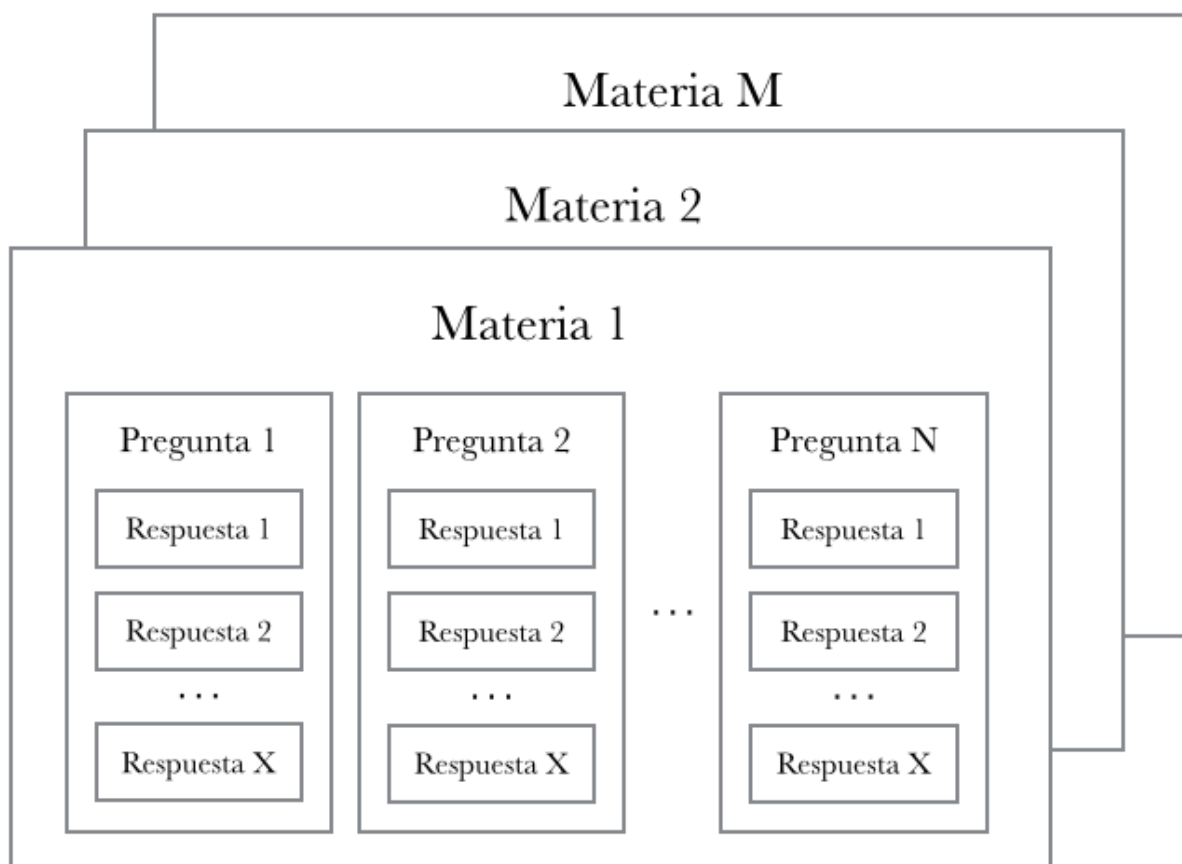


Figura 3.1: Jerarquía de las entidades

3.2 Análisis de requisitos

Los requisitos aquí detallados son el resultado de un análisis a priori sobre qué necesidades debía cubrir el sistema más a las que se ha ido incorporando paulatinamente nuevas necesidades que se detectaron al ser utilizado en entorno reales.

3.2.1 Análisis funcional

RF 1. Gestión de usuarios.

- RF 1.1.** El sistema deberá permitir crear cuentas de usuario. Las cuentas tendrán un nombre de usuario y contraseña que identifiquen a cada usuario.
- RF 1.2.** Cada cuenta de usuario tendrá un rol en cada asignatura en la que participe. Podrá ser un rol docente o rol estudiante. Dependiendo del rol que tenga, la cuenta podrá acceder a unas u otras funcionalidades en cada sección del sistema, como se detalla más adelante.
- RF 1.3.** El equipo docente de cada asignatura determinará qué alumnos pertenecen a sus grupos.

RF 2. Creación y gestión de materias. *Rol docente.*

- RF 2.1.** Dentro de su asignatura, el docente podrá crear tantas materias como necesite. Cuando cree una materia, deberá establecer un título, el número de niveles en los que se clasificarán las preguntas y el número de respuestas que tendrá cada una.
- RF 2.2.** Una vez creada una materia, el docente podrá modificar su configuración, bajo ciertas condiciones. Podrá cambiar el título siempre, pero solo podrá cambiar el número de niveles y el número de respuestas cuando no haya preguntas asociadas a la materia o cuando el número se incremente. Para disminuir alguno de los dos valores, deberá borrar antes todas las preguntas asociadas a la materia.

RF 3. Creación y gestión de preguntas y respuestas. *Rol docente.*

- RF 3.1.** Existiendo al menos una materia, los docentes podrán crear preguntas y respuestas asociadas a dicha materia.
- RF 3.2.** Cuando se cree una pregunta nueva, deberá indicarse la materia a la que pertenece (que deberá haber sido creada previamente), el nivel, el enunciado, la

respuesta correcta y el resto de respuestas. El número de respuestas que deberá escribir vendrá condicionado por el valor establecido en la materia relativa.

RF 3.3. Opcionalmente, se podrá asociar ficheros multimedia a las preguntas. Se pueden asociar imágenes o audio tanto al enunciado como a cada una de las respuestas. Si se desea asociar un fichero multimedia, deberá especificarse el nombre del fichero.

RF 3.4. Opcionalmente, se podrá establecer un mensaje de feedback asociado a la pregunta.

RF 3.5. Una vez creada una pregunta, el docente podrá modificar cualquier atributo o borrar dicha pregunta. En ambos casos, se mantendrá una copia en la base de datos de la antigua pregunta para que los alumnos no vean alterados sus cuestionarios una vez realizados.

RF 4. Subida y gestión de ficheros multimedia. *Rol docente.*

RF 4.1. Existiendo al menos una materia, los docentes podrán subir ficheros de audio (en formato mp3) o imagen (con extensión gif, png, jpeg o jpg) y asociarlos a dicha materia para utilizarlos después en alguna pregunta de la materia.

RF 4.2. Se podrá consultar un listado de todos los ficheros multimedia ya subidos a una materia, que mostrará el nombre de cada fichero además de mostrar la imagen o permitir reproducir el audio.

RF 4.3. Se podrá actualizar un fichero subiendo otro al servidor con el mismo nombre.

RF 5. Creación y gestión de cuestionarios. *Rol docente.*

RF 5.1. Existiendo al menos una materia y preguntas suficientes en cada nivel, el profesor podrá crear un cuestionario. Al hacerlo deberá definir un nombre, si es un cuestionario de prueba (que no será visible a los alumnos), la materia que se usará como banco de preguntas, el número de preguntas que deberán contestarse en cada intento, el tiempo máximo, si el examen acepta respuestas con duda y cómo deberá mostrarse el resultado a los alumnos.

RF 5.2. Una vez creado un cuestionario, el docente podrá eliminar el cuestionario. Esto no afectará, en ningún caso, a la información almacenada sobre los cuestionarios ya respondidos por alumnos.

RF 5.3. Los docentes podrán acceder a un listado de todos los cuestionarios ya creados.

RF 6. Realización de cuestionarios. Rol estudiante.

- RF 6.1.** Una vez creado un cuestionario por un profesor, y si está marcado como visible, los alumnos podrán acceder a él.
- RF 6.2.** Una vez que un estudiante acceda a un cuestionario, se le irán mostrando preguntas que deberá ir contestando. Las preguntas se mostrarán en función de las respuestas previas y los niveles establecidos por el profesor.
- RF 6.3.** Si las preguntas van asociadas a ficheros multimedia, estos se mostrarán al estudiante mientras responde. Si aceptan la opción de responder con duda, el alumno tendrá a su disposición un método de establecer que ha respondido con duda.
- RF 6.4.** Para cada pregunta que el alumno responda, quedará almacenado en el sistema a qué cuestionario pertenece, cuando se responde, qué pregunta se ha formulado y cuál ha sido la respuesta elegida. Si hubiera opción de duda, también se mostrará si se ha dudado o no al responder.

RF 7. Visualización de resultados.

- RF 7.1.** Si el profesor ha establecido que los resultados se muestren al terminar el examen, se mostrará la nota final, todas las preguntas, junto con cuál ha sido la respuesta del alumno para cada pregunta y si esta ha sido correcta. El profesor también puede elegir que solo se muestre la nota, o ninguna información.
- RF 7.2.** Cuando una pregunta tenga una cadena de feedback asociada, se mostrará a los alumnos después de que respondan, junto con si la respuesta ha sido correcta o no.
- RF 7.3. Rol docente:** Los docentes podrán acceder a un listado con todos los intentos que han realizado cada alumno a cada cuestionario que hayan creado. Para cada cuestionario, podrán ver el detalle de cada uno, es decir, qué preguntas se respondieron, cuál fue la respuestas, si era correcta y el instante en el que se respondió.

RF 8. Análisis de resultados. Rol docente.

- RF 8.1.** El sistema implementará sistemas automáticos que ayuden al equipo docente a detectar preguntas conflictivas, es decir, aquellas donde el número de fallos sea inusualmente elevado, para que los docentes puedan analizar y corregir los defectos asociados a dichas preguntas.

3.2.2 Análisis no funcional

RNF 1. Interfaz

- RNF 1.1.** La interfaz que el sistema mostrará al estudiante debe ser intuitiva. Los estudiantes deben ser capaces de elegir un cuestionario y completarlo sin asistencia externa.
- RNF 1.2.** La interfaz para el equipo docente deberá ser fácil de aprender para profesores con o sin conocimientos informáticos avanzados.
- RNF 1.3.** Atendiendo a la diversidad de dispositivos con los que los usuarios trabajan, el sistema debe ser capaz de utilizarse en todos los tamaños de pantalla y poder ser utilizado con teclado y ratón o pantalla táctil.

RNF 2. Seguridad.

- RNF 2.1.** Debido a la confidencialidad que requieren las preguntas creadas por los profesores, el sistema deberá garantizar la no accesibilidad de ese contenido a usuarios no autorizados.
- RNF 2.2.** Todo usuario que acceda al sistema debe autenticarse previamente a través de un usuario/contraseña, para asegurar la autoría de las respuestas de los cuestionarios.

RNF 3. Modularidad.

- RNF 3.1.** El diseño realizado tiene que permitir que el modelo de evaluación sea modificable, es decir, que las modificaciones que se realicen en el modelo de evaluación involucren exclusivamente a una región claramente delimitada del código repartida exclusivamente en un fichero.

RNF 4. Rendimiento.

- RNF 4.1.** El sistema debe permitir que todos los alumnos de una clase puedan realizar a la vez el mismo cuestionario. En nuestro caso significa que, al menos, se puedan producir 50 accesos en simultáneo.

3.3 Diseño

Como ya se indicó en la sección sobre el estado del arte, los sistemas adaptativos pueden abstraerse como una serie de módulos:

-
- Interfaz de navegación.
 - Motor de adaptación.
 - Modelo de usuario.
 - Modelo del dominio.
 - Modelo de adaptación.

Esta clasificación ha sido la que se ha seguido para realizar el diseño. A continuación se dará una descripción más detallada de cómo se han diseñado estos los módulos en el sistema.

3.3.1 Interfaz de navegación

La interfaz de navegación es la parte del sistema encargada de permitir la interacción entre el sistema y el usuario. Debe representar ante el usuario la información del sistema que este deba conocer, además de recibir la entrada que el usuario genere para que el motor de adaptación pueda incorporarla.

En el diseño seguido para este trabajo se decidió utilizar las tecnologías web como base sobre la que construir, por lo que las funciones de la interfaz de navegación recaen principalmente en el navegador web del usuario. Aún así, el sistema crea y, sobre todo, adapta los ficheros html que envía al navegador del cliente.

3.3.2 Modelo de los usuarios

Como ya se ha dicho, el sistema tiene dos roles de usuarios claramente diferenciados: **rol docente y rol estudiante**. Las necesidades que tienen ambos roles respecto de la aplicación son radicalmente distintas. Mientras que a los docentes se les debe mostrar herramientas para la creación y gestión de cuestionarios, motorización de resultados y recuperación de exámenes, los estudiantes deben acceder a la ejecución de los cuestionarios, a cierta retroalimentación y a sus resultados. En ninguno de los dos roles podemos presuponer conocimientos informáticos avanzados.

Los modelos de usuario son **dinámicos** en el sentido de que van actualizándose a lo largo de la vida del sistema con información sobre la actividad de los usuarios. En concreto, el sistema va almacenando qué docentes están involucrados en qué materias, para que después solo se muestren a los docentes sus items, evitando que pueda modificar items

creados por otros profesores. Para los alumnos, el sistema va actualizando la información sobre los cuestionarios que ha intentado, cuándo lo ha hecho, la nota que ha sacado, las preguntas que se le han mostrado y qué respuesta dio a cada pregunta.

3.3.3 Modelo del dominio

La aplicación pretende ser una ayuda al aprendizaje y, por lo tanto, su dominio es **la actividad educativa**. Más concretamente, aquellas actividades relacionadas con comprobar, por parte del propio estudiante o de un docente, si el alumno ha adquirido correctamente ciertos conocimientos. Para ello, el equipo docente de una asignatura creará una serie de preguntas y respuestas, agrupadas por su contenido en materias, que utilizará para crear cuestionarios a los que los estudiantes tendrán acceso. Del resultado de dichos cuestionarios, tanto el estudiante como los docentes podrán conocer cómo están realizando su actividad y realizar los cambios que fueran necesarios.

Existen una serie de **materias**, que son las entidades que clasifican los conocimientos por similitud dentro de una asignatura. El concepto de materia en este modelo se utiliza para representar los conceptos del lenguaje común de *temas* o *partes* en los que se divide una asignatura. Dentro de cada materia existe un conjunto de preguntas, ordenadas por un nivel de relevancia.

La división de las preguntas en **niveles de relevancia** es una de las características del modelo propuesto. Con ello se busca **facilitar que el estudiante adquiera los conocimientos en el orden más adecuado**, asegurando que no se enfrenta a conceptos que dependen de otros hasta que domina los conceptos base. Esta división también ayuda a evitar que un estudiante obtenga una buena calificación en un examen porque haya aprendido a realizar los ejercicios, pero aún comprenda correctamente los conceptos básicos. Así, el docente deberá establecer en cuántos niveles de relevancia se divide una materia, además de establecer qué representa cada nivel. Por ejemplo, podría establecer que el nivel de menor número es relativo a un conocimiento más básico que el de mayor número.

Cada **pregunta** lleva asociada una serie de respuestas y solo una es la válida. Cada pregunta contiene la siguiente información:

- Enunciado.
- Nivel de relevancia.

-
- Imagen *Opcional*.
 - Audio *Opcional*.
 - Mensaje de retroalimentación *Opcional*.

Las **respuestas** se componen de:

- Texto principal (podría ser “No lo sé”).
- Variable booleana indicando si es la respuesta correcta o no.
- Imagen *Opcional*.
- Audio *Opcional*.

Una vez escritas preguntas, **el equipo docente puede crear cuestionarios**. Las cuestionarios pueden ser de autoevaluación para los alumnos o de evaluación clásica, aunque para el sistema son casos idénticos. El profesor puede **determinar cómo se mostrarán los resultados al alumno**. Puede establecer que al terminar de responder el cuestionario no se le muestre nada, solo su nota o su nota seguida de todas las preguntas, su respuesta y si ha sido correcta o no. Así mismo, el docente puede establecer si en ese cuestionario aparecerá la opción de marcar que se ha respondido con duda a la pregunta.

3.3.4 Modelo de adaptación

Como ya se ha explicado en la sección dedicada al estado del arte, de los dos tipos de técnicas de adaptación, la adaptación del contenido es la más relevante para el sistema y afecta sobre todo al estudiante. Las preguntas a las que un estudiante se enfrenta en un cuestionario depende de las respuestas que haya dado a las anteriores.

A la hora de crear un cuestionario en un sistema CAT hay que responder a tres preguntas: a) cómo elegir la primera pregunta, b) cómo elegir la siguiente pregunta, y c) cuándo parar el cuestionario.

Respecto a la elección de la primera pregunta, el modelo propuesto la elige de forma aleatoria de entre todas aquellas que pertenezcan al primer nivel. Con esto logramos que desde el principio cada intento sea distinto sin comprometer la justicia del cuestionario, ya que todos los alumnos empezarán respondiendo a preguntas de igual relevancia.

La elección de la siguiente pregunta depende de dos parámetros establecidos por el profesor: el número de preguntas que debe responder cada alumno en cada intento, N_v y el número de niveles en los que una pregunta se puede clasificar dentro de la materia asociada al cuestionario, N_l . El algoritmo de elección de la siguiente pregunta queda recogido en la figura 3.2.

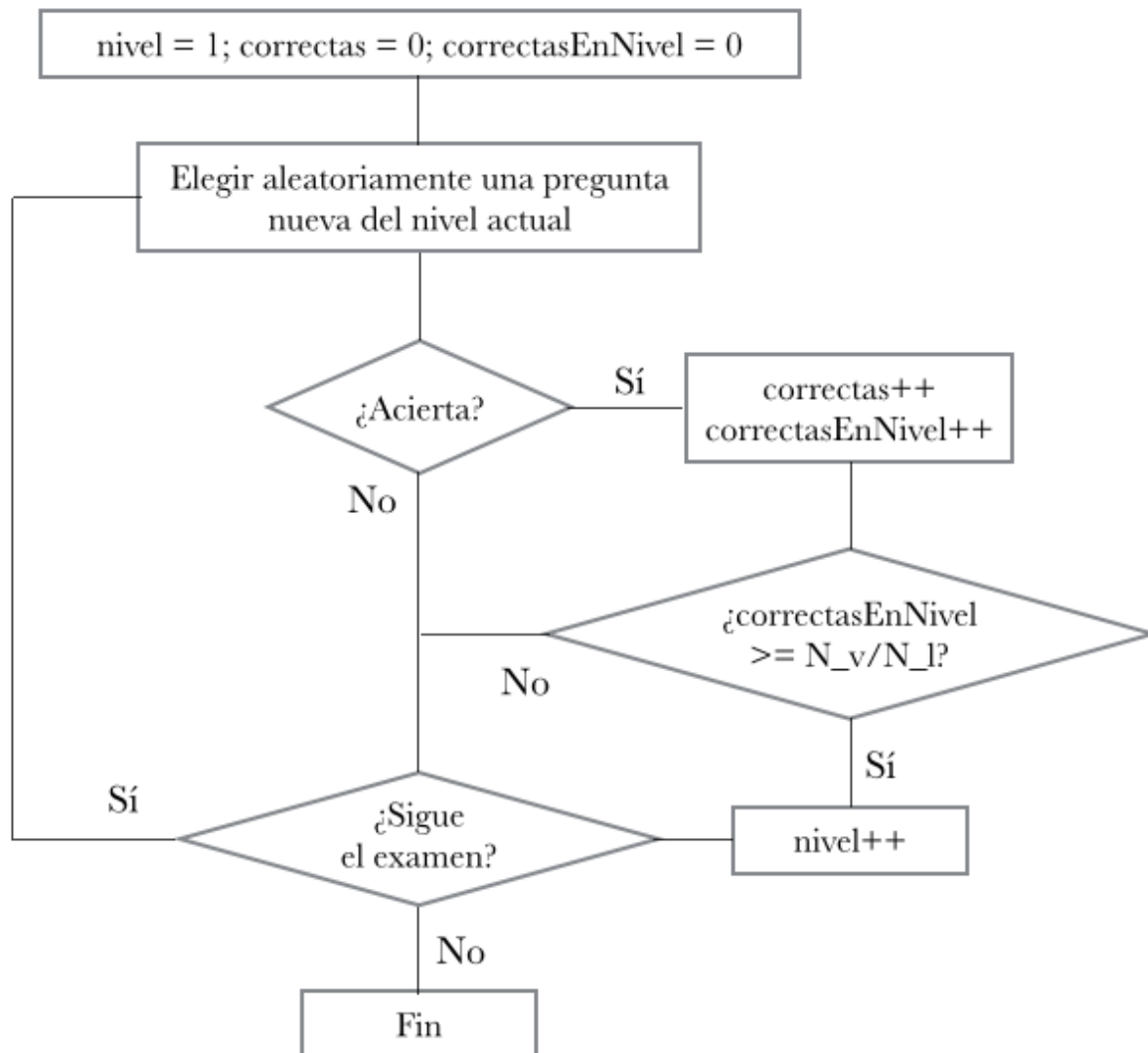


Figura 3.2: Algoritmo para determinar la siguiente pregunta

Se puede observar que cuando el alumno sube de nivel, ya solo responde a preguntas de ese nuevo nivel. Como el número de preguntas está limitado a N_v , es posible que un estudiante no llegue a responder preguntas de todos los niveles o incluso puede que solo responda preguntas del primer nivel. Una vez que se ha subido de nivel, no se puede bajar, aunque cada vez que se repita el cuestionario se volverá al primer nivel.

El cuestionario para, de nuevo, en función de parámetros establecidos por el profesor.

Por un lado, cuando crea un cuestionario establece N_v y el tiempo máximo disponible para terminar el cuestionario. El examen sencillamente para cuando el alumno agota el tiempo o ha respondido N_v preguntas, sin importar en qué nivel se encuentre o cuántas preguntas haya acertado hasta el momento.

Que la respuesta de una pregunta condicione la siguiente pregunta obliga a que el estudiante responda a cada pregunta, a diferencia de los cuestionarios clásicos, donde una pregunta puede dejarse sin respuesta y continuar con la siguiente. Para solucionar esta diferencia el equipo docente puede establecer que exista una opción adicional de respuesta que indique que el alumno no conoce la respuesta. Si está la opción, el sistema la tratará como respuesta incorrecta a la hora de seleccionar la siguiente pregunta.

3.3.5 Motor de adaptación

El reto del motor de adaptación está en que tiene que ser flexible, para poder permitir cambios en alguno de los modelos sin que eso requiera cambios en el resto de módulos. Este desarrollo se ha realizado asociado a una investigación que tenía entre sus objetivos el desarrollo de nuevos modelos de adaptación, por lo que al menos sabemos que ese módulo muy posiblemente cambiará. Por eso, en este diseño es importante que modificar el modelo de adaptación sea sencillo.

3.4 Desarrollo: e-valUAM

En esta sección se detalla cómo se han plasmado los requisitos y el diseño del proyecto en la plataforma online creada, e-valUAM, tomando como referencia lo expuesto en las secciones anteriores del presente capítulo.

3.4.1 Visión general

e-valUAM es el sistema web de creación y respuesta de cuestionarios para ayuda al aprendizaje en el que se ha plasmado este proyecto. Es un sistema que ha sido desarrollado para servir como herramienta de una investigación que viene existiendo desde los últimos dos años, tomando su forma definitiva especialmente en el último año. Para cada año académico se construyó un prototipo diferente que siempre fue una ampliación del prototipo anterior, siguiendo un modelo de desarrollo en espiral.

Además, esta sección está complementada por la información disponible en el apéndice A, que detalla cómo está estructurado el código del proyecto.

3.4.2 Tecnologías y lenguajes empleados

Al ser un sistema web, los lenguajes principales son aquellos relacionados con las tecnologías web. En concreto, se ha utilizado HTML5, CSS3 y Javascript para la parte del cliente, mientras que en el servidor se ha utilizado PHP 5. Para el desarrollo de la interfaz de usuario se han utilizado las librerías de Bootstrap 3 y jQuery.

En el lado del servidor se ha utilizado una máquina alojada en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid, con sistema operativo Windows 7, servidor Apache 2.2 y como gestor de base de datos PostgreSQL 9.3. Se eligieron proyectos de software libre para el software del servidor pensando en el día que se termine el proyecto y se publique, para que cualquiera pueda realizar una instalación del mismo sin tener que adquirir licencias de software, haciendo así más accesible la herramienta final.

Como editor de código se ha utilizado Sublime Text 3. Para el control de versiones git y como repositorio central, Github.

3.4.3 Base de datos

Para este proyecto se eligió una base de datos relacional al existir una clara estructura en los datos que convenía respetar. En la figura 3.3 se puede ver el diagrama entidad-relación.

Buscando hacer la base de datos lo menos propensa a errores posible, se transformó el diagrama anterior a una 3NF. Para ello, se crearon tantas tablas como entidades aparecen en el diagrama, además de algunas tablas auxiliares. En concreto, se crearon dos tablas más, una para cada una de las relaciones N a N (usuario-materia, usuario-cuestionario) con las claves primarias (y los atributos de la relación, en el caso de usuario-cuestionario).

Además, se creó una tabla para la relación triple entre usuario-cuestionario-respuesta. Esta relación recoge la información de cada respuesta que da cada alumno a cada pregunta que le aparece en cada cuestionario que realiza, guardando además el momento en el que se responde y si el alumno dudó al hacerlo. Aunque en un primer vistazo pueda parecer que existiendo esta relación sobra la relación entre usuario-cuestionario, ambas relaciones modelan información distinta. La relación usuario-cuestionario almacena el momento en el que un alumno empieza un cuestionario, y si lo termina, la nota que ha sacado en dicho intento, información independiente de cada una de las respuestas que vaya dando a lo largo del cuestionario, que es lo que guarda la relación triple.

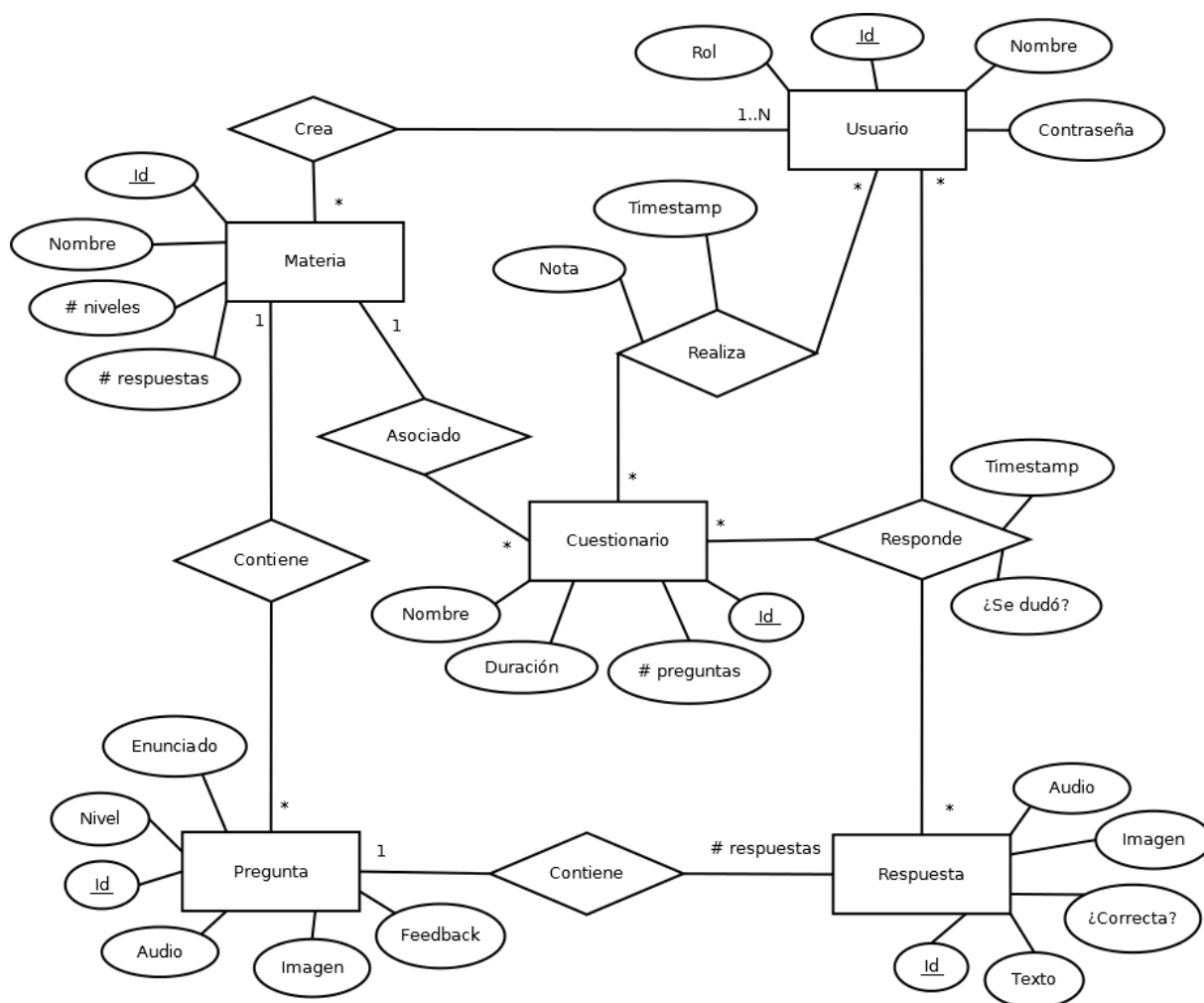


Figura 3.3: Diagrama entidad relación de la base de datos

3.4.4 Módulos asociados al docente

Los usuarios con rol docente pueden gestionar sus cuestionarios a través de la zona de profesor. Esta sección se divide en 4 módulos principales:

- Gestión de Materias, Preguntas y Exámenes.
- Ficheros multimedia.
- Recuperación de exámenes.
- Análisis de resultados.

A continuación se repasarán las características y el funcionamiento de cada uno de ellos.

Gestión de Materias, Preguntas y Exámenes

Los módulos de materias, preguntas y exámenes son los encargados de permitir al usuario crear y gestionar las materias, preguntas y cuestionarios, respectivamente. Los tres tienen un funcionamiento muy parecido, similar al mostrado en la figura 3.4.

A través del menú superior, al docente puede acceder a todas las secciones de la página. Al entrar en “Materias”, “Preguntas” o “Exámenes” verá una interfaz dividida en dos zonas.

La zona primera (a la izquierda en la imagen, arriba si se accediera desde un dispositivo con una pantalla pequeña) es la que sirve para crear un nuevo ítem en el sistema. Un formulario solicita al usuario toda la información relevante. Al pulsar en el botón de “Guardar”, y tras comprobar con Javascript que todos los campos necesarios han sido rellenados, se envía al servidor. En el servidor un fichero PHP recibe la información, la valida y si todo es correcto, la almacena en la base de datos.

La segunda zona (a la derecha en la imagen, al final de la página se se accede con una pantalla pequeña) es donde se lista la información ya almacenada en la base de datos. En formato tabular se muestran todas las entradas. A la derecha del todo se muestran dos botones para editar la información y borrarla.

Cuando se edita un elemento, aparece un formulario en primer plano con la información almacenada hasta el momento y la posibilidad de establecer un nuevo valor para cada

Elige una materia:

Las estaciones del año

Ver todas las preguntas

Añadir una nueva pregunta

Elige la dificultad:

1

- ☐ ¿La pregunta tiene una imagen principal?
- ☐ ¿Las respuestas son imágenes?
- ☐ ¿La pregunta va acompañada de audio?

Título:

Título de la pregunta

Respuesta correcta:

Respuesta #2:

Respuesta #3:

Guardar

Editar las preguntas

| Id | Dificultad | Enunciado | Imagen | Opciones |
|------|------------|---|--------|----------|
| 1061 | 1 | Abrigo. | | |
| 1062 | 1 | Un paraguas y un chubasquero. | | |
| 1063 | 1 | Sombrilla. | | |
| 1064 | 1 | Un cubo de hielo. | | |
| 1065 | 1 | Un niño con una camiseta de tirantes. | | |
| 1066 | 1 | Esquis. | | |
| 1067 | 2 | Árboles. | | |
| 1068 | 2 | Un cubo de hielo. | | |
| 1069 | 3 | Estaciones tres. | | |
| 1070 | 3 | Termómetro con la temperatura muy alta. | | |

Figura 3.4: Interfaz de e-valUAM para el profesor

campo. Al final del formulario se ofrecen dos botones, para guardar los cambios o descartarlos sin alterar la base de datos. Un ejemplo es la figura 3.5.

Editar

Nombre de la materia:

Las estaciones del año

Elige el número de niveles que tendrán los exámenes:

3

Elige el número de respuestas que tendrá cada pregunta:

3

Cerrar sin guardar

Guardar cambios

Figura 3.5: Menú de edición para un elemento

Si el usuario guarda los cambios, el navegador del usuario envía una petición AJAX

con la información del cambio, que es comprobado y procesado por un fichero PHP en el servidor. El servidor responde si se ha podido realizar el cambio o no, para avisar al usuario en caso de que se produjera un error. Si se intenta borrar el elemento, el sistema pedirá confirmación y lanzará una petición AJAX al servidor siguiendo el mismo proceso.

Ficheros multimedia

Para poder trabajar con ficheros multimedia, la web permite a los docentes subir nuevos ficheros o listar los que ya estén. Los ficheros multimedia van asociados a una materia, así que lo primero que debe elegirse es con qué materia se quiere trabajar, tanto para ver como para listar, .

El sistema acepta imágenes en formatos GIF, PNG o JPEG y audio en formato MP3. Cuando el profesor sube un fichero se guarda en una carpeta en el servidor diferente para cada materia, por lo que cada profesor puede tener sus propios ficheros sin interferir con los demás. En la base de datos, mediante el gestor de preguntas, se asocian los ficheros con las preguntas y las respuestas. Cuando deben mostrarse al usuario, sencillamente el servidor busca el fichero en la carpeta correspondiente para que su navegador se lo muestre al usuario.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

Oficina para el desarrollo de las Enseñanzas

Materias Preguntas Exámenes Ficheros multimedia Recuperar exámenes Cambiar la contraseña Ayuda y novedades Salir

Subida de ficheros

Si has creado preguntas que lleven audio o imágenes, tendrás que subir los ficheros antes de que las preguntas se puedan mostrar correctamente.

Elige a qué materia pertenece el fichero y el propio fichero.

Si ya existe un fichero con el mismo nombre en la materia elegida, el fichero anterior se borrará.

Puedes subir imágenes con extensión gif, png, jpeg o jpg. Puedes subir audio con extensión mp3.

Evita usar caracteres o símbolos no pertenecientes al alfabeto inglés al poner nombre a tus ficheros. La presencia de ñ, acentos, ü, ç o cualquier otro hará que tu fichero no se muestre correctamente.

Elige una materia:

Las estaciones del año

Fichero a subir:

Seleccionar archivo Ningún archivo seleccionado

Subir

Figura 3.6: Subida de elementos multimedia

Para que el profesor no tenga que recordar qué ficheros subió o el nombre de los mismos, se incluyó la sección de visión de ficheros. Sencillamente, cuando el docente elige una materia para mostrar, se solicita por AJAX al servidor un listado de todos los ficheros que hay asociados a ella. Cuando el navegador recibe respuesta empieza a mostrarlos si

son imágenes o a mostrar un reproductor si se trata de audio, como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7: Visor de elementos multimedia

Recuperación de exámenes

Aunque el sistema realiza una corrección automática de los cuestionarios respondidos por los alumnos, es posible que aún así los profesores deseen revisar los exámenes, ya sea para comprobar personalmente el desempeño de un alumno o para revisar con él sus respuestas o su calificación.

Con ese fin se creó el módulo de recuperación de exámenes. Cuando el profesor lo selecciona en el menú, aparece un listado con todos los cuestionarios que ha creado en algún momento. Cuando selecciona alguno de ellos, gracias a una petición AJAX, se muestra un listado con todos los intentos que ha realizado cada alumno respondiendo a ese cuestionario.

Cuando el profesor selecciona un intento en concreto, el sistema muestra ordenadamente todas las preguntas que se eligieron para ese intento, junto a la respuesta que el alumno seleccionó, además de si esta es correcta o no. Para poder realizar esta operación correctamente es por lo que si un profesor modifica una pregunta no se borra de la base de datos, sino que se almacenan ambas versiones, de tal forma que siempre se recupera el examen tal y cómo lo vio el alumno en su momento.

Recuperar exámenes

En esta página se pueden ver las respuestas que ha dado cada alumno para cada examen.

Primero deberas seleccionar un examen y a continuación, en la nueva tabla que aparecerá, un alumno.

En una ventana nueva se abrirá su examen mostrando todas sus respuestas.

Exámenes disponibles

| Nombre examen | Nombre materia | Seleccionar |
|--|----------------|----------------------------------|
| Repaso Tema 1 | Tema 1 | <input type="radio"/> |
| Examen Tema 1 | Tema 1 | <input checked="" type="radio"/> |
| Repaso Tema 2 - A | Tema 2 | <input type="radio"/> |
| Examen Tema 2 - A | Tema 2 | <input type="radio"/> |
| Repaso Final | Examen final | <input type="radio"/> |
| Examen Final - Convocatoria Extraordinaria | Examen final | <input type="radio"/> |

Alumnos

| Id alumno | Nota | Fecha y hora | Seleccionar |
|-----------|--------|------------------------|-----------------------|
| 29 | 7.8125 | 2013-10-30 18:21:03+01 | <input type="radio"/> |
| 14 | 5.625 | 2013-10-30 18:20:30+01 | <input type="radio"/> |
| 16 | 6.5625 | 2013-10-30 18:20:29+01 | <input type="radio"/> |
| 3 | 4.0625 | 2013-10-30 18:20:24+01 | <input type="radio"/> |
| 28 | 5.625 | 2013-10-30 18:20:21+01 | <input type="radio"/> |
| 7 | 4.375 | 2013-10-30 18:20:07+01 | <input type="radio"/> |
| 11 | 3.75 | 2013-10-30 18:19:25+01 | <input type="radio"/> |

Figura 3.8: Recuperación de exámenes. Se han difuminado el nombre de los alumnos por respeto a su intimidad.

Análisis de resultados

Una de las motivaciones de este trabajo es ayudar a los docentes en sus actividades automatizando aquellas que más tiempo les consuman. Desde esa perspectiva, un módulo de análisis de resultados es fundamental. En la versión actual, sirve para detectar preguntas con un ratio de fallo excesivo de forma automática.

Cuando el docente accede, tras seleccionar una materia y el número mínimo de veces que deben haber sido respondidas las preguntas para tenerse en cuenta, verá ordenadas todas las preguntas por el ratio de fallo.

3.4.5 Módulos asociados al estudiante

La sección de la página destinada al estudiante está dividida en tres pantallas que se muestran siempre en el mismo orden. Cuando el alumno accede al sistema a través de la página principal, es redirigido a la página de elección de cuestionario, donde se le ofrecen todos los cuestionarios disponibles para él en ese momento. Una vez que selecciona el cuestionario que desea realizar, este empieza.

Desde ese momento el sistema va seleccionando las preguntas siguiendo el modelo descrito en 3.3.4. Mientras al alumno aún le queden preguntas por responder y esté dentro del tiempo establecido por el profesor para responder, el examen continuará.

29 minutos restantes. [Ocultar](#)

Sombrilla.



Nieve.



A

Sol.



B

Hojas de otoño.



C

(a) Respuestas con texto e imagen

29 minutos restantes. [Ocultar](#)

Árbol con flores.



Otoño.



A

Invierno.



B

Primavera.



C

(b) Respuestas con texto y audio

Figura 3.9: Ejemplo de preguntas de un examen

Cuando termine con las preguntas o el tiempo, el cuestionario terminará. En ese momento se muestra al usuario la página final donde dependiendo de qué opción haya elegido el profesor, se podrán mostrar la nota o cada pregunta con la respuesta elegida estableciendo si ha sido correcta o no. A continuación el alumno puede abandonar el sistema o volver a probar con el mismo u otro cuestionario.

4 Pruebas y resultados

En esta sección se presentan las pruebas principales a las que se ha sometido al sistema a lo largo del desarrollo, además de los resultados principales en cada una de ellas. Se divide la sección en dos partes. La primera, se centra en el **primer prototipo**, correspondiente al **año académico 2013/2014**, que fue utilizado satisfactoriamente en una asignatura del Grado en Historia. La segunda parte se centra en el **segundo (y actual) prototipo**, correspondiente al **año académico 2014/2015**, probado en una asignatura del Grado en Educación Infantil.

4.1 2013/2014: Primer prototipo

Durante el curso académico 2013/2014, 15 alumnos de la asignatura de “Historia Antigua I” del Grado en Historia de la Universidad Autónoma de Madrid utilizaron evalUAM como **herramienta de estudio y de evaluación**. Fue el entorno donde se probó el primer prototipo, el cual ya permitía responder cuestionarios, pero no permitía a los profesores crearlos de forma autónoma ni les ofrecía posibilidades multimedia avanzadas (solo se permitía una imagen opcional por pregunta). De esta forma, la experiencia se centró en **probar la experiencia de uso** de los alumnos, la **robustez del sistema** para responder a los picos de demanda, además de **probar los modelos subyacentes**.

| | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Cuestionarios | 3 de autoevaluación y 4 exámenes |
| Usuarios | 15 alumnos del Grado en Historia |
| Preguntas totales | 372 |
| Cuestionarios contestados | 254 |
| Preguntas contestadas | 12390 |
| Ficheros multimedia | 178 |

Tabla 4.1: Datos de uso del primer prototipo.

Desde el mes de **octubre hasta el final del curso**, los alumnos tuvieron disponibles el sistema. Los cuestionarios de autoevaluación eran accesibles tantas veces como quisieran los alumnos, mientras que los de examen solo durante la hora del examen. De los 15 alumnos, 6 utilizaron la aplicación para autoevaluación menos de 3 veces, mientras que otros 6 la utilizaron más de 15 veces. La calificación determinada por la aplicación **ponderó en la nota final de la asignatura**.



Mostrar tiempo restante

Oficina para el desarrollo de las Enseñanzas

¿Cuál de los títulos regios egipcios aparece representado en esta estela?:



A) Nombre de Horus.
B) Rey Dual.
C) Hijo de Ra.

A

B

C

Figura 4.1: Interfaz del módulo del examen del primer prototipo

Los resultados de la experiencia fueron muy satisfactorios. A nivel técnico, **el sistema respondió correctamente**. La mayor prueba de estrés del sistema fue el día del examen final. Los 15 alumnos lo realizaron a la vez, lo que supuso aproximadamente 40 peticiones por minuto al servidor durante los 35 minutos que duró el examen. El sistema logró almacenar todas las respuestas correctamente, seleccionar todas las preguntas siguientes siguiendo el modelo y ningún alumno tuvo que esperar entre preguntas ni sufrió ningún corte del servicio. Tampoco se registró ningún problema en los 3 meses que los alumnos hicieron un uso más intensivo del mismo (de noviembre de 2013 a enero de 2014).

Algunos alumnos mostraron malestar con el modelo del examen. Las molestias venían provocadas porque no se pudieran dejar preguntas en blanco ni que se pudiera revisar una respuesta anterior. Aunque la segunda es una imposición del modelo (al depender las nuevas preguntas de las respuestas anteriores, no pueden cambiar), la primera sí se tuvo en consideración añadiendo al modelo la “respuesta con duda”.

La creación del **segundo prototipo**, además de añadir la “respuesta con duda”, creó el **apartado de gestión del profesor**, aumentó las capacidades de la aplicación para trabajar con **ficheros multimedia**, e hizo una **actualización de la interfaz** para adaptarla a todas las nuevas posibilidades multimedia que iban a incorporarse.

4.2 2014/2015: Segundo prototipo

Durante el curso académico 2014/2015, e-valUAM se utilizó en la asignatura de “El Entorno como Instrumento Educativo” del Grado en Educación Infantil. Por un lado se utilizó para un **test sobre el conocimiento informático** de los alumnos que sirvió para obtener información sobre los futuros usuarios y probar un nuevo modelo de adaptación. Por otro lado, se utilizó como **parte de la asignatura**.

Las pruebas realizadas en este entorno fueron mucho **más extensas** que en el curso anterior por varios motivos. Primero, había **más alumnos** y por lo tanto la aplicación se enfrentó a mayores picos de demanda. Segundo, se añadió **más funcionalidad** tanto para los profesores como para los alumnos.

En las siguientes secciones se detallan cómo fueron cada una de las experiencias.

4.2.1 Test de conocimientos informáticos

El objetivo de este test era triple. Buscábamos conocer cuál era el **nivel de informática de los alumnos** que después utilizarían el sistema en su asignatura,

probar exhaustivamente las **opción de respuesta con duda** y, por último, crear un **nuevo modelo de evaluación** utilizando la diferencia entre el conocimiento de expertos (alumnos del Ingeniería Informática) y un grupo de control (alumnos del Educación Infantil).

| | |
|----------------------------------|---|
| Cuestionarios | 1 examen |
| Usuarios | 83 alumnos: 49 del Grado en Educación Infantil. 34 alumnos del Grado en Ingeniería Informática o el Doble Grado con Matemáticas |
| Preguntas totales | 60, divididas en dos niveles |
| Cuestionarios contestados | 83 |
| Preguntas contestadas | 4980 |
| Ficheros multimedia | 0 |

Tabla 4.2: Datos de uso del test de conocimientos informáticos.

Cada pregunta tenía 4 opciones, siendo una de ellas siempre “No lo sé”. Además, fue el primer examen donde se utilizó la opción de respuesta con duda. Por estas peculiaridades, el modelo descrito en 3.3.4 se varió ligeramente. Todos los alumnos respondían primero a las 30 preguntas del primer nivel y después a las 30 del segundo nivel, sin importar las respuestas previas.

Este cuestionario permitió **conocer mejor a los futuros usuarios**, además de probar el segundo prototipo del sistema antes de volver a utilizarlo en una asignatura real. Se hizo una prueba de estrés cuando los 25 alumnos de segundo curso de Informática realizaron a la vez el cuestionario. De nuevo, el sistema no mostró ningún problema. También sirvió para comprobar la **robustez del diseño** de la aplicación, ya que las modificaciones en el modelo de adaptación solo involucraron realizar cambios menores en uno de los ficheros, lo que parece indicar que la modularización se diseñó correctamente.

4.2.2 Alumnos del Grado en Educación Infantil

Los 49 alumnos de “El Entorno como Instrumento Educativo” utilizaron e-valUAM de tres formas distintas:

1. Tuvieron a su disposición un **cuestionario para la autoevaluación**.
2. Parte de su clasificación final dependió de un **examen** realizado mediante la plataforma.
3. Como parte de la asignatura tenían que presentar un **proyecto pedagógico** para

niños de educación infantil, que tuvieron que **plasmar en un cuestionario** de e-valUAM.

| | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Cuestionarios | 1 autoevaluación y 1 examen |
| Usuarios | 49 alumnos |
| Preguntas totales | 244, divididas en cuatro niveles |
| Cuestionarios contestados | 887 |
| Preguntas contestadas | 6079 |
| Ficheros multimedia | 21 |

Tabla 4.3: Datos de uso del segundo prototipo utilizado para evaluación.

Desde diciebre de 2014, los alumnos tuvieron accesible el cuestionario de autoevaluación. El 14 de enero de 2015, realizaron el examen final utilizando también e-valUAM. Los 50 alumnos acudieron a los laboratorios de la EPS para realizar el examen de 40 preguntas durante 60 minutos. Se utilizaron parte de preguntas de autoevaluación, algunas sin alterar, otras modificando los datos. También se añadieron preguntas nuevas.

Este examen sirvió como nueva prueba de estrés del sistema. Durante 40 minutos, 49 alumnos accedieron en simultáneo, realizando de media unas 75 peticiones por minuto al servidor. Como en todas las ocasiones anteriores, no hubo ningún problema con la aplicación y toda la información quedó correctamente guardada.

Después del examen, se dio una charla de 15 minutos a los alumnos para explicarles cómo debían utilizar la interfaz del profesor, la cual tuvieron que utilizar para entregar un trabajo que se les exigía en la asignatura.

| | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Cuestionarios | 19 |
| Usuarios | 49 alumnos, actuando como docentes |
| Preguntas totales | 848 |
| Cuestionarios contestados | 0 |
| Preguntas contestadas | 0 |
| Ficheros multimedia | 1364 |

Tabla 4.4: Datos de uso del segundo prototipo utilizado para la entrega del trabajo.

Para resolver incidencias o dudas, se puso a disposición de los alumnos un correo electrónico de contacto. Escribieron en total 4 personas, con 2 incidencias y 1 petición de nueva funcionalidad. Finalmente, el profesor de la asignatura corrigió el trabajo accediendo a la sección de profesor y consultando directamente los cuestionarios que cada grupo de alumnos había confeccionado.

4.3 Comparativa con otras soluciones

Para comparar el sistema propuesto, de todas las herramientas disponibles, se ha elegido **SIETTE** (siglas de *Sistema de Evaluación Inteligente mediante Tests para la Tele educación*), un sistema desarrollado principalmente por Ricardo Conejo Muñoz y Eduardo Guzmán De los Riscos, ambos del grupo $(IA)^2$, de la Universidad de Málaga. Se ha elegido SIETTE al ser un sistema con unos **objetivos muy similares** al nuestro con una **larga historia, completamente asentado y probado**. Se encuentra disponible en [23].

SIETTE se empezó a desarrollar en los 90 como el **componente de generación de exámenes adaptativos** de un sistema mayor cuyo objetivo era la clasificación e identificación de distintas especies vegetales europeas, además de promover el conocimiento sobre ellas. El proyecto, conocido como TREE, se componía del sistema de generación de exámenes (SIETTE), un *Intelligent Tutoring System* y un sistema experto encargado de la clasificación de las especies vegetales [24]. Desde entonces SIETTE ha evolucionado siendo utilizada en **nuevos dominios**, como la educación infantil [25] o evaluación colaborativa [26].

Tanto SIETTE como e-valUAM se engloban dentro de los CAT, aunque SIETTE se centra en técnicas de la *Item Response Theory* (IRT) y de la *Classical Test Theory* (CTT) mientras que e-valUAM en la AEH.

Aún así, SIETTE y e-valUAM presentan muchas **similitudes**. La abstracción que SIETTE realiza del dominio de la evaluación es bastante similar en e-valUAM, como se puede ver en la figura 4.2, en la que se presenta el flujo de trabajo de SIETTE.

Lo que en SIETTE son editors, subjects, items y tests, en e-valUAM son profesores, materias, preguntas y cuestionarios y el flujo de trabajo es prácticamente idéntico. SIETTE permitía que una pregunta perteneciera a uno o varios temas, y que los exámenes estuvieran compuestos de uno o varios, pudiendo estar un tema en varios exámenes [28]. Sin embargo, las últimas versiones de SIETTE siguen una estructura jerárquica en la que cada pregunta corresponde a un tema, **idéntico al modelo de e-valUAM**. Así mismo, tanto SIETTE como e-valUAM poseen módulos de análisis de resultados.

SIETTE, sin embargo, también plantea importantes **diferencias** con e-valUAM. En general, podemos decir que SIETTE es un sistema **más maduro y completo** que e-valUAM. Mientras que en e-valUAM solo se permiten crear preguntas de opción múltiple

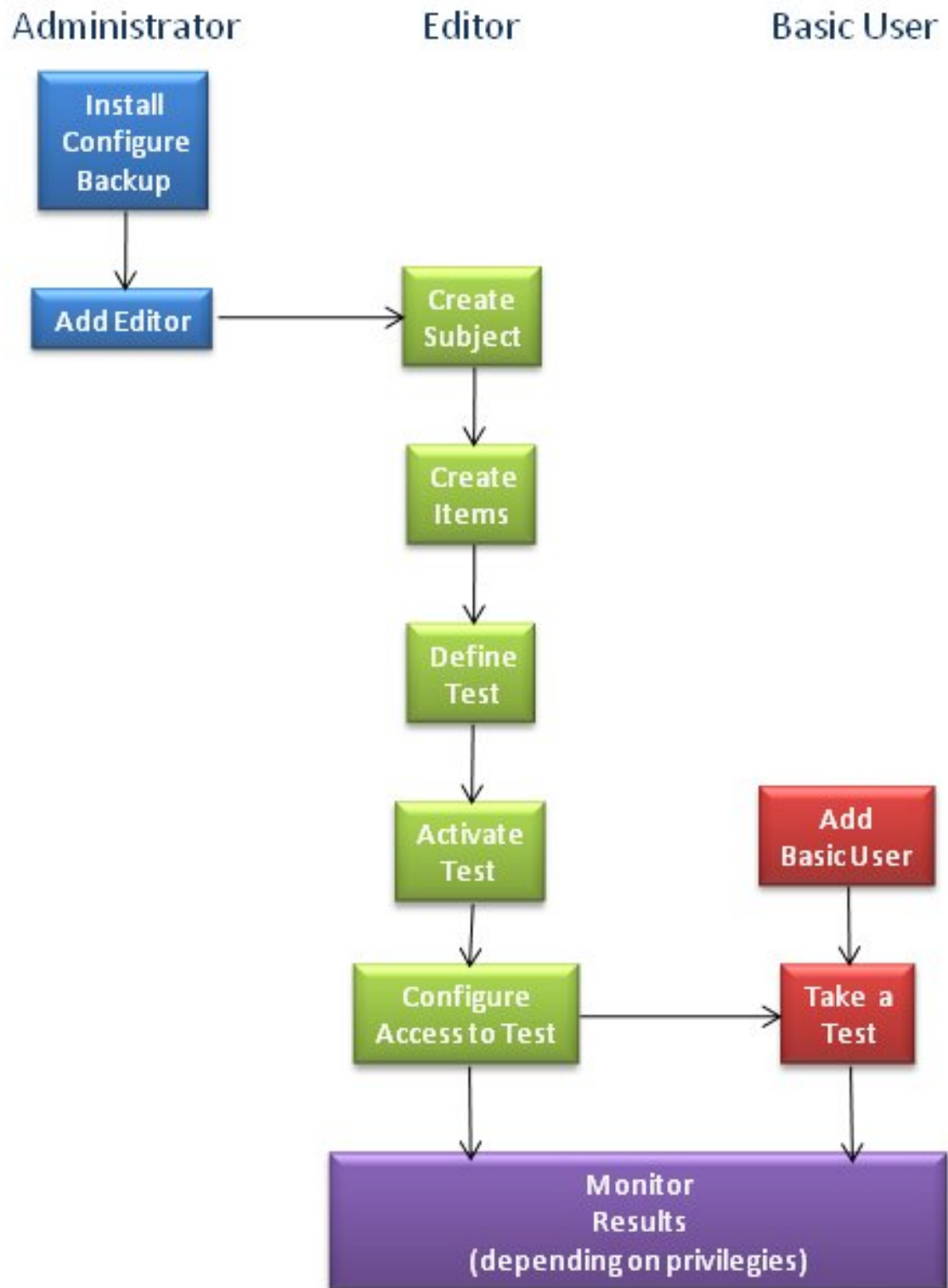


Figura 4.2: Flujo de trabajo propuesto por SIETTE [27]

y respuesta simple, en SIETTE se implementan **varios tipos de preguntas** adicionales:

- Opción múltiple y respuestas múltiple.
- Respuesta corta y abierta, en la que se define un patrón que caracteriza a todas las respuestas correctas.
- Preguntas generativas, en las que un código genera cada vez una pregunta distinta.

El **análisis de resultados** también es más extenso. SIETTE presenta una característica que permite a los profesores definir errores conceptuales que pueden tener los alumnos en una materia y definir unas reglas que caractericen las respuestas que comentan dichos errores. Una vez definida esta información, el sistema genera informes indicando qué alumnos han cometido qué errores conceptuales.

Otra diferencia importante es que aunque en e-valUAM se han probado varios sistemas de adaptación distintos que han derivado en varias formas de clasificar distintas, aún no se le permite al profesor elegir qué sistema desea aplicar desde su interfaz de configuración. SIETTE tiene desarrollados tres **métodos de evaluación distintos** (por puntos, porcentual o por IRT) que están disponibles para los docentes.

5 Conclusiones

A modo de conclusión, a continuación se presentan los logros más relevantes que ha alcanzado el proyecto expuesto a lo largo de todo el documento, con los que se logran satisfacer todos los objetivos que se recogieron en la introducción:

- Se ha diseñado un sistema adaptativo inspirado en *Computerized Adaptive Testing* y la *Adaptive Educational Hypermedia* que, utilizando información de modelos de usuarios, de dominio y de adaptación, permite crear cuestionarios personalizados que profesores y alumnos pueden utilizar para medir su rendimiento académico recibiendo de forma instantánea retroalimentación.
- Se han desarrollado las herramientas necesarias para que los profesores puedan crear las baterías de preguntas a través de una interfaz online que les abstraiga de los modelos subyacentes logrando así que pueda ser utilizada por usuarios sin conocimientos informáticos avanzados.
- Se ha diseñado un sistema capaz de trabajar con ficheros multimedia que ofrecen más posibilidades a los profesores a la hora de crear las preguntas. Así mismo, se ha diseñado una base de datos que ha logrado almacenar toda la información sobre el uso, permitiendo análisis posteriores que han llevado a la creación de nuevos modelos y publicaciones científicas.
- Se han implementado mecanismos de análisis de resultados que permiten detectar a los profesores preguntas defectuosas de forma instantánea para que puedan corregirlas o eliminarlas, simplificando una tarea muy costosa.
- Se han construido dos prototipos incrementales y funcionales durante dos años académicos en los cuales han demostrado su flexibilidad, al haber sido probado en ellos varios modelos de adaptación sin que ello haya significado remodelaciones en el resto de módulos.
- Ambos prototipos han sido utilizados con éxito en dos entornos reales, en dos disciplinas distintas y con más de 100 alumnos, habiendo situaciones donde 50 alumnos han utilizado en paralelo y de forma intensiva el sistema sin que el rendimiento bajara.

Por otra parte, aunque todos los objetivos se han cumplido, algunos, como el relativo al análisis de los resultados, podrían beneficiarse de más desarrollo. Así mismo, a lo largo del desarrollo del proyecto han ido surgiendo ideas y propuestas de mejoras del sistema y con todo ello se ha elaborado una lista de retos que desean abordarse en un futuro cercano:

- Añadir más análisis de resultados, como remarcar preguntas que tienen un tiempo de respuesta más alto o crear informes con la evolución de cada alumno a lo largo del año o el conjunto agrado de toda la clase. Así mismo, también se desea añadir una biblioteca de gráficos en Javascript (como D3.js) para mejorar la visualización de todos los análisis.
- Permitir que se puedan crear preguntas de respuesta abierta o preguntas generadas en función a un código especificado por el profesor.
- Dar la opción a los profesores de elegir qué modelo de adaptación desean utilizar entre todos los desarrollados.
- Ampliar las opciones que ofrecen las herramientas de creación y gestión de materias, preguntas y cuestionarios que tienen accesibles los profesores.
- Dedicar esfuerzos en la interacción persona-ordenador. Para ello, se pretende recolectar información sistemática mediante cuestionarios sobre la experiencia de uso a los alumnos que ya lo han provado para solucionar las deficiencias que puedan existir y luego centrar los esfuerzos a hacer que el sistema sea accesible para usuarios con diversidad funcional.
- Facilitar las tareas de administración mediante una interfaz web.

Bibliografía

- [1] C. Sevilla, S. Santini, P. Haya, P. Rodriguez, and G. Sacha, “Interdisciplinary design of videogames: A highly motivating method of learning.” in *Computers in Education (SIIE), 2012 International Symposium on.* IEEE, 2012, pp. 1–6.
- [2] P. Molins-Ruano, C. Sevilla, S. Santini, P. Haya, P. Rodríguez, and G. Sacha, “Designing videogames to improve students’ motivation,” *Computers in Human Behavior*, vol. 31, pp. 571–579, 2014.
- [3] H. Wainer, N. J. Dorans, D. Eignor, R. Flaugher, B. F. Green, R. J. Mislevy, L. Steinberg, and D. Thissen, *Computer-Adaptive Testing: A Primer*, Routledge, Ed. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.
- [4] F. M. Lord, “Some test theory for tailored testing*,” *ETS Research Bulletin Series*, vol. 1968, no. 2, pp. i–62, 1968.
- [5] B. F. Green, “The promise of tailored tests,” *Principals of modern psychological measurement*, pp. 69–80, 1983.
- [6] C. A. Chapelle and D. Douglas, *Assessing language through computer technology*. Ernst Klett Sprachen, 2006.
- [7] A. Ortigosa, P. Paredes, and P. Rodriguez, “Ah-questionnaire: An adaptive hierarchical questionnaire for learning styles,” *Computers & Education*, vol. 54, no. 4, pp. 999–1005, 2010.
- [8] S. Klinkenberg, M. Straatemeier, and H. Van der Maas, “Computer adaptive practice of maths ability using a new item response model for on the fly ability and difficulty estimation,” *Computers & Education*, vol. 57, no. 2, pp. 1813–1824, 2011.
- [9] D. Revicki and D. Cella, “Health status assessment for the twenty-first century: item response theory, item banking and computer adaptive testing,” *Quality of Life Research*, vol. 6, no. 6, pp. 595–600, 1997.
- [10] A. N. Kumar, “Using online tutors for learning-what do students think?” in *Frontiers in Education, 2004. FIE 2004. 34th Annual.* IEEE, 2004, pp. T3F–9.

-
- [11] H. Wainer, "On item response theory and computerized adaptive tests." *Journal of College Admissions*, vol. 27, no. 4, pp. 9–16, 1983.
- [12] M. Antal and S. Koncz, "Student modeling for a web-based self-assessment system," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 6, pp. 6492–6497, 2011.
- [13] J. Galvez, E. Guzman, R. Conejo, and E. Millan, "Student knowledge diagnosis using item response theory and constraint-based modeling." in *AIED*, 2009, pp. 291–298.
- [14] P. Molins-Ruano, F. Borrego-Gallardo, C. Sevilla, F. Jurado, P. Rodriguez, and G. Sacha, "Constructing quality test with e-valUAM," in *Computers in Education (SIIE), 2014 International Symposium on.* IEEE, 2014, pp. 195–200.
- [15] P. Brusilovsky, P. Held, and W. F. Kugemann, "Adaptive learning with www: The moscow state university project," *Telematics for education and training*, pp. 252–255, 1995.
- [16] K. Nakabayashi, M. Maruyama, Y. Koike, Y. Kato, H. Touhei, and Y. Fukuhara, "Architecture of an intelligent tutoring system on the www," in *Proc. of*, 1997, pp. 39–46.
- [17] P. Brusilovsky, "Adaptive and intelligent technologies for web-based education," *KI*, vol. 13, no. 4, pp. 19–25, 1999.
- [18] G. Weber and P. Brusilovsky, "Elm-art: An adaptive versatile system for web-based instruction," *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, vol. 12, pp. 351–384, 2001.
- [19] D. Benyon and D. Murray, "Applying user modeling to human-computer interaction design," *Artificial Intelligence Review*, vol. 7, no. 3-4, pp. 199–225, 1993.
- [20] P. Brusilovsky, "Methods and techniques of adaptive hypermedia," in *Adaptive hypertext and hypermedia.* Springer Netherlands, 1998, pp. 1–43.
- [21] E. Triantafillou, A. Pomportsis, and S. Demetriadis, "The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles," *Computers & Education*, vol. 41, no. 1, pp. 87–103, 2003.
- [22] B. Boehm, "A spiral model of software development and enhancement," *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, vol. 11, no. 4, pp. 14–24, Aug. 1986.
-

-
- [23] Página principal de SIETTE. Retrieved: 2015-06-01. [Online]. Available: <http://www.siette.org/siette/>
- [24] A. Rios, J. Pérez de la Cruz, and R. Conejo, “Siette: Intelligent evaluation system using tests for teleeducation,” in *Proc. of Workshop WWW-Based Tutoring. at 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, San Antonio, TX*, 1998.
- [25] M. Trella, B. Barros, and R. Conejo, “Primary preschool experiences with computers in the classroom,” in *Advanced Learning Technologies, 2008. ICAIT’08. Eighth IEEE International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 701–705.
- [26] R. Conejo, B. Barros, E. Guzman, and J. Galvez, “Collaborative assessment with siette,” in *Proceedings of the 2009 conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling*. IOS Press, 2009, pp. 799–799.
- [27] SIETTE Wiki. Retrieved: 2015-06-01. [Online]. Available: http://es.wiki.siette.org/index.php/P%C3%A1gina_principal
- [28] R. Conejo, E. Guzmán, E. Millán, M. Trella, J. L. Pérez-De-La-Cruz, and A. Ríos, “Siette: A web-based tool for adaptive testing,” *Int. J. Artif. Intell. Ed.*, vol. 14, no. 1, pp. 29–61, Jan. 2004.

Apéndices

A Estructura del proyecto

```

/
├── index.php ..... Pantalla de login
├── eleccionExamen.php ..... Presentación y listado de exámenes disponibles
├── examen.php ..... Fichero con el motor de adaptación
├── finExamen.php ..... Resultados del examen
├── cambiarContrasenya.php
├── estilo.css
├── favicon.png
├── funcionesAlumno.php ..... Fichero auxiliar con funciones PHP
├── multimedia ..... Directorio para los ficheros multimedia
│   ├── 0 ..... Un directorio por cada materia, con sus ficheros dentro
│   │   ├── Amon.bmp
│   │   ├── Anubis.bmp
│   │   ├── Asedioramses.bmp
│   │   └── ...
│   ├── 1
│   │   ├── Archivoebla.bmp
│   │   ├── Codigodehammurabi.bmp
│   │   └── ...
│   ├── ...
│   ├── 46 ..... En total se han creado 46 materias distintas
│   │   ├── 1.mp3
│   │   ├── 1a.jpg
│   │   ├── 1b.jpg
│   │   ├── 1c.jpg
│   │   ├── 2.mp3
│   │   └── ...
│   └── logos ..... Directorio con los logos corporativos
│       ├── ope.bmp
│       └── uam.jpg
├── profesor ..... Directorio con los ficheros de la sección de profesor
│   ├── index.php ..... Login
│   ├── salir.php ..... Logout
│   ├── ayuda.php ..... Introducción al sistema de gestión
│   ├── profesor.php ..... Comprueba que el usuario tenga permisos de profesor
│   ├── funcionesProfesor.php ..... Fichero auxiliar con funciones PHP
│   ├── materiasGestion.php ..... *Gestion es la interfaz de creación y listado
│   ├── materaiasRequest.php ..... *Request procesa peticiones AJAX de *Gestion
│   ├── preguntasGestion.php ..... Hay un *Gestion y un *Request para cada ente
│   ├── preguntasRequest.php
│   └── preguntasMostrar.php . Interfaz que lista todas las preguntas de una materia

```

```
/
├── profesor
│   ├── examenGestion.php
│   ├── examenRequest.php
│   ├── multimediaGestion.php
│   ├── multimediaRequest.php
│   ├── multimediaView.php..... Interfaz que lista todos los ficheros de una materia
│   ├── estadisticas.php ..... Módulo de análisis de resultados
│   ├── estadisticasRequest.php
│   ├── recuperarExamenRequest.php ..... Módulo para revisar los cuestionarios
│   │   respondidos
│   └── recuperarExamen.php
└── vendor ..... Directorio con las bibliotecas usadas en el proyecto
    ├── bootstrap.min.css
    ├── bootstrap.min.js
    ├── bootstrap-confirmatation.js
    └── jquery.min.js
```