

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 — TODO: Resumen en inglés, 250-500 palabras.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aliquam malesuada libero auctor sapien volutpat, sed fringilla enim tristique. Aliquam varius lorem in risus tempus egestas. Aenean accumsan elementum diam vel commodo. Nulla lectus sapien, finibus ac mauris non, efficitur venenatis felis. Donec at rutrum dolor, a lobortis arcu. In fermentum hendrerit bibendum. Phasellus eget arcu quam. Maecenas vulputate sapien eu dictum pulvinar. Suspendisse sit amet neque a turpis efficitur dapibus ut et turpis.

Vestibulum commodo faucibus tellus vitae consequat. Donec purus enim, hendrerit vitae feugiat sed, sagittis in tortor. Duis sed ex non ligula cursus dapibus. Etiam pellentesque suscipit dolor, vel facilisis est ornare sed. Nullam eleifend tellus non elementum efficitur. Donec semper felis ac porttitor ultricies. Vestibulum sodales justo nisl, in egestas lacus egestas nec. Fusce faucibus felis lacus, sit amet placerat justo porta vitae. Nullam volutpat viverra lorem quis euismod. Duis felis erat, dictum et sem vitae, fringilla ultrices dui. Morbi mattis arcu at orci accumsan facilisis. Aenean tortor velit, hendrerit id vulputate ac, sagittis nec libero. Donec elementum dolor orci, a mattis augue lobortis nec. Suspendisse vulputate, diam vel accumsan pellentesque, ex purus volutpat ipsum, vel luctus urna sem non turpis. Donec vitae molestie odio.

Donec lobortis, eros non sodales dapibus, ex eros sollicitudin tortor, ut vulputate massa nibh sit amet ipsum. Sed a lectus eu diam pretium vestibulum. Pellentesque finibus, felis ac finibus vulputate, libero mauris placerat nulla, ut vestibulum ante metus ut neque. Aliquam tempus tortor ac mauris pulvinar iaculis. Vivamus pretium id libero sed tempus. Donec tincidunt turpis tempor vehicula egestas. Vestibulum elementum, urna non tincidunt tempus, risus ipsum posuere felis, ac suscipit diam nunc et neque. Vestibulum faucibus leo vel nibh tempor tincidunt. Nullam nunc augue, aliquet in congue nec, gravida at risus. Proin semper iaculis nisi vitae imperdiet. Suspendisse sed risus feugiat, dapibus sapien quis, pulvinar turpis.

Maecenas convallis aliquet euismod. Donec sollicitudin ligula nec lorem dignissim, sit amet finibus felis mollis. Fusce eget sapien eu sapien blandit congue quis a odio. Fusce accumsan condimentum dapibus. Aliquam eu ante porttitor nulla pellentesque feugiat pharetra nec mauris. Ut tincidunt urna vitae ligula mattis malesuada. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Integer pretium tincidunt nisi, in pulvinar velit dapibus et.

Key words — TODO: Palabras clave en inglés, separadas por coma.

Resumen

Resumen — TODO: Resumen en español, 250-500 palabras.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aliquam malesuada libero auctor sapien volutpat, sed fringilla enim tristique. Aliquam varius lorem in risus tempus egestas. Aenean accumsan elementum diam vel commodo. Nulla lectus sapien, finibus ac mauris non, efficitur venenatis felis. Donec at rutrum dolor, a lobortis arcu. In fermentum hendrerit bibendum. Phasellus eget arcu quam. Maecenas vulputate sapien eu dictum pulvinar. Suspendisse sit amet neque a turpis efficitur dapibus ut et turpis.

Vestibulum commodo faucibus tellus vitae consequat. Donec purus enim, hendrerit vitae feugiat sed, sagittis in tortor. Duis sed ex non ligula cursus dapibus. Etiam pellentesque suscipit dolor, vel facilisis est ornare sed. Nullam eleifend tellus non elementum efficitur. Donec semper felis ac porttitor ultricies. Vestibulum sodales justo nisl, in egestas lacus egestas nec. Fusce faucibus felis lacus, sit amet placerat justo porta vitae. Nullam volutpat viverra lorem quis euismod. Duis felis erat, dictum et sem vitae, fringilla ultrices dui. Morbi mattis arcu at orci accumsan facilisis. Aenean tortor velit, hendrerit id vulputate ac, sagittis nec libero. Donec elementum dolor orci, a mattis augue lobortis nec. Suspendisse vulputate, diam vel accumsan pellentesque, ex purus volutpat ipsum, vel luctus urna sem non turpis. Donec vitae molestie odio.

Donec lobortis, eros non sodales dapibus, ex eros sollicitudin tortor, ut vulputate massa nibh sit amet ipsum. Sed a lectus eu diam pretium vestibulum. Pellentesque finibus, felis ac finibus vulputate, libero mauris placerat nulla, ut vestibulum ante metus ut neque. Aliquam tempus tortor ac mauris pulvinar iaculis. Vivamus pretium id libero sed tempus. Donec tincidunt turpis tempor vehicula egestas. Vestibulum elementum, urna non tincidunt tempus, risus ipsum posuere felis, ac suscipit diam nunc et neque. Vestibulum faucibus leo vel nibh tempor tincidunt. Nullam nunc augue, aliquet in congue nec, gravida at risus. Proin semper iaculis nisi vitae imperdiet. Suspendisse sed risus feugiat, dapibus sapien quis, pulvinar turpis.

Maecenas convallis aliquet euismod. Donec sollicitudin ligula nec lorem dignissim, sit amet finibus felis mollis. Fusce eget sapien eu sapien blandit congue quis a odio. Fusce accumsan condimentum dapibus. Aliquam eu ante porttitor nulla pellentesque feugiat pharetra nec mauris. Ut tincidunt urna vitae ligula mattis malesuada. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Integer pretium tincidunt nisi, in pulvinar velit dapibus et.

Palabras clave — TODO: Palabras clave en español, separadas por coma.

Agradecimientos

TODO: Agradecimientos.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus laoreet dolor at sodales porta. Morbi facilisis hendrerit lacus vel sollicitudin. Aenean eleifend urna metus, eget vestibulum libero dictum tincidunt. Curabitur quis ultrices lorem. Duis ultricies, eros eget condimentum pharetra, tellus eros lobortis nulla, vel mattis nibh dui et felis. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Nam non lorem et ligula condimentum molestie. Fusce quis dolor non metus suscipit commodo. Praesent vel pulvinar lectus. Nullam ac dui eget magna accumsan volutpat. Aliquam sed purus quis lorem dictum rutrum auctor eu enim. Pellentesque a urna ac ligula cursus lacinia. Aenean sodales justo massa, vel imperdiet justo imperdiet ut. Nulla euismod pulvinar arcu eu convallis. Vivamus a tempus nunc, et vulputate nulla.

Sed dapibus aliquam imperdiet. Vivamus est quam, fermentum vitae augue id, ultricies tincidunt massa. Praesent tincidunt ex sem, ut aliquet nulla imperdiet eu. Duis ac ultricies lorem. Aenean consequat ipsum nec arcu aliquam, sit amet interdum quam tempus. In justo odio, bibendum vel nulla nec, aliquet tristique justo. In vel metus ut libero suscipit ultricies.

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Proin urna elit, iaculis id quam at, pretium laoreet ipsum. Phasellus ultricies faucibus ex et eleifend. Quisque facilisis erat dolor, ac rhoncus erat convallis et. Aliquam semper eleifend imperdiet. Sed eros ipsum, sagittis in pellentesque vel, vestibulum a augue. Duis sapien mauris, fringilla a tortor ut, sollicitudin volutpat nunc. Pellentesque vestibulum vel arcu in molestie. Nullam fermentum dolor luctus metus efficitur pulvinar. Pellentesque risus enim, tempus id ullamcorper in, maximus id nisl. Cras rhoncus consequat augue eu gravida. Ut efficitur mauris vitae orci dignissim sagittis. Suspendisse vitae massa eget nunc bibendum interdum.

Vestibulum quis turpis sed diam facilisis convallis. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Vivamus congue tellus nec lobortis feugiat. Nam hendrerit ullamcorper tempus. Proin maximus, lacus at tempor pellentesque, sem nisi facilisis lorem, sagittis tristique mauris dui at est. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Mauris pellentesque lobortis leo, ac dictum urna tempus id. Curabitur sed ante leo. Proin laoreet nisi nec dictum auctor. Mauris lacinia erat ut massa viverra, nec tempus metus elementum. Cras ut blandit justo, in pretium massa. In hac habitasse platea dictumst. Donec malesuada viverra quam, in ultricies libero. Phasellus finibus velit in sem tempus mattis at tristique ligula.

“TODO: Cita relevante” TODO: Autor de la cita

Índice general

Glosario	XV
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Marco y antecedentes	2
1.3. Alcance y objetivos	3
1.4. Estructura del documento	4
2. Estado del Arte	5
2.1. <i>Computerized Adaptive Testing</i>	5
2.2. <i>Adaptive Educational Hypermedia</i>	9
3. Diseño y desarrollo	13
3.1. Visión general	13
3.2. Análisis de requisitos	15
3.2.1. Análisis funcional	15
3.2.2. Análisis no funcional	18
3.3. Diseño	19
3.3.1. Interfaz de navegación	19
3.3.2. Modelo de los usuarios	19
3.3.3. Modelo del dominio	20
3.3.4. Modelo de adaptación	21
3.3.5. Motor de adaptación	24
3.4. Desarrollo: e-valUAM	24
3.4.1. Visión general	24
3.4.2. Tecnologías y lenguajes empleados	24
3.4.3. Base de datos	25
3.4.4. Módulos asociados al docente	26
3.4.5. Módulos asociados al estudiante	31
4. Pruebas y resultados	33
4.1. 2013/2014: Primer prototipo	33
4.2. 2014/2015: Segundo prototipo	35
4.2.1. Test de conocimientos informáticos	35
4.2.2. Alumnos del Grado en Educación Infantil	36
4.3. Comparativa con otras soluciones	37
5. Conclusiones	39
6. Trabajo futuro	41
Bibliografía	44

Apéndices	45
A. Estructura del proyecto	47
B. Código más relevante	49

Índice de tablas

Índice de figuras

2.1. Diagrama de flujo de un CAT	8
2.2. Abstracción de un sistema adaptativo	10
3.1. Jerarquía de las entidades	14
3.2. Algoritmo para determinar la siguiente pregunta	23
3.3. Diagrama entidad relación de la base de datos	25
3.4. Interfaz de e-valUAM para el profesor	27
3.5. Menú de edición para un elemento	28
3.6. Subida de elementos multimedia	29
3.7. Visor de elementos multimedia	29
3.8. Recuperación de exámenes	30
3.9. Ejemplo de preguntas de un examen	31
4.1. Interfaz del módulo del examen del primer prototipo	34

```

ifpackagewithbabeldebugtempa
@ifshorthand'activeacutebabel @ifshorthand'activegravebabel @addto@macroresetactivechars@ty
@language@x@opt@headfoot ifundefinedbbl@opt@safe ifpackagewithbabelshowlangua-
geslanguages languages afterlangloadedempty errorLocal config file
'pt@config.cfg' not foundPerhaps you misspelled it.orempanguage@optsifundefinedds@empaempty
orempaclassoptionslistifundefinedds@empaemptyempty loadmain@@opt@mainopt@main*

```


Glosario

AEH

Adaptive educational hypermedia. 5, 9, 10

AH

Adaptive hypermedia. 9

CAT

Tests adaptativos por ordenador, por sus siglas en inglés, *Computer Adaptive Tests.* 5–8, 22, XI

e-valUAM

Nombre con el que se conoce al sistema adaptativo para ayuda al aprendizaje desarrollado como parte de este Trabajo Fin de Grado.. 24, 33, 35–37

IRT

Item Response Theory. 7

MOOC

Curso en línea, masivo y abierto; por sus siglas en inglés, *Massive Open Online Course.* 2, XV

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.. 2

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 cada día más aspectos de la vida humana es una revolución de un profundo calado. La informática ha traído consigo mejoras inconmensurables en las comunicaciones, la automatización o el desarrollo científico (por citar solo algunos ejemplos) que, en general, han permitido al ser humano librarse de tareas repetitivas y dedicar más esfuerzo a las 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 pizarras digitales en las aulas, **gran parte de la actividad educativa ha permanecido inalterada, anclada en modelos artesanales**. Por ejemplo, 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.

La evaluación artesanal de los alumnos conlleva 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 pierden los profesores en crear y corregir los exámenes es tiempo que no dedican a explicar a los alumnos temario, reforzar las partes más complicadas o a responder dudas. 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 y campos donde realizar mejoras.**

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**, tanto como herramienta del estudiante para medir su desempeño como herramienta del docente para conocer el estado de sus alumnos. En ambos casos, esa información puede resultar clave. Hoy en día, aún en muchos casos, el alumno obtiene retroalimentación solo una vez por asignatura y justo al final, cuando ya no puede rectificar. En el mejor de los casos, el alumno tendrá uno o dos exámenes parciales, que le darán algo de información antes de que sea demasiado tarde, pero será a costa de un mayor esfuerzo del profesor.

Creando 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 importar los conocimientos informáticos del usuario.

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 su empeño.

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 como método docente altamente motivador [1] [2].

De estas primeras experiencias surgió un grupo interdisciplinar interesado 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 ha estado enmarcado este TFG.

Durante el verano de 2013 se empezaron a definir los primeros modelos de usuario y de adaptación, que se plasmarían en un primer prototipo del sistema desarrollado para el curso 13/14. Dicho modelo se utilizó en una asignatura del Grado de Historia durante el curso 13/14.

Con la incorporación al grupo 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 se ha centrado exclusivamente en la parte técnica del mismo**. Para probar las hipótesis planteadas durante 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 con los que analizar las hipótesis. 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.

1.4 Estructura del documento

En el siguiente capítulo, sobre el estado del arte, se presenta un repaso a la evolución de los cuestionarios adaptativos por ordenador, además de una introducción a las características de los sistemas que a día de hoy están siendo desarrollados.

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, el 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. Por último, se dedica un capítulo a 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 repasa 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 reducen enormemente el coste de evaluar [3].

Durante 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. **Aumentan la seguridad de los test**, ya que se almacena un conjunto de preguntas y no solo aquellas preguntas que específicamente se van a realizar. Así, si alguien

obtiene 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 ha ganado esa buena nota).

2. **Cada persona puede realizar el examen a su ritmo**, abriendonos a más estilos de respuesta. Además, se puede conocer el tiempo que ha tardado en responderse cada pregunta, información que puede ser útil para evaluar.
3. **A todo el mundo se le presenta un reto, sin que nadie se desaliente**. A cada individuo se le presenta las preguntas del rango de dificultad más adecuado para él.
4. **Los problemas asociados con el carácter físico de las hojas de respuestas tradicionales desaparecen**. No existe 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 puede 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. **Facilita realizar un precalibrado de los test**, ya que el sistema puede ir introduciendo discretamente nuevas preguntas para ser calibradas.
7. **Se pueden eliminar inmediatamente preguntas defectuosas**.
8. Una enorme variedad de **nuevos formatos de preguntas pueden ser explorados**. El sistema de respuesta múltiple no es el único válido. Se pueden crear problemas aritméticas a las que deba introducirse una respuesta numérica. La memoria podría ser evaluada utilizando múltiples marcos. Utilizando sintetizadores de voz, se pueden hacer exámenes de ortografía. Se pueden 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], identificación de estilos de aprendizaje [7], la habilidad matemática [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 estrategias de aprendizaje clásicas [10].

A pesar de todas las ventajas que ofrecen, los CAT han presentado algunos inconvenientes que deben ser tratados, aunque múltiples investigaciones han hecho importantes avances. 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 un individuo se encuentra con una 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 compliada **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. En este Trabajo carece de importancia la parte psicométrica, aunque sí se ha estudiado en la investigación a la que va asociada. Sí que 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 posibilidades de nuevos tipos

Adaptive Test Logic

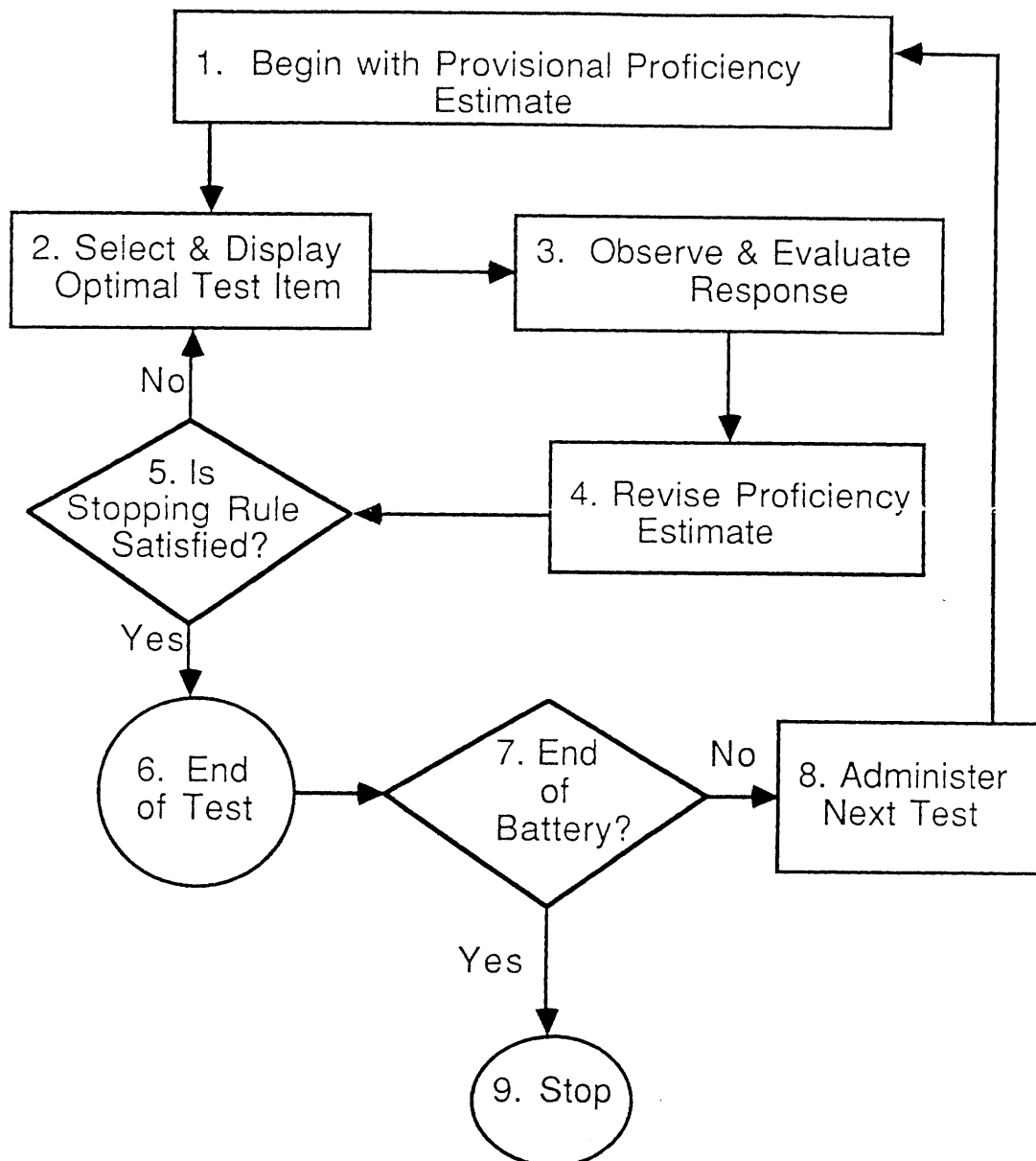


Figura 2.1: [Diagrama de flujo de un CAT]. Diagrama sacado de [3]

de pregunta, 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 la web presentó una nueva oportunidad** y un desafío para todo tipo de aplicaciones educativas por ordenador. Muchos sistemas adaptativos se movieron a sistemas online, ante las posibilidades que la web ofrecía a estos sistemas [15] [16]. Tal fue el interés que para finales de la década 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 por, principalmente, 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. Una aplicación web diseñada con unos usuarios en mente puede que no se adapte correctamente a otros usuarios.
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 estudiante 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 la de la figura 2.2** [19]. 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 las entidades que componen el dominio del problema. **El modelo del usuario** a su vez recoge la información que existe

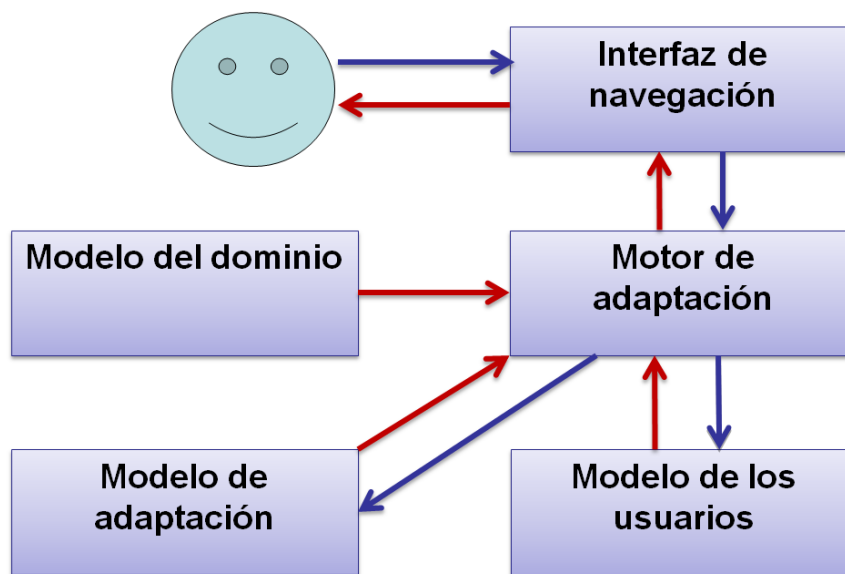


Figura 2.2: Abstracción de un sistema adaptativo

sobre el 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 es fijo, en el sentido de que permanece estable durante la vida del mismo, el modelo de adaptación y el modelo de los usuarios van sufriendo variaciones, en función de la entrada que produzcan los usuarios.

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 rellando 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 . 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 adaptación en módulos expuestos en la figura 2.2, que es la base del diseño de la aplicación, y 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 todos los requisitos, funcionales y no funcionales, que se han identificado. A continuación, las ideas detrás del diseño implementado y para terminar, se detalla los resultados de la fase de desarrollo.

Como este proyecto nació asociado a una investigación y a lo largo de la vida de ella se han creado varios prototipos incrementales, 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 online creado para que sirva de apoyo a la enseñanza. Para ello, 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 entidades** que le ayuden a clasificar las preguntas. Como se ve en la figura 3.1, la entidad 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 definido por el sistema, sino por lo que el profesor desee crear.

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.

Por último, y puesto que el sistema requiere de autenticación para poder ser

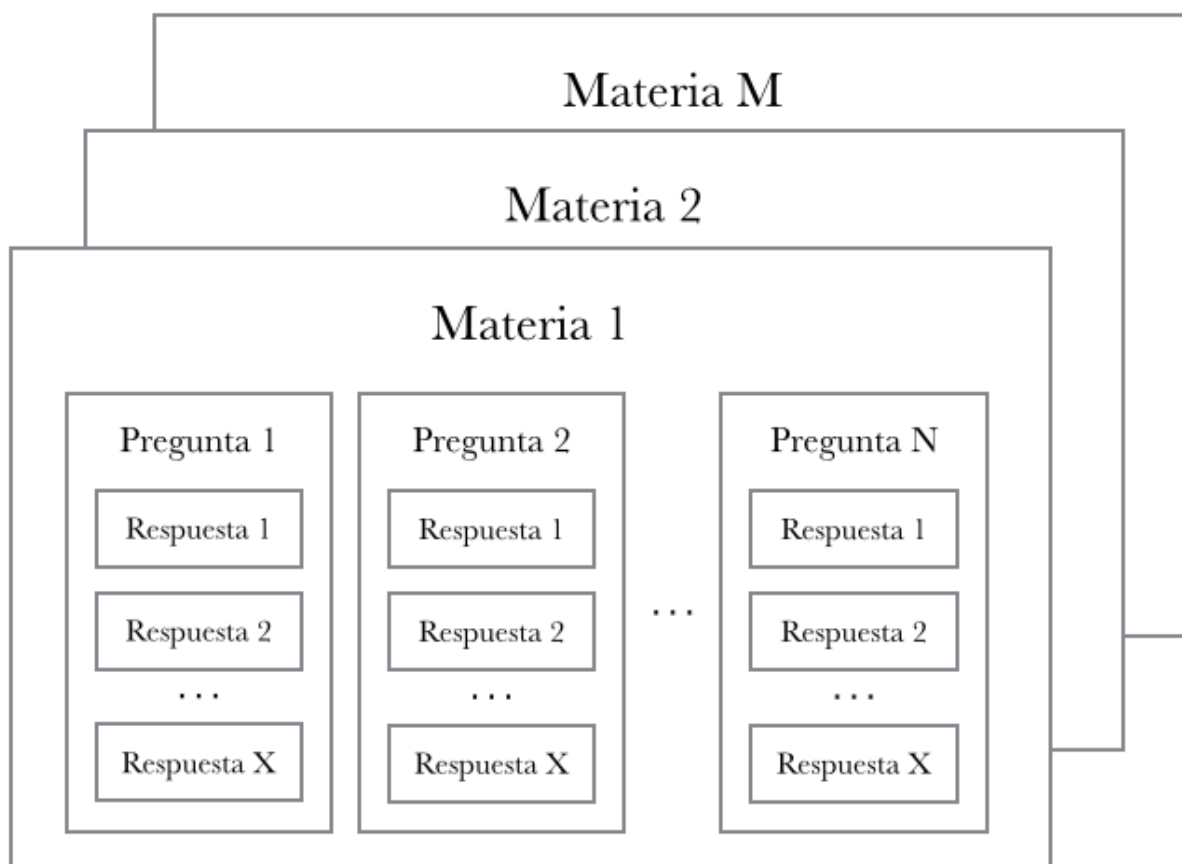


Figura 3.1: Jerarquía de las entidades

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.

3.2 Análisis de requisitos

Los requisitos aquí detallados son el fruto de un análisis a priori sobre qué necesidades tenía que cubrir el sistema más carencias que se han detectado al ser utilizado en entorno reales y que se han ido añadiendo.

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 más o menos funcionalidad 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. Podrá cambiar el título en cualquier caso, 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 aumente. 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 un fichero de audio (en formato mp3) o imagen (con extensión gif, png, jpeg o jpg) y asociarlo 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 el cuestionario 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 deberán 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.

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. Estudiantes alfabetizados 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 para 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, al menos, 50 usuarios realicen a la vez un mismo cuestionario.

3.3 Diseño

Como ya se ha dicho 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. Durante las siguientes secciones se dará una descripción más detallada de los módulos.

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.

El **modelo del usuario va 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.

La asignatura es la primera división que se utiliza normalmente en los entornos educativos. Un docente se encarga de unas asignaturas en concreto y los estudiantes van explorando el conocimiento por asignaturas. Así, cada asignatura tiene asociados un listado de usuarios, algunos como docentes y otros como estudiantes.

Dentro de cada asignatura, 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 así carezca de entendimiento sobre los conceptos básicos. Así, el docente deberá establecer en cuántos niveles de relevancia se divide una materia, siendo el nivel de menor número el 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.
- Variable booleana indicando si es la respuesta correcta o no.
- Imagen *Opcional*.
- Audio *Opcional*.

Una vez escritas preguntas, **el equipo docente puede crear cuestionarios**. Los 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.

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: cómo elegir la primera pregunta, cómo elegir la siguiente pregunta, y cuándo parar.

El modelo propuesto elige la primera pregunta de forma aleatoria 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.

Cuando un profesor crea un cuestionario establece dos parámetros relevantes a la hora de determinar cuando un cuestionario para. Por un lado, establece un tiempo máximo para realizar el cuestionario. Por otro lado, establece un parámetro, N_v , que indica el número de preguntas que debe responder cada alumno en cada intento. 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.

La elección de la siguiente pregunta depende de N_v y de otro parámetro establecido por el profesor: el número de niveles en los que una pregunta se puede clasificar dentro de la materia asociada al cuestionario. El número de niveles se denota con N_l . El algoritmo de elección de la siguiente pregunta queda recogido en la figura ??.

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.

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. Así mismo, la aplicación da al docente la opción de mostrar una casilla que especifique que el alumno ha respondido sin estar seguro de que sea la respuesta correcta. Que se marque o no dicha casilla no afecta a la elección de la siguiente pregunta.

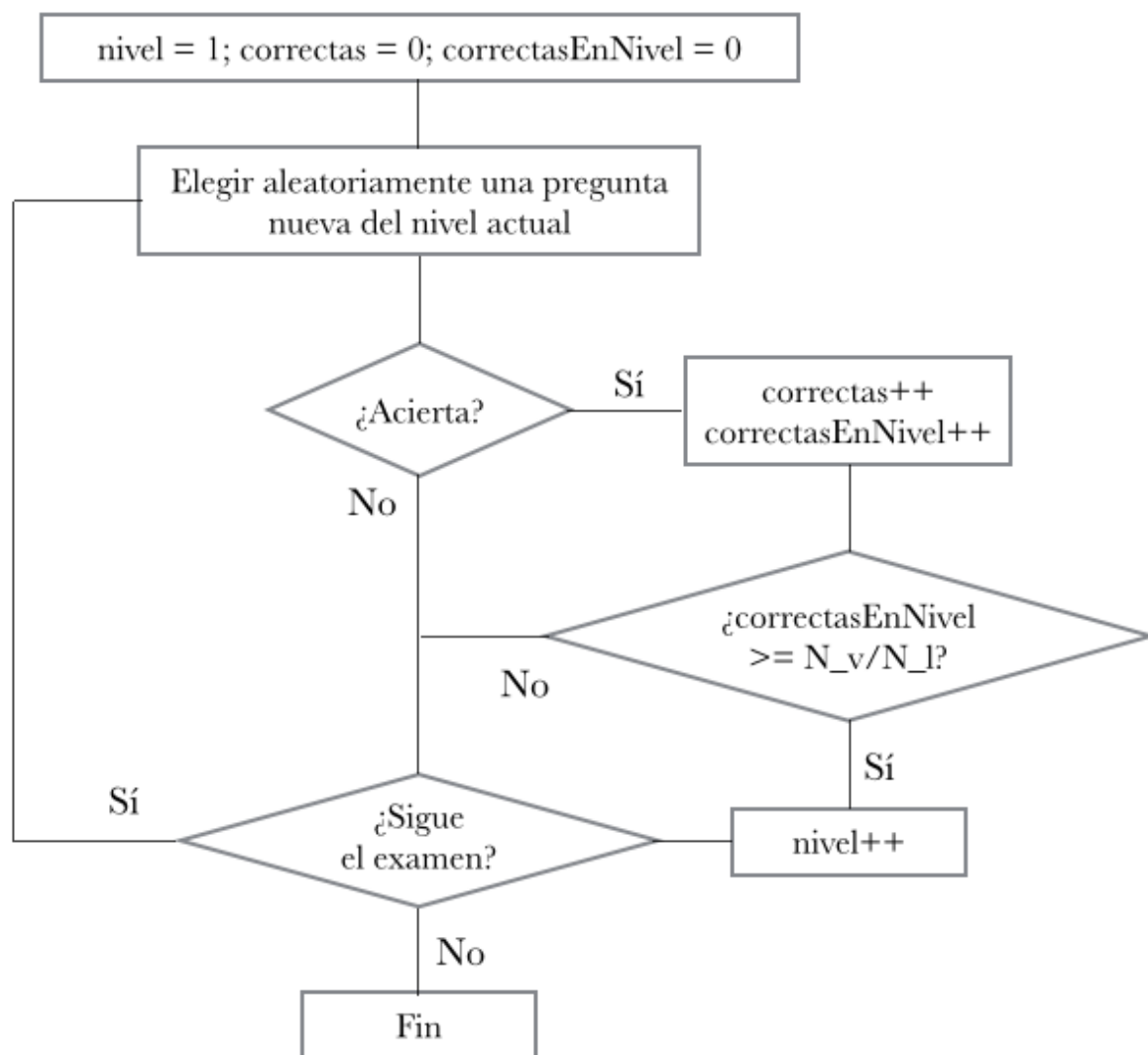


Figura 3.2: Algoritmo para determinar la siguiente pregunta

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 evaluación, que en nuestro caso se traduce en nuevos modelos de adaptación, por lo que al menos sabemos que ese módulo muy posiblemente cambiará. Siendo así, en este diseño es de especial importancia que modificar el modelo de adaptación del examen 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 los apéndices A y B, que hacen referencia a cómo está estructurado el código del proyecto y las partes del código más relevantes, respectivamente.

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.

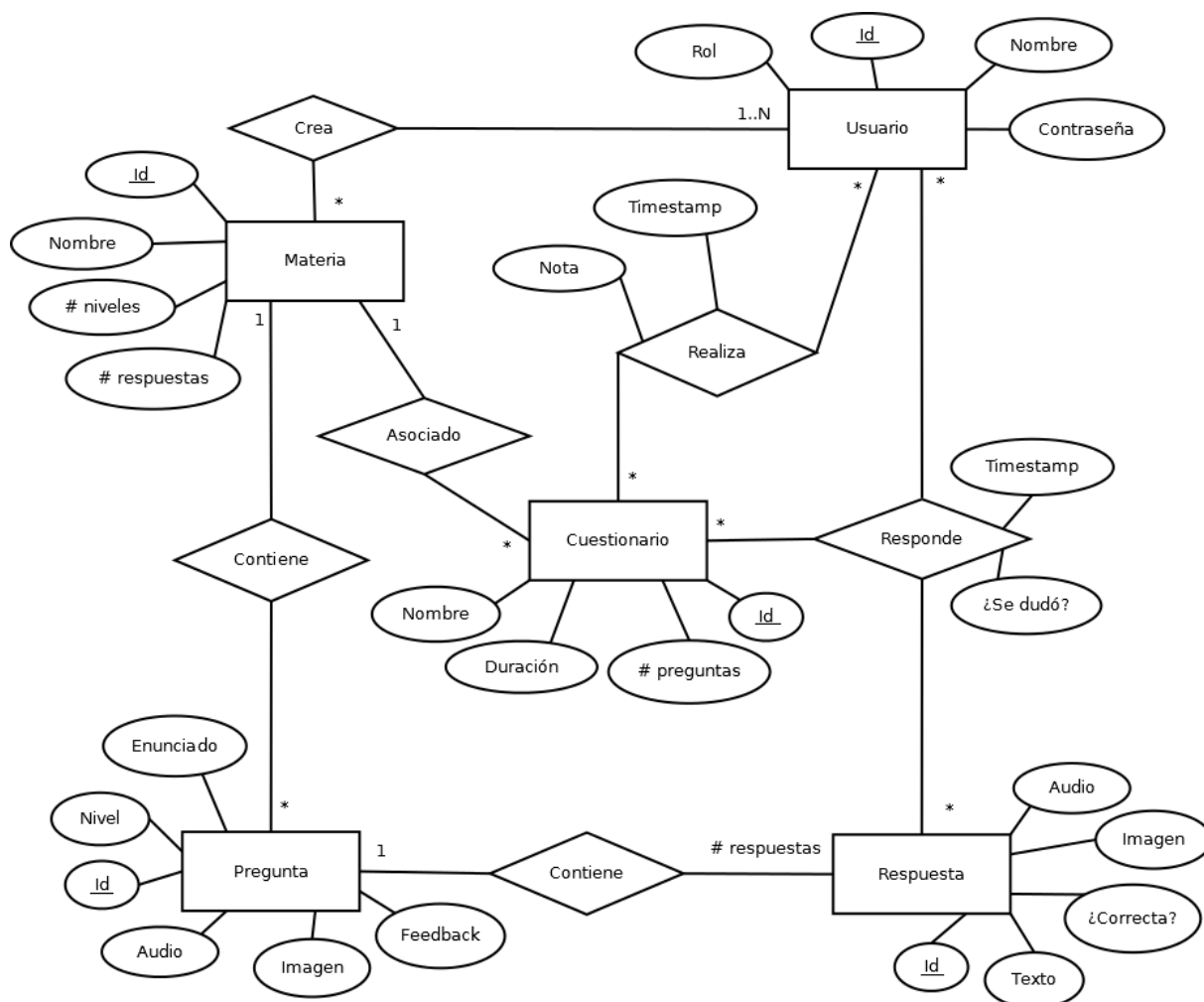


Figura 3.3: Diagrama entidad relación de la base de datos

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.

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.

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.		

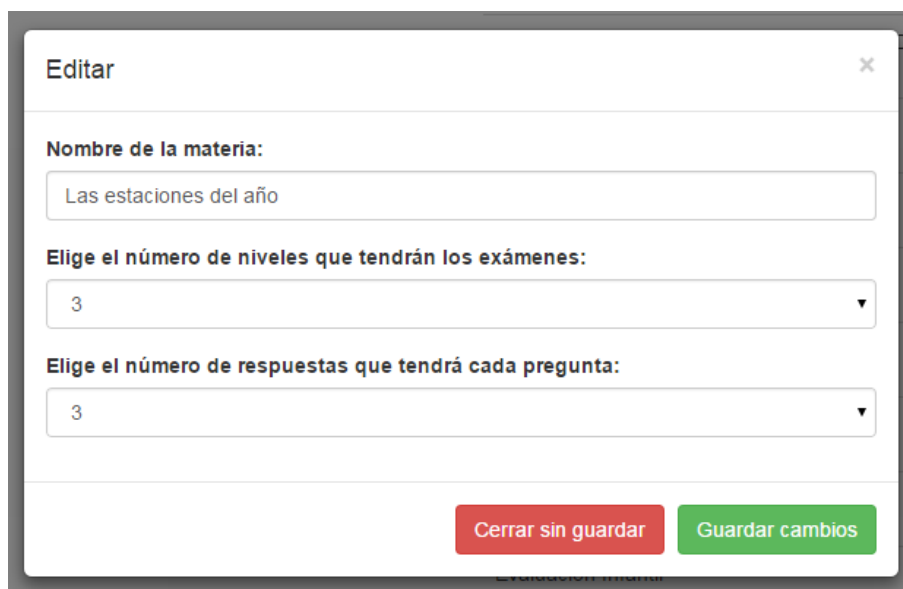
Figura 3.4: Interfaz de e-valUAM para el profesor

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 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.

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



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

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.

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

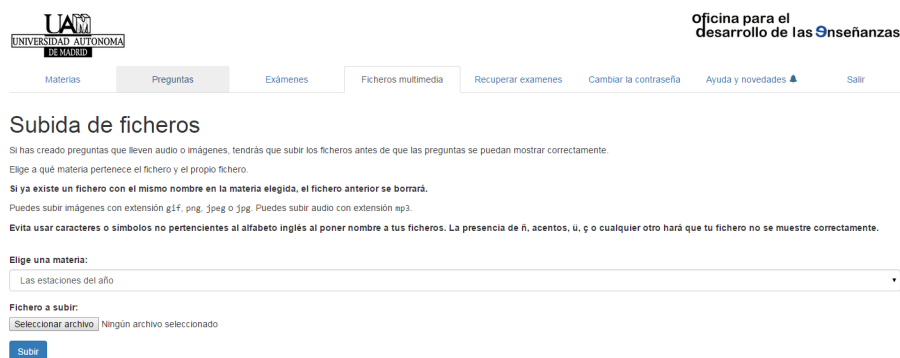


Figura 3.6: Subida de elementos multimedia

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 ordenada-

Recuperar exámenes

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

Primero deberás 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
Examen Test	Tema 1	<input type="radio"/>
Repaso Tema 1	Tema 1	<input type="radio"/>
Examen Tema 1	Tema 1	<input 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"/>
Examen Final	Examen final	<input checked="" type="radio"/>
Test Conocimientos Informáticos	Test Conocimiento Informática	<input type="radio"/>

Alumnos

Id alumno	Nombre alumno	Nota	Fecha y hora	Seleccionar
15		8.69	2014-01-14 15:17:13+01	<input type="radio"/>
7		5.86	2014-01-14 15:16:05+01	<input type="radio"/>
30		5	2014-01-14 15:14:55+01	<input type="radio"/>
12		2.6	2014-01-14 15:14:34+01	<input type="radio"/>
14		1.73	2014-01-14 15:12:34+01	<input type="radio"/>
16		7.82	2014-01-14 15:10:14+01	<input type="radio"/>

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

mente 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.

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. Este análisis permite quitar al profesor un gran trabajo, ya que revisar todos los cuestionarios manualmente, agrupando por preguntas y calculando ratio de fallos podría llevar horas, especialmente para grupos de alumnos grandes.

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.

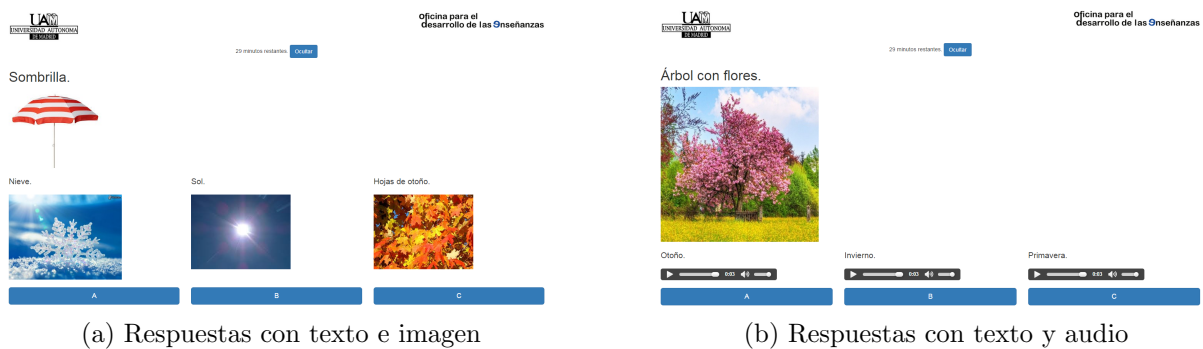


Figura 3.9: Ejemplo de preguntas de un examen

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. 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 de 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 e-valUAM 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.

Desde el mes de octubre hasta el final del curso, los alumnos tuvieron disponibles 3 cuestionarios de autoevaluación y realizaron 4 exámenes. Los cuestionarios de autoevaluación estaban disponibles a los alumnos para que los realizarán tantas veces como quisieran. De los 15 alumnos, 6 utilizaron la aplicación para autoevaluación menos de 3 veces, mientras que otros 6 la utilizaron más de 15 veces. Los exámenes fueron dos parciales, un examen final para la convocatoria ordinaria y otro para la extraordinaria, al que solo se tuvieron que presentar 3 alumnos. La calificación determinada por la aplicación se ponderó en la nota final de la asignatura. A lo largo del año, entre tres profesores de Historia crearon un total de 372 preguntas, respondiéndose cada una de ellas 12,386 veces de media.

Los resultados de la experiencia fueron muy satisfactorios. A nivel técnico, el sistema respondió como se esperaba durante todo el proceso, sin sufrir ningún tipo de caída. La mayor prueba de estrés del sistema fue el día del examen final. Durante el examen, los 15

¿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

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, estas no pueden cambiar), la primera sí se tuvo en consideración añadiendo la opción al modelo de la respuesta con duda.

De cara a la creación del segundo prototipo, además de añadir la respuesta con duda, se decidió crear el apartado de gestión del profesor, además de aumentar las capacidades de la aplicación para trabajar con ficheros multimedia. Así mismo, se 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, de dos formas. 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 testear 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, los alumnos eran más 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 y un grupo de control.

Se creó un examen de 60 preguntas divididas en dos niveles de relevancia, cada nivel con 30 preguntas. 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.

El cuestionario lo respondieron 49 alumnos del Grado en Educación Infantil, que fueron el grupo de control, y alumnos del Grado en Ingeniería Informática y el Doble Grado con Matemáticas, que actuaron como grupo con conocimiento experto. En concreto 9 alumnos del último curso y 25 de segundo curso.

Este cuestionario permitió conocer mejor a los futuros usuario, 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 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 surgió en función 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.

Desde diciembre de 2014, los alumnos tuvieron disponible durante un mes un cuestionario de autoevaluación con 91 preguntas distintas, divididas en 4 niveles. Los alumnos realizaron el cuestionario 838 veces en total, 5 de los 49 alumnos no lo intentaron ni una sola vez, mientras que hubo 42 que lo utilizaron 5 o más veces. La media de accesos

fue de 17.1, mientras que 9, 15 y 23 fueron el primer, segundo y tercer cuartil de la serie del número de accesos por alumno.

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. Durante las dos semanas siguientes, los alumnos crearon en total 19 cuestionarios nuevos, lo que supuso 848 preguntas nuevas y 1364 ficheros multimedia subidos al servidor.

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

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:

- 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 abstraerá 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.

6 Trabajo futuro

A lo largo del desarrollo del proyecto han ido surgiendo ideas y propuestas de mejoras del sistema que desean explorarse 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 probado para solucionar las deficiencias que puedan existir y luego centrar los esfuerzos a hacer que el sistema sea accesible para usuarios con diversidad funcional.
- Añadir al sistema la clasificación del contenido en asignatura, de tal manera que cada profesor solo tenga permisos de creación y edición sobre sus asignaturas y que cada alumno solo vea los cuestionarios de las asignaturas en las que está matriculado.
- Introducir una interfaz de administración que permita dar de alta o baja a usuarios y crear o destruir asignaturas.

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-valum," 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 *et al.*, "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. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/12944.12948>
-

Apéndices

A Estructura del proyecto

B Código más relevante