ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Proyecto Fin de Carrera

Creación de objetos de aprendizaje para la enseñanza virtual del análisis por termografía infrarroja

(Creating learning objects for virtual class of infrared thermographic analysis)

Para acceder al Título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Autor: Luis Alberto Rotaeche Zubillaga

Febrero - 2016

E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

Realizado por: Luis Alberto Rotaeche Zubillaga
Director del PFC: Francisco Javier Madruga Saavedra
Título: "Creación de objetos de aprendizaje para la enseñanza virtual del análisis por termografía infrarroja"
Title: "Creating learning objects for virtual class of infrared thermographic analysis"

Presentado a examen el día:

para acceder al Título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:
Presidente (Apellidos, Nombre): García Gutiérrez, Alberto Eloy
Secretario (Apellidos, Nombre): Madruga Saavedra, Francisco Javier
Vocal (Apellidos, Nombre): Herrera Guardado, Amparo

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de: .....

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del PFC
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Proyecto Fin de Carrera Nº
(a asignar por Secretaría)

Agradecimientos

A Esther, con su cariño y apoyo el camino se hace más fácil.

Agradecer el compromiso y dedicación que ha tenido en todo momento mi director de proyecto Francisco Madruga

Índice.

Índice. 4
Resumen. 8
Abstract. 9
1. Introducción. 10
1.1 Contexto y motivación. 10
1.2 Objetivos. 10
1.3 Estructura de la memoria. 11
2. Elementos que sostienen un Entorno Virtual de Aprendizaje ("plataformas *e-learning*"). 12
2.1 Plataformas virtuales de enseñanza/aprendizaje. 13
2.1.1 Sistemas centrados en torno a los contenidos (CMS). 13
2.1.2 Sistemas centrados en el aprendizaje: LMS (Learning Management System). 14
2.1.3 LCMS también llamados Ambientes Virtuales de Aprendizaje. 15
2.2 Objetos de aprendizaje (OA). 16
2.2.1 Los docentes vistos como diseñadores instruccionales. 16
2.2.2 Definición, estructura y características de un objeto de aprendizaje. 17
2.2.3 Especificaciones, estándares y modelos de referencia. 18
2.2.4 Creación de objetos de aprendizaje. 19
2.2.4.1 Descripción de las fases de elaboración de un OA. 19
3. Introducción a la Termografía y la imagen térmica como objeto de análisis. 21
3.1 Fundamentos físicos de la medida de la temperatura por medio de técnicas de radiación. 22
3.1.1 Cuerpo negro y emisividad (ε). 23
3.1.2 Cuerpos negros prácticos. 25
3.2 Cámaras termográficas. 26
3.2.1 Componentes básicos que intervienen en el proceso de captura de la imagen térmica. 26
3.2.1.1 Las lentes de la cámara. 26
3.2.1.2 Filtros. 26
3.2.1.3 Detector. 26
3.2.1.4 Procesador digital. 27
3.2.2 Tipos de detectores: fotónicos y térmicos. 27

3.2.2.1 Fotónicos: sensores basados en la fotodetección. 27
3.2.2.2 Sensores térmicos. 28
3.2.3 Parámetros relevantes de las cámaras infrarrojas. 28
3.3 El trabajo de campo: Tomando medidas con cámaras termográficas. . 30
3.3.1 Parámetros de objeto. 32
3.3.2 Influencia de las condiciones del entorno. 33
3.3.3 La importancia de la emisividad en las medidas de temperatura. .. 33
3.3.4 Compensación de la temperatura aparente reflejada (RTC, Reflected Temperature Compensation). 34
3.3.5 Técnicas de inspección. 35
3.3.5.1 Termografía comparativa. 35
3.3.5.2 Termografía inicial (“imagen fría”). 35
3.3.5.3 Tendencia o gradiente térmico. 36
3.3.6 Tipos de análisis de las imágenes térmicas: Cualitativo y cuantitativo. 36
3.4 ¿Cómo tomar la imagen térmica? 36
3.5 Campos de aplicación de la termografía infrarroja. 38
4. Herramientas para el diseño y desarrollo de una aplicación Web lado cliente. 39
4.1 Presentación de las herramientas Web utilizadas. 40
4.1.1 HTML5: evolución de HTML. 40
4.1.2 Hojas de estilo CSS para el diseño y maquetación de la interfaz de usuario 40
4.1.3 Elemento HTML5 <*canvas*>. 40
4.1.4 Biblioteca multiplataforma Javascript, *jQuery* [15]. 41
4.1.4.1 ¿Por qué usar jQuery? 41
4.2 Diseño del visor de imágenes con transición visible-térmica. 41
4.2.1 *Layout* a dos columnas frente a *layout* a una sola columna. 42
4.3 Procesando las imágenes infrarrojas en el lienzo <*canvas*>. 45
4.3.1 Carga de la imagen IR en el documento Web. 45
4.3.2 Acceso a la información de color del elemento <canvas>. 47
4.3.3 Ejemplo de manipulación de imágenes con canvas: Cambiando la paleta de colores. 50
4.3.3.1 Estudio previo. 50
4.3.3.2 Procesado de la termografía. 51

5. Diseño y desarrollo de una aplicación interactiva para el análisis de imágenes termográficas. 53
5.1 Planificación. 54
5.1.1 Lista de requisitos (“*product backlog”*). 54
5.2 Desarrollo de la aplicación: ciclos (sprints) de trabajo. 54
5.2.1 Primer sprint. 54
5.2.1.1 Precargando las imágenes y miniaturas del menú. 55
5.2.1.2 Clase Javascript VisorCamara. 56
5.2.1.3 Conversión del color a temperatura y mostrarla en el visor. 56
5.2.1.4 Fin del sprint: capturas de la demo presentada. 58
5.2.2 Segundo sprint. 58
5.2.2.1 Cursor seguido por una capa con retroalimentación de coordenadas. 58
5.2.2.2 Registro en formulario de los datos del pixel seleccionado. 59
5.2.3 Tercer sprint: diseño del visor con selección vista real/termografía. 60
5.2.3.1 Selección de vista real/termografía. 60
5.3 Manual de usuario. 61
6. Integración de la aplicación en objeto de aprendizaje bajo la plataforma LCMS Moodle. 63
6.1 Elaboración del objeto de aprendizaje. 64
6.1.1 Introducción. 64
6.1.2 Fase de análisis y obtención de materiales. 64
6.1.2.1 Datos generales del objeto de aprendizaje. 65
6.1.2.2 Elaboración de materiales. 66
6.1.3 Diseño. 66
6.1.3.1 Requisitos de funcionamiento. 66
6.1.3.2 Elección del estándar para crear el paquete de contenido. 67
6.1.4 Desarrollo. 67
6.1.4.1 Agregación y empaquetado de contenido. 67
6.2 Integración en la plataforma Moodle [28]. 70
6.2.1 Curso Moodle en máquina de desarrollo. 70
6.2.1.1 Resolviendo problema: “el archivo subido excede la directiva max_post_size en php.ini Moodle”. 70
6.2.1.2 Administración del sitio Moodle: Características avanzadas. 71
6.2.2 Integración y pruebas en plataforma de producción 72

6.2.2.1 Pruebas iniciales. 72
6.2.2.2 Editar ajustes: Actualizando paquete SCORM. 72
6.2.2.3 Evaluación y seguimiento del aprendizaje. 73
7. Conclusiones y líneas futuras. 75
7.1 Líneas futuras. 75
Apéndice A. Especificaciones, estándares y modelos de referencia e-learning. 76
A.1 ADL. 76
A.2 AICC. 77
A.3 IMS Global Learning Consortium. 78
A.4 IEEE LTSC, perteneciente al Institute of Electrical and Electronic Engineers. 79
A.5 DCMI. 79
A.6 Estado de la cuestión. 80
A.7 Estándares e-learning y las plataformas LCMS. 82
Apéndice B. HTML5: evolución de HTML. 83
B.1 HTML5 hacia la web semántica. 83
B.2 Mayor énfasis en el uso de hojas de estilo CSS para el formato. 84
B.3 Soporte nativo de video, audio y gráficos en los navegadores. 85
Apéndice C. Beneficios con la utilización de CSS. 87
Apéndice D. Integración de la biblioteca jQuery en una aplicación Web. 88
D.1 Aprovechando una CDN. 88
Apéndice E: Herramientas de autoría para la creación de paquetes de contenido SCORM e IMS. 90
Apéndice F: Ejemplo de código fuente XML del manifiesto de un paquete de contenidos SCORM 1.2. 91
Apéndice G: Ejemplo de código fuente XML del fichero de metadatos LOM-ES de un paquete de contenidos. 93
Referencias. 95

Título: Creación de objetos de aprendizaje para la enseñanza virtual del análisis por termografía infrarroja.

Resumen.

La utilización de plataformas de enseñanza virtual ("*e-learning*") se está abriendo camino en todos los ámbitos de la docencia. La necesidad de formarse continuamente, unida a la falta de tiempo para asistir a las tradicionales clases presenciales, ha potenciado esta forma de enseñanza alcanzando muy altas cotas de implantación. Estas plataformas basadas en tecnologías Web fomentan el aprendizaje autónomo de los estudiantes mediante recursos teóricos y prácticos de aprendizaje, proporcionando además a los profesores-tutores, las herramientas para la gestión del seguimiento y evaluación del progreso alcanzado por los estudiantes y profesionales en formación.

El área experimental elegida para elaborar un curso siguiendo la modalidad de aprendizaje antes señalada, es el de la termografía por infrarrojos, la cual es una tecnología de aplicación transversal que lleva utilizándose con mucho éxito en multitud de sectores (industria, edificación y obra civil, electricidad, electrónica, soldadura,…) para el mantenimiento predictivo, monitorización y ensayos no destructivos (END).

En el presente trabajo se ha diseñado, desarrollado e implantado un objeto de aprendizaje de contenido eminentemente práctico para el análisis de imágenes termográficas.

La implantación de esta "herramienta instruccional", basada en tecnologías Web que se va a elaborar, supone integrarla en una plataforma virtual de aprendizaje (Moodle es la que se utiliza en este proyecto), por ello su diseño y desarrollo estará sujeto a las especificaciones e-learning más adecuadas.

Palabras clave: Termografía, *e-learning*, plataformas virtuales de aprendizaje, LCMS, Moodle, objetos de aprendizaje, SCORM, HTML5, elemento canvas, Javascript.

***Title: Creating learning objects for virtual class of infrared thermographic analysis*.**

Abstract.

The use of virtual learning platforms ("e -learning") is making headway in all areas of teaching. The need of continuous training, together with the lack of time to attend traditional classes, has promoted this form of education, reaching very high levels of implementation. These web-based technological platforms encourage the independent learning of students through theoretical and practical learning resources, providing also teachers/tutors the management tools for monitoring and evaluating the progress made by students and professionals in training.

The experimental area chosen to develop a course following the aforementioned learning mode, is infrared thermography, which is a cross-application technology that has been in use with great success in many sectors (industry, construction and civil works, electricity, electronics, welding...) for predictive maintenance, monitoring and non-destructive testing (NDT).

In this paper it is designed, developed and implemented a learning object with a highly practical content for the analysis of thermographical images.

The implementation of this "instructional tool," Web-based technologies that will be developed, would involve integrating a virtual learning platform (Moodle is the one used in this project), so their design and development is subject to the specifications e-learning more appropriate.

Keywords: *Thermography, e-learning, virtual learning platforms, LCMS, Moodle, shareable learning objects, SCORM, HTML5, canvas element, Javascript*.

1. Introducción.

Este primer capítulo de la memoria de proyecto fin de carrera sirve de preámbulo donde se describe el contexto, motivación y los objetivos del mismo, así como la estructura de este documento.

1.1 Contexto y motivación.

En este proyecto se van a diseñar y desarrollar contenidos de aprendizaje que se desplegarán como recursos digitales reutilizables y disponibles en Internet, lo que se denomina en el lenguaje del *e-learning*: Objetos de Aprendizaje (RLO -*Reusable Learning Objects*-), es decir, unidades mínimas de una experiencia de conocimiento que contiene un objetivo, una actividad de aprendizaje y una evaluación.

Estos objetos de aprendizaje se integran formando bloques de instrucción dentro de cursos gestionados por las plataformas virtuales de aprendizaje (Moodle es la que se utiliza en este proyecto), las cuales además, proporcionan a los profesores-tutores las herramientas para la gestión del seguimiento y evaluación del progreso alcanzado por los estudiantes y profesionales en formación.

El campo tecnológico elegido para el diseño, desarrollo y despliegue de un ejemplo práctico de objeto de aprendizaje es el análisis de imágenes termográficas, técnica utilizada en multitud de sectores de ingeniería (industrial, edificación y obra civil, electricidad, electrónica,…) para el mantenimiento predictivo, monitorización y ensayos no destructivos.

“Formación y experiencia” son los dos puntales sobre los que descansa la actividad de cualquier profesional, sobre todo en campos donde se requiere elevada cualificación como lo son todos aquellos relacionados con la tecnología. El diseño y desarrollo de objetos de aprendizaje se ha convertido en una herramienta indispensable para obtener la formación de calidad que estos profesionales demandan.

1.2 Objetivos.

La labor de crear contenidos didácticos ya es en sí difícil, complicándose aún más cuando el campo de estudio es eminentemente práctico, como es la termografía por infrarrojos, y sobre todo, si se pretende utilizar la modalidad de aprendizaje a distancia como vía para hacer llegar estos conocimientos a los estudiantes.

El objetivo final del proyecto es proporcionar una solución a este inconveniente, desarrollando objetos de aprendizaje, que deben poseer elementos motivadores e interactivos y que se conformarán en base a estándares *e-learning* que permitirán su integración en las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje como Moodle.

Alcanzar nuestro objetivo implica llevar a cabo varias tareas, además del consabido dominio del campo elegido (la termografía), principalmente:

- Estudio de las especificaciones y estándares para entornos de aprendizaje virtual, evaluando cuál se adaptará mejor a la plataforma Moodle.
- Desarrollo de una aplicación interactiva que simulará un visor de cámara termográfica utilizando tecnologías Web lado cliente. Esto implica profundizar en los estándares Web auspiciados por el consorcio W3C: HTML5 y CSS, programación Javascript y biblioteca multiplataforma jQuery. Se evitará así un mal funcionamiento del desarrollo por incompatibilidades de los navegadores Web donde va a ejecutarse la aplicación.

El grado de consecución de los objetivos lo van a marcar las posteriores pruebas y evaluación de estos objetos de aprendizaje que se van a realizar una vez integrados en la plataforma Moodle.

1.3 Estructura de la memoria.

La secuencia de capítulos del proyecto nos guía por las fases de creación del objeto de aprendizaje (OA), objetivo final del mismo.

Los dos primeros proporcionan la base teórica de este trabajo, por lo que se presentan como punto de partida imprescindible:

- El capítulo 2 expone la situación de los entornos *e-learning* que son las plataformas donde se integrará el desarrollo de este proyecto.
- El capítulo 3 es el que determina los objetivos de aprendizaje que se desea adquieran los estudiantes, es decir, “el qué”.

En el capítulo 4 se describen las herramientas que vamos a utilizar en el diseño de recursos (*assets*), los cuales se incluirán en la creación de los RLOs (*Reusable Learning Objects*) que componen las actividades de aprendizaje. Se llevará a cabo una implementación con esas herramientas en el capítulo 5.

El capítulo 6 describe cómo vamos a integrar el OA en el LCMS (*Learning Content Management System*), Moodle en nuestro caso, y se valorará su funcionamiento en la plataforma.

En el capítulo 7 y último, se presentarán las conclusiones obtenidas de este trabajo y lo que se puede mejorar o desarrollar.

2. Elementos que sostienen un Entorno Virtual de Aprendizaje ("plataformas *e-learning*").

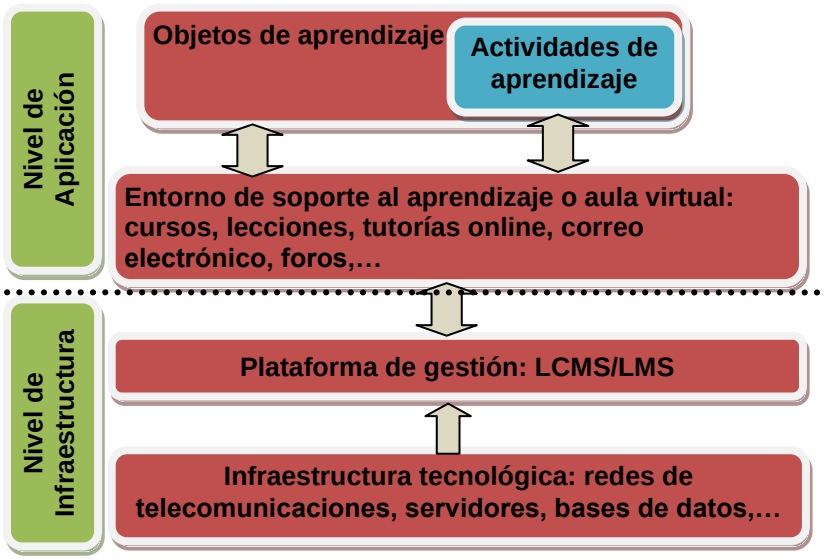
Los procesos de aprendizaje de los estudiantes universitarios en todo el mundo están influenciados por la incorporación de las plataformas de aprendizaje en la práctica docente, y son implementadas en su gran mayoría a través de los Sistemas de Gestión de Aprendizaje (LMS) o Sistemas de Gestión de Contenidos (CMS). Por ejemplo, en un estudio publicado en 2009 por el Grupo de Investigación de Tecnología Educativa de la Universidad de Murcia, más del 90% de las universidades españolas ya utilizaban plataformas de campus virtual basadas tanto en software libre como propietario, siendo Moodle (España es el segundo país del mundo después de Estados Unidos en número de plataformas Moodle registradas [1]) la principal herramienta *Open Source* usada.

Se ha de señalar que los entornos virtuales se utilizaron exclusivamente en un primer momento para la formación a distancia; sin embargo, con el gran avance de las nuevas tecnologías en los centros de formación, también se han incorporado muy fuertemente a la educación presencial, generando así modalidades como el aprendizaje semipresencial o "*blended learning*".

En este capítulo, se presentan los entornos virtuales de aprendizaje (LCMS) además de la situación actual de las especificaciones para e-learning, indispensables para la creación de objetos de aprendizaje y cómo estos interactúan con dichos entornos de gestión del proceso de enseñanza-aprendizaje. También se detallarán conceptualmente los pasos del procedimiento para la creación de un objeto de aprendizaje.

2.1 Plataformas virtuales de enseñanza/aprendizaje.

Los objetos de aprendizaje, si bien se pueden ver como entidades autónomas reutilizables, no se entiende su existencia sin las plataformas virtuales de enseñanza/aprendizaje (LMS/LCMS -Learning Management System/ Learning Content Management System-) donde se van a integrar, pues para que tengan sentido pedagógico deben ser capaces de sumarse a otros recursos de aprendizaje para enseñar algo. Esto es debido a que, como sabemos, los contenidos educativos se encuadran dentro de ciertas jerarquías, es decir, agrupados en temas, lecciones, módulos, unidades didácticas, cursos, etc.



2.1 Arquitectura de un entorno de aprendizaje virtual.

2.1.1 Sistemas centrados en torno a los contenidos (CMS).

En la actualidad, estos sistemas están ampliamente utilizados en las comunidades TIC (comercio electrónico, plataforma de blogs y de webs corporativas,…). Se puede decir que son aplicaciones software integradoras destinadas a la creación, administración, distribución y actualización de los contenidos de un sitio Web, es decir, en principio no están específicamente diseñados para soportar plataformas de aprendizaje. Carecen de módulos específicos para el seguimiento y evaluación de las actividades de los visitantes aunque sí disponen de herramientas poderosas para crear contenido interactivo fácilmente adaptable para el aprendizaje al estar basados en las últimas tecnologías de la Web 2.0., además de mostrarse como plataformas muy versátiles para el trabajo colaborativo, dos elementos que se han convertido en base de los procesos del aprendizaje actual.

Estas herramientas permiten: publicar fácilmente, interactuar con el contenido y con otros usuarios (conversar), trabajar de forma colaborativa, personalizar el acceso a la información, etc. Su ventaja esencial como herramienta para la construcción de productos Web es que permite manejar el diseño de manera independiente de la gestión de los componentes del contenido (arquitectura, creación, almacenamiento, modificación, edición).

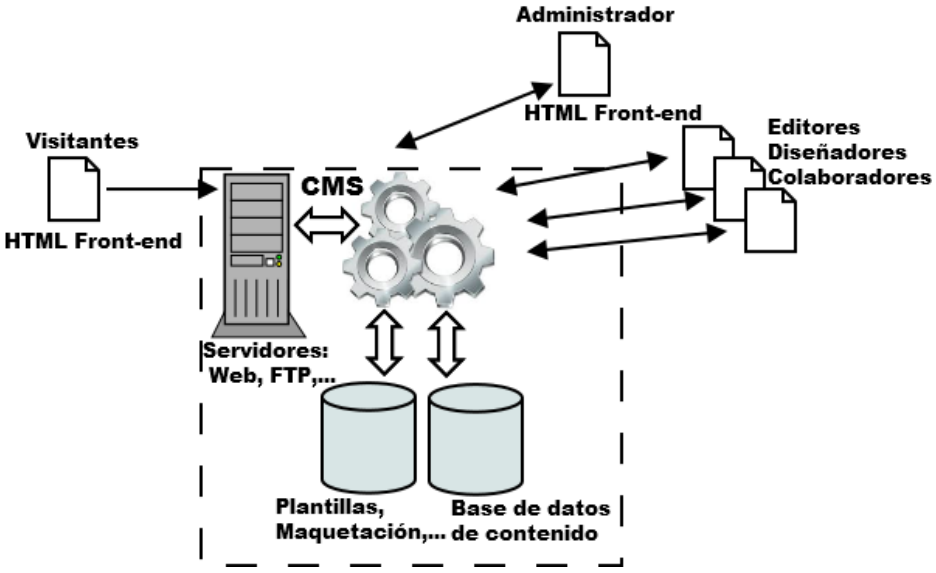


Figura 2.2. Roles e interacciones en un CMS.

2.1.2 Sistemas centrados en el aprendizaje: LMS (Learning Management System).

Al igual que los CMS, las plataformas LMS son un conjunto de aplicaciones software para servidores Web que proveen las funciones administrativas y de seguimiento necesarias para posibilitar y controlar el acceso a los contenidos, facilitar recursos de comunicación y llevar a cabo el seguimiento de quienes utilizan la plataforma. En general, los LMS facilitan la interacción entre los docentes y los estudiantes, aportan herramientas para la gestión de contenidos académicos y permiten la comunicación, el seguimiento y la evaluación. Sus funciones principales son:

- **Gestión de los usuarios:** inscripción, control de acceso, seguimiento de los aprendizajes e itinerarios formativos, generación de informes, etc.
- **Gestión de los cursos**, que incluye su distribución, el registro de la actividad de los usuarios (alumnado principalmente, pero también de los profesores/tutores), interacciones con el material formativo, exámenes, evaluaciones, tiempos de acceso, etc.
- **Gestión de los servicios de comunicación** como apoyo del material didáctico y soporte para los aprendizajes. Las principales herramientas son el correo electrónico, foros de discusión, charlas o soporte para videoconferencia.

Como se puede observar, en lo esencial no hay gran diferencia entre ambos sistemas, podríamos decir incluso que al igual que existen CMS orientados al comercio electrónico (***e-Commerce***) un LMS vendría a ser un CMS orientado a la actividad de enseñanza/aprendizaje (***e-learning***).

Sin embargo, a diferencia de los CMS, generalmente cuando hablamos de LMS implica que no incluye posibilidades de autoría (rol de creador que desarrolla sus propios contenidos), sino que se focaliza en gestionar

contenidos creados por diversas fuentes externas. En la actualidad, la labor de crear los contenidos para los cursos se puede desarrollar también sobre los LMS por lo que serán denominados más correctamente LCMS (Learning Content Management Systems), es decir, son plataformas virtuales de enseñanza/aprendizaje que integran capacidades de CMS y LMS.

2.1.3 LCMS también llamados Ambientes Virtuales de Aprendizaje.

En la Figura 2.2, añadiendo la capa LMS al sistema de gestión de contenidos y cambiando los siguientes roles:

- Tanto visitantes como colaboradores podrán ser los estudiantes.
- Editores, diseñadores y colaboradores podrán ser los profesores/tutores.

Tendríamos ante nosotros el diagrama de funcionamiento de una plataforma LCMS como el de la Figura 2.4 que respondería a una arquitectura como la representada en la Figura 2.3.

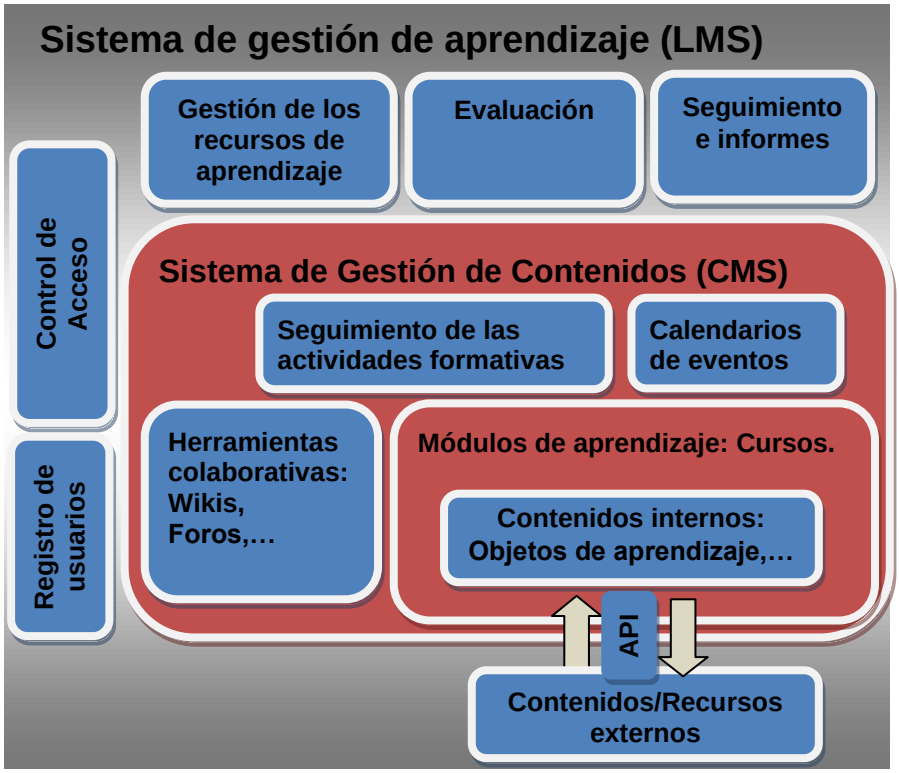


Figura 2.3. Componentes fundamentales de un LCMS.

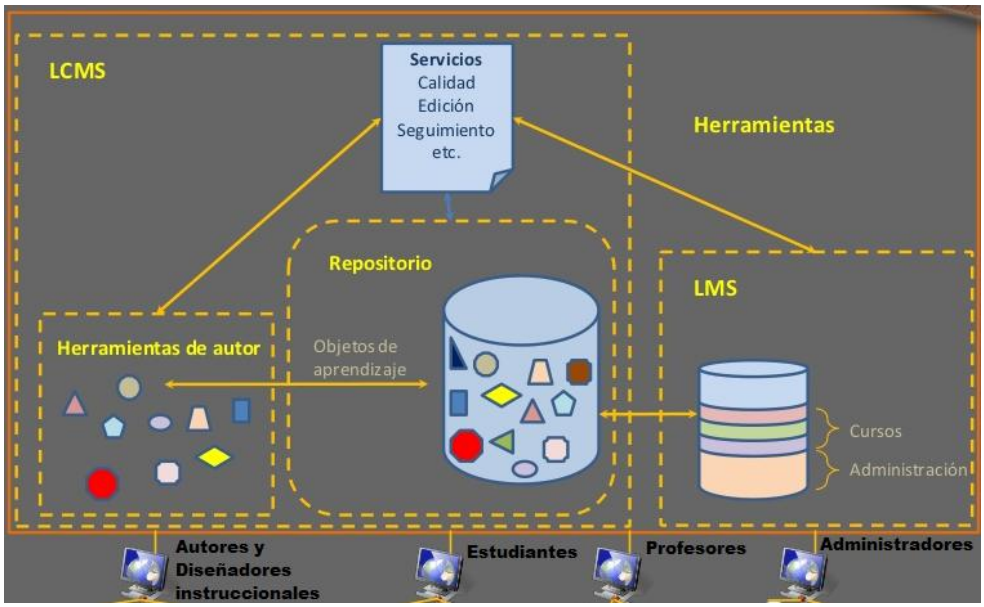


Figura 2.4. Roles e interacciones en un LCMS [2].

2.2 Objetos de aprendizaje (OA).

2.2.1 Los docentes vistos como diseñadores instruccionales.

Con la implantación de las TIC en las aulas los docentes se convierten en "facilitadores del aprendizaje" con el imprescindible apoyo de las plataformas virtuales como medio de gestión, comunicación, seguimiento,… del aprendizaje del alumnado. Ahora bien, aunque dispongamos de los medios tecnológicos (hardware y software) adecuados, sin unos buenos "contenidos", lo que implica un diseño e implementación de calidad de los mismos, nos será más complicado guiar al alumnado hacia la consecución de los objetivos de aprendizaje.

Se expresa "contenidos" entre comillas porque realmente no se pueden quedar en meros recursos digitales que en muchos casos los estudiantes pueden ser capaces de localizar e incluso elaborar por sí mismos. Estamos hablando de los elementos fundamentales y diferenciadores que el docente va a crear exprofeso tomando el rol de "diseñador instruccional" y que la literatura del e-learning denomina Objetos de Aprendizaje.

Los formadores o docentes saben de la dificultad y el gran esfuerzo que se debe realizar para diseñar unos contenidos educativos que conduzcan a los estudiantes a una experiencia de aprendizaje efectiva a la vez que motivadora. Complicándose aún más cuando se trata de aprendizaje en plataformas virtuales donde el alumnado es el protagonista en el proceso de formación y los contenidos deben favorecer su labor activa de auto-aprendizaje. Esta componente didáctica es la que debe incentivar al docente a realizar un buen diseño de objetos de aprendizaje; ahora bien, es la componente tecnológica la que nos facilita las herramientas para la construcción de estos vehículos de formación.

Para construir OA, además del dominio de la materia que se desea transmitir se requiere:

- Destreza en el empleo de las herramientas tecnológicas que se necesitan para construir cualquier otro "material digital de aprendizaje" (diseño web, edición multimedia, etc.)
- Tener un profundo conocimiento de las especificaciones y estándares que definen cómo se constituyen, cómo interaccionan y se integran con el sistema de gestión así como de las herramientas software que facilitan la elaboración y edición de OA bajo esos estándares e-learning.

2.2.2 Definición, estructura y características de un objeto de aprendizaje.

Según diferentes bibliografías que se consulten se podrán hallar otros términos para referirse, sin embargo, a la misma entidad dentro del ámbito del e-learning, los Objetos de Aprendizaje (OA en inglés Learning Objects -LO-): RLO (Reusable Learning Objects) o también SCO (Sharable Content Object).

La definición de Objeto de Aprendizaje no está exenta de controversias. La comunidad científica no se pone de acuerdo por lo que en algunas definiciones encontramos una descripción más basada en sus características y otras en cambio en sus componentes. Una definición que podría cubrir ambos aspectos sería:

"*Una entidad digital reutilizable y auto-contenida, con un claro propósito educativo, con al menos tres componentes internos editables: contenido, actividades de aprendizaje y elementos de contexto. Los Objetos de Aprendizaje deben tener una estructura externa de información para facilitar su almacenaje y recuperación: los metadatos."* [3]

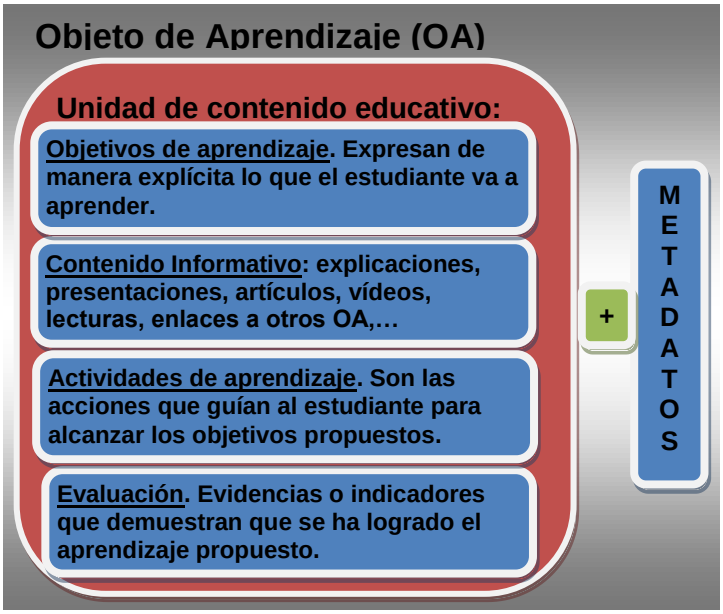


Figura 2.5. Estructura general de un OA [50].

Los metadatos permiten describir, almacenar, organizar y gestionar los OA, es decir, sin ellos los LMS no pueden reconocerlos y gestionarlos como objetos reutilizables. Por tanto, sin los metadatos los recursos digitales no pueden ser considerados objetos de aprendizaje.

También se definen los OA según unas características fundamentales que se convierten en auténticos parámetros de calidad de los OA y sobre los que se vuelcan las organizaciones que crean los estándares y modelos de referencia e-learning. Algunas de esas propiedades son [4]:

- Auto-contenidos, cada Objeto de Aprendizaje se puede abordar de forma independiente.
- Accesibilidad: facilidad para ser identificados y localizados a través de un etiquetado con diversos descriptores (metadatos).
- Reutilizables, cada objeto puede ser utilizado (reutilizado) en múltiples contextos y para múltiples propósitos educativos. Incluso pueden ser ensamblados para formar colecciones de contenidos o secuencias de aprendizaje (curso virtual, lección,…).
- Interoperabilidad: capacidad de integración en estructuras y sistemas (plataformas educativas) diferentes, posibilidad de ser exportados e importados, sin problemas de compatibilidad e independientemente de su desarrollador.

2.2.3 Especificaciones, estándares y modelos de referencia.

Lo que se evidencia desde hace tiempo es que los OA se han convertido en el núcleo de un nuevo paradigma de creación de contenidos, que han impulsado cambios drásticos en el diseño instruccional, la arquitectura de las plataformas y de los sistemas de distribución de contenidos [5].

Varias organizaciones son las que comenzaron a promover y desarrollar especificaciones, definir estándares,… para los distintos modelos que forman la arquitectura de las plataformas de formación. Entre todas ellas destacan: AICC (Aviation Industry -Computed Based Training- Committee), IEEE LTSC (Learning Technologies Standards Committee), IMS (Instructional Management System) Global Learning Consortium, ADL (Advanced Distributed Learning) y DCMI (Dublin Core Metadata Initiative).

Como ya se ha indicado anteriormente, las implementaciones de las plataformas de gestión del aprendizaje virtual se basan en tecnologías Web. Es importante señalar que, incluso antes de que estas se establecieran y a pesar de que las especificaciones que se han ido desarrollando en este campo de la enseñanza virtual no especifican qué tecnología se debe utilizar para su desarrollo, desde el principio se apostó prácticamente de forma exclusiva por las tecnologías basadas en la WEB, para desarrollar los contenidos educativos destinados al aprendizaje autónomo utilizando ordenadores.

En el apéndice A se resumen cuáles han sido y son sus objetivos, sus líneas de trabajo y las principales aportaciones que han elaborado o están siendo elaboradas para la estandarización de los entornos e-learning.

2.2.4 Creación de objetos de aprendizaje.

El proceso de creación de un objeto educativo va a tener un carácter multidisciplinar, donde puede ser que participen varios diseñadores instruccionales, ya que el dominio de todas la herramientas tecnológicas a nuestra disposición para crear los recursos (*assets*) educativos que deseamos agrupar en formato de OA y poner al alcance del usuario no siempre se da.

Por otro lado y como ya se ha señalado en este mismo capítulo, una decisión muy importante en el diseño del OA es conforme a qué especificación o estándar se va a crear. Esta decisión, además, se va a ver influida por la plataforma donde integraremos la actividad educativa, es decir, que no sólo se puede basar en criterios como por ejemplo "estar a la última"; es muy probable que el LMS pueda no soportar esa especificación.

2.2.4.1 Descripción de las fases de elaboración de un OA.

En las primeras etapas de la implementación del OA predominarán los aspectos didácticos y metodológicos mientras que en su diseño se deben realizar esfuerzos en el campo más puramente tecnológico [6].

- Fase de análisis.
    - Determinar qué objetivos de aprendizaje y a quiénes va dirigida la formación.
    - Recopilación de materiales: es probable que se necesite el uso de herramientas software específicas, si por ejemplo queremos incluir materiales multimedia que necesitan de "cierta" elaboración.
- Fase de diseño.
    - Identificar las interrelaciones del objeto, contenidos, actividades y evaluación para crear una estructura lógica y reglas de secuenciación que permitan la consecución de los objetivos.
    - Identificar los metadatos que facilitarán la reutilización del OA en otras unidades de aprendizaje (lecciones, cursos,…) e incluso exportar a otros sistemas LMS. En este punto ya dependemos de la especificación conforme a la que se va crear el OA.
    - Elección de estilos y temas de diseño de las interfaces de usuario para que su contenido se muestre siguiendo criterios de usabilidad, a la vez que de forma atractiva dentro del LMS.
- Fase de desarrollo. Los trabajos en esta fase están muy condicionados por el dominio que se tenga de ciertas herramientas software de autoría ("*e-learning authoring tools*"), si bien algunas de ellas facilitan las tareas de empaquetado y etiquetado del OA.

  - Implementación de la estructura, con su índice de contenidos, etc.
  - Creación de interfaces atractivas y motivadoras (tecnologías Web 2.0) que enlacen los contenidos.
  - Empaquetado y etiquetado. Estas operaciones van encaminadas a proporcionar el formato conforme a la especificación e-learning, para la correcta integración e interoperación con el LMS. Es decir, es la estructura de datos (ver Figura 2.6) que relaciona todos los recursos incluidos en el OA e incluye los metadatos imprescindibles para que el LMS pueda importar el OA y pase a formar parte de un curso gestionado por el LMS.
- Fase de evaluación.
  - Integrar el OA en un entorno virtual de aprendizaje que permita su ejecución probando su comportamiento.
  - Es importante realizar las comprobaciones que sean necesarias, puesto que si algo falla puede que tengamos que replantearnos algunos aspectos del diseño o incluso del desarrollo.

Figura 2.6. Modelo que mantiene separados la estructura del OA de los recursos por él utilizados.

3. Introducción a la Termografía y la imagen térmica como objeto de análisis.

En este capítulo se va a realizar una introducción de los conceptos en los que se basa la técnica de la termografía infrarroja centrándonos especialmente en las características de las cámaras termográficas, puesto que son las fuentes de las entidades a analizar, las “imágenes térmicas”. También se realizará un relato sobre la importancia de las aplicaciones prácticas de estas técnicas.

3.1 Fundamentos físicos de la medida de la temperatura por medio de técnicas de radiación.

Cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto (-273,15 ºC o 0 Kelvin) emite radiación infrarroja (IR), la cual es generada por el movimiento de los átomos y moléculas de su material, incluso los objetos más fríos.

La energía radiante emitida por un cuerpo a temperatura ambiente es escasa y corresponde a longitudes de onda superiores a las de la luz visible (ver Figura 3.1). Conforme el cuerpo adquiere mayor temperatura no sólo aumenta la energía emitida sino que lo hace a longitudes de onda más cortas (ley de Planck Figura 3.2) llegando incluso a verse un cambio de color del objeto (la energía irradiada del objeto se extiende y comienza a emitir en el espectro visible como se puede observar en los metales incandescentes).

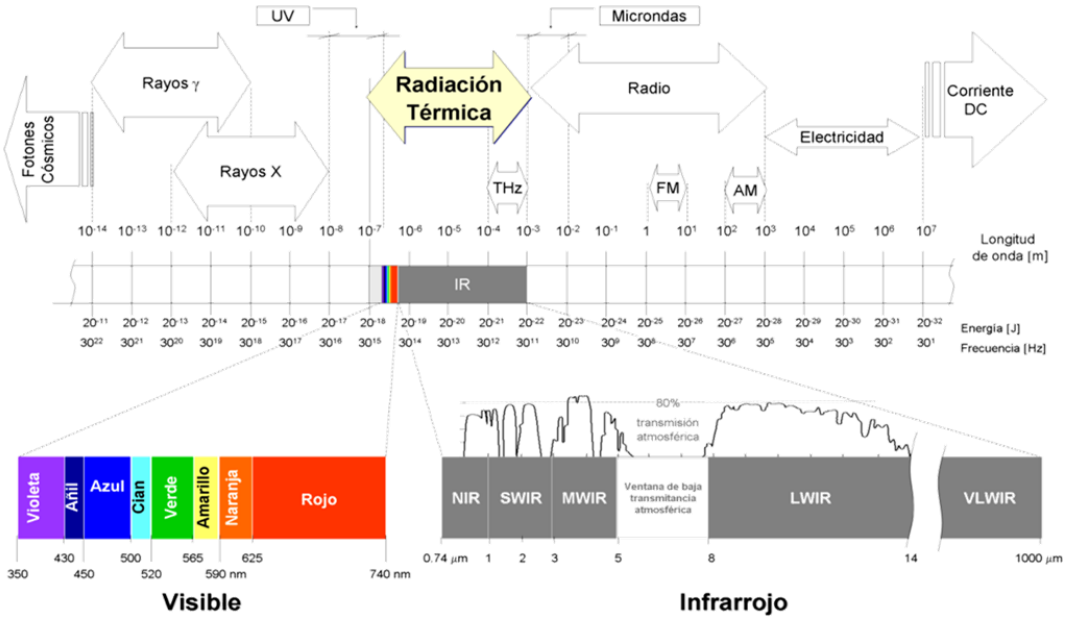


Figura 3.1. Espectro electromagnético (fuente: Empiric Technologies, S.L.).

Se puede afirmar que todos los cuerpos emiten radiación electromagnética infrarroja, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada.

A diferencia de los otros mecanismos de transmisión del calor -conducción y convección-; la radiación no necesita un medio material para propagarse dada su naturaleza electromagnética, de hecho la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío.

La medida de la temperatura con técnicas de radiación está basada en relacionar la energía radiada por un cuerpo caliente con su temperatura y serán las cámaras termográficas las que realizarán la conversión entre esa energía y la información de la temperatura del cuerpo sin necesidad de contacto físico con él.

3.1.1 Cuerpo negro y emisividad (ε).

Los cuerpos no emiten con igual intensidad en todas las frecuencias o longitudes de onda. Según la ley de Planck (Ecuación **(3.1)**) que describe la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura definida:

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T)=\frac{C_1\lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T}-1} \qquad \begin{matrix} C_1=3.742 \text{ x } 10^8 \text{ W mm}^4/\text{m}^2 \\ C_2=1.4389 \text{ x } 10^4 \text{ mm K} \end{matrix} \qquad \textbf{(3.1)}$$

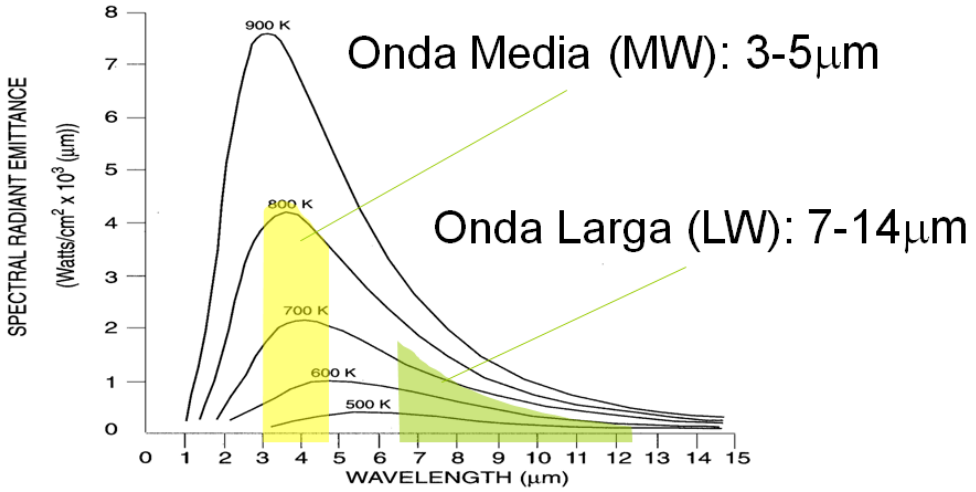


Figura 3.2. Curvas de emisión de cuerpos negros a diferentes temperaturas, rotuladas las bandas IR.

Si integramos entre 0 e ∞ la expresión de la ley de Planck obtenemos, que la cantidad de energía radiante emitida por un cuerpo negro, es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia (ley de ***Stefan-Boltzmann*** ecuación (**3.2)**):

$$\boldsymbol{W=\sigma T^4} \qquad \begin{matrix} \boldsymbol{W}\text{: radiación emitida.} \\ \boldsymbol{\sigma}\text{: constante de Boltzman (5.67 x } 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}) \end{matrix} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Esta potencia emisiva de un cuerpo negro (o radiador ideal) supone un límite superior para la potencia emitida por los cuerpos reales. La potencia emisiva superficial de un objeto real es menor que la de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dada por:

$\boldsymbol{W=\sigma\varepsilon T^4}$	$\boldsymbol{W}$: radiación emitida. $\boldsymbol{\sigma}$: constante de Boltzman (5.67 x 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}) $\boldsymbol{\varepsilon}$: emisividad capacidad de emisión de los cuerpos reales ($0 < \boldsymbol{\varepsilon} < 1$)

Tabla 3.1 Ley de Stefan-Boltzmann.

El coeficiente de emisividad (ε) es una propiedad adimensional de la superficie de los materiales que relaciona la capacidad de un objeto real para

irradiar energía térmica con respecto a la capacidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{W_{cuerpo\ real}}{W_{cuerpo\ negro}} \qquad (3.2)$$

Un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la luz y toda la energía que incide sobre él. Ninguna parte de la radiación es reflejada o pasa a través del cuerpo negro. Constituye un modelo ideal físico para el estudio de la emisión de radiación electromagnética, comportándose como el radiador perfecto que comparamos con las propiedades radiantes de superficies reales.

Sin embargo, en los objetos reales la energía incidente es el resultado de procesos de intercambio de energía de radiación con cualquier fuente de su entorno. Una parte de la energía que llega a la superficie del objeto la absorbe el mismo, otra parte es reflejada en todas las direcciones y la última parte de la energía la transmite.

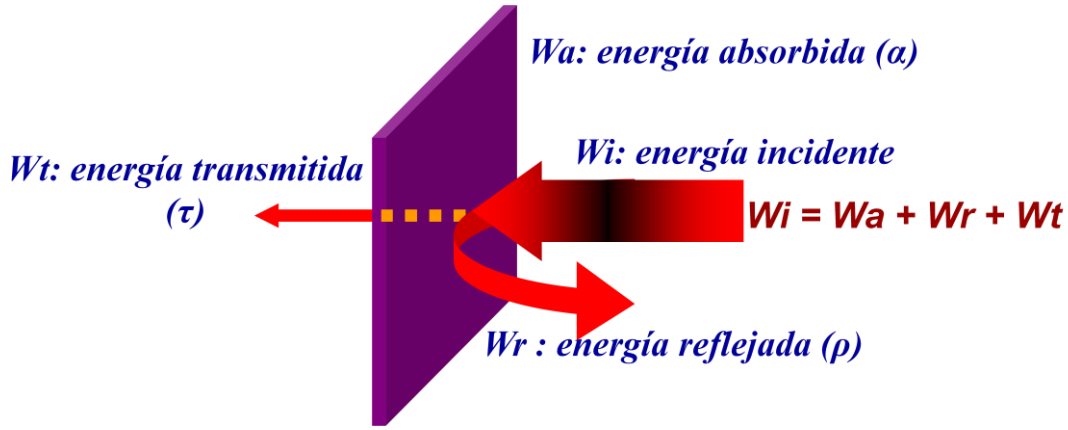


Figura 3.3. Radiación en los cuerpos reales [7].

El principio de conservación de la energía nos dice que se tiene que cumplir:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \qquad (3.3)$$

Donde la proporción en que la radiación incidente se reparta entre sus tres componentes dependerá de las propiedades del cuerpo.

Si en las condiciones de estudio, la superficie real se encuentra en equilibrio térmico con su entorno, según la ley de *Kirchhoff* se cumple que la cantidad de energía absorbida coincide con la emitida: $\alpha = \varepsilon$, de lo que se deduce que:

- Un mal emisor es un mal absorbente y un buen absorbente es un buen emisor.
- La emisividad o capacidad de emisión de los cuerpos reales siempre será inferior a uno ($0 < \varepsilon < 1$), por lo que no es posible irradiar más energía IR que un cuerpo negro en equilibrio.

En la práctica la mayoría de los materiales son no transmisivos, es decir, no dejan pasar la radiación infrarroja de onda larga (LWIR), por lo que la variable correspondiente a la transmisión se puede aproximar a $\tau \approx 0$ quedando la expresión 3.5:

$$\varepsilon + \rho = 1 \qquad \textbf{(3.4)}$$

Resumen casos límite		
Cuerpo negro	Absorbe (emite) toda la radiación incidente.	ε = 1
Espejo perfecto	Refleja toda la radiación incidente.	ρ = 1
Cuerpo transparente	Transmite toda la radiación incidente.	τ = 1
Cuerpo gris	Aproximación a los cuerpos reales considerados como opacos a IR y con ε independiente de λ.	τ = 0 ; ε+ρ = 1

Tabla 3.2. Casos límite de la radiación en los cuerpos.

3.1.2 Cuerpos negros prácticos.

Una aproximación cercana a un cuerpo negro ideal es la de una cavidad cuya superficie interna está construida con un material de alta emisividad (absorbente), por ejemplo grafito (ε = 0,95), mantenida a temperatura constante y que tiene una apertura por la que se introduce la radiación térmica.

Si por la apertura emitimos radiación térmica hacia el interior de la cavidad, la probabilidad de que la radiación salga por ella puede ser despreciada. La radiación estaría en parte reflejándose y en parte siendo absorbida en las paredes de la cavidad, sin salir al exterior. Estaríamos hablando de absorbedor perfecto.

Estos dispositivos se fabrican para la calibración de cámaras y pirómetros IR en laboratorio y bajo condiciones de temperatura controlada. Se disponen de unidades de cuerpo negro en el mercado por lo general voluminosas y costosas con emisividad elevada ($\varepsilon > 0.95$).

Es importante exigir la Certificación de Calibración en el momento de adquirir una cámara. La precisión de las medidas tomadas depende de una correcta calibración. Incluso es recomendable una periódica calibración de la cámara si su uso es bastante intensivo.

3.2 Cámaras termográficas.

3.2.1 Componentes básicos que intervienen en el proceso de captura de la imagen térmica.

3.2.1.1 Las lentes de la cámara.

Recogen y enfocan la radiación IR entrante, hacia el detector. Al contrario que la gran mayoría de los objetos que vamos a medir, los materiales con los que se fabrican las lentes, como por ejemplo el Germanio, dejan pasar con facilidad las radiaciones IR (alta transmisividad).

3.2.1.2 Filtros.

- Que reducen el rango de longitudes de onda del detector a unos valores conocidos, para mejorar la relación señal/ruido.
- Para dejar pasar sólo la radiación situada en una banda muy estrecha de longitudes de onda a visualizar. Por ejemplo, en aplicaciones para la detección de gases, si disponemos de una cámara que opera en la banda media de infrarrojos (3–5 μm) podríamos usarla como detector de precisión de fugas de gases (el CO_2 tiene un máximo de absorción a 4,26 μm), si dispusiera de un filtro centrado en la longitud de onda adecuada.
- Para el ajuste del rango (límite de medida global) de temperatura a medir.

Encarecen los equipos por lo que salvo para usos exigentes las cámaras no los llevan.

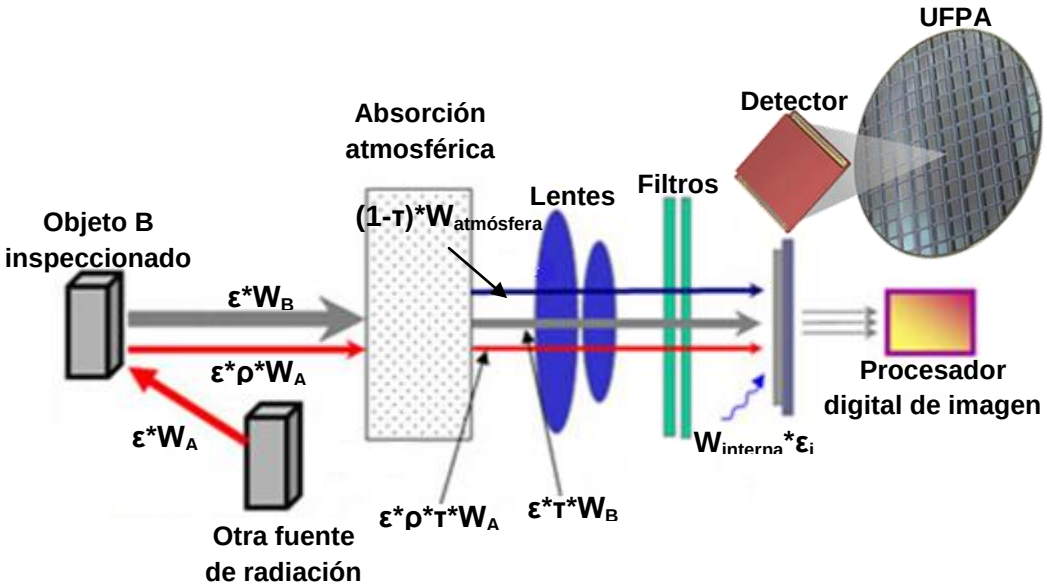


Figura 3.4. Captación de radiación térmica y esquema de las partes importantes de una cámara termográfica. Fuente: Amperis [49]

3.2.1.3 Detector.

Al igual que nuestra piel, las cámaras disponen de elementos sensibles a la radiación IR. Realmente, el sistema detector está compuesto por una matriz normalmente rectangular de sensores situados en el plano focal de las lentes

(FPA –Focal Plane Array-). El número de filas y columnas de esta matriz va a determinar el número de píxeles de las imágenes térmicas obtenidas y por tanto la resolución visual de las mismas. A mayor resolución (por ejemplo FPA de 640X480 con sensores térmicos o incluso de 1280X1024 con sensores fotónicos) obviamente nos van a permitir obtener capturas más nítidas y por tanto medidas más precisas en términos de resolución espacial. Además, inspeccionando un escenario que no se puede cubrir con una sola captura, con lentes iguales y situados a la misma distancia del blanco, la cámara con mayor resolución nos permitirá inspeccionar mayor superficie por lo que se necesitarán menos imágenes para cubrir todo el escenario.

3.2.1.4 Procesador digital.

La radiación provoca una respuesta medible en el detector que se procesa electrónicamente en la cámara para obtener información de la distribución espacial del calor en la superficie del objeto enfocado y poder crear una imagen térmica en la pantalla que se muestra coloreada, para que sean más fáciles de interpretar con la vista, donde los distintos tonos de color se corresponden con las diferentes niveles de radiación procedentes de la superficie enfocada. Esos colores, la cámara los asigna arbitrariamente en función de la paleta de colores seleccionada por el operador, por lo que la imagen resultante es llamada de falso color.

3.2.2 Tipos de detectores: fotónicos y térmicos.

3.2.2.1 Fotónicos: sensores basados en la fotodetección.

La implementación de este principio en dispositivos de infrarrojo es inviable si el detector opera a temperatura ambiente, ya que la energía de los fotones incidentes coincidiría con el ruido térmico de fondo (ver Figura 3.5). Para poder funcionar, es necesario llevar al detector hasta temperaturas criogénicas (reducir en lo posible el libre movimiento de electrones en el interior del semiconductor sin llegar a detenerlos). Por ello, las cámaras que incorporan estos detectores van refrigeradas:

- Mediante Nitrógeno líquido.
- Por enfriamiento termoeléctrico (células peltier).
- Mediante máquina de ciclo stirling (actualmente las más utilizadas).

Sin embargo, la principal ventaja de los sensores fotónicos de infrarrojo es su capacidad de detectar fotones individuales (elevada detectividad, ver Figura 3.5), como los fabricados con materiales como el telururo de cadmio y mercurio (CdHgTe), el antimoniuro de indio (InSb) o con elementos del tipo pozo cuántico (QWIP de GaAs / AlGaAs).

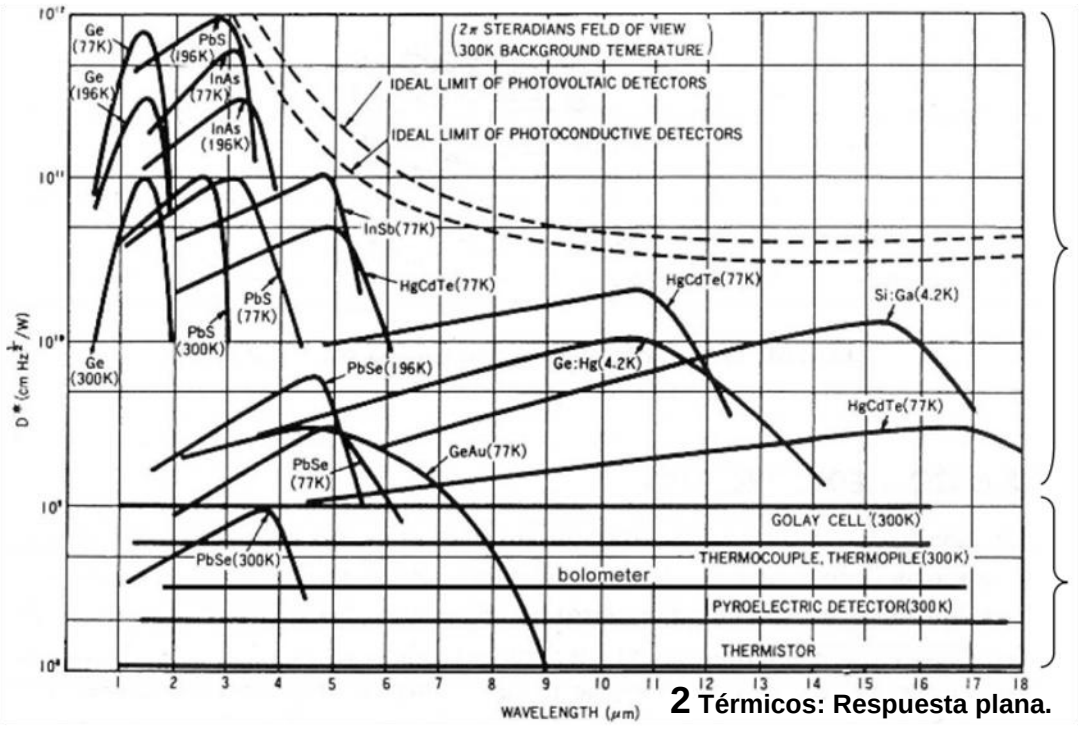
Añadir además que, en comparación con los sensores térmicos, tienen tiempos de respuesta mucho más cortos, lo que les hace muy adecuados en análisis de inercias térmicas de ciertos procesos (arranque de motores),

objetos en movimiento (automoción), transitorios de temperatura (soldadura de producción),… donde se requieren una frecuencia de actualización de imágenes más elevada. Existe una gran variedad de estos sistemas dedicados a aplicaciones de alta sensibilidad, en entornos exigentes como la radioastronomía, aeronáutica, automoción, ensayos no destructivos, I+D+i, etc.

3.2.2.2 Sensores térmicos.

Estos dispositivos convierten la energía electromagnética en una diferencia de temperatura local. Luego el cambio de temperatura se convierte en una señal de voltaje a través de alguna propiedad física asociada. Los más difundidos dentro de este grupo son los microbolómetros resistivos de película delgada. En éstos se utiliza como elemento activo un material con una gran dependencia de la resistividad con la temperatura, como los óxidos de Vanadio (Vox) y Silicio amorfo (a-Si). La pequeña masa térmica que se puede conseguir con la microfabricación hace que estos dispositivos puedan operar a temperatura ambiente.

1 Fotónicos: Selectivos en λ.



2 Térmicos: Respuesta plana. Operan a T ambiente.

Figura 3.5. Curvas de Detectividad específica (D*) para detectores de IR [48].

3.2.3 Parámetros relevantes de las cámaras infrarrojas.

- **Sensibilidad térmica**. También llamada NETD (Noise Equivalent Temperature Difference), diferencia de temperatura equivalente a ruido. Describe la menor diferencia en temperatura entre dos píxeles que la cámara puede medir. A menor NETD, mayor exactitud en las termografías. Este es un parámetro importante cuando pequeñas diferencias de temperatura pueden aportar información relevante para el diagnóstico.

- **Precisión**. Es la medida de dispersión de las temperaturas tomadas del objeto con respecto a las reales. Los estándares de calidad definen valores de ±2ºC o ±2% del valor medido (a elegir el más restrictivo) aunque se dispone en el mercado de cámaras que especifican: ±1ºC o ±1%.
- **Frecuencia de imagen o tasa de adquisición**. Las cámaras actuales capturan imágenes a tasas (fps -cuadros por segundo-) en un amplio abanico de valores dependiendo del tipo de detector (orden de Hz para los microbolómetros y varios KHz para los fotodetectores). Las altas velocidades de cuadro nos permiten capturar objetos en movimiento o analizar sistemas con variaciones rápidas de temperatura (control de calidad en línea de soldadura de producción).
- **Resolución espacial (IFOV, Campo de Visión Instantáneo)**. Depende del tamaño del detector y de la distancia focal de la lente (uso de objetivo angular o teleobjetivo). Cuanto más pequeño es su valor a mayor distancia se podrá usar la cámara o de otra forma se podrán inspeccionar superficies más pequeñas para una misma distancia. Esta característica es de gran importancia cuando se buscan defectos de tamaño reducido. Los fabricantes suelen darlo en mrad y se corresponde al tamaño del punto visible en mm de un píxel, a una distancia de 1m.

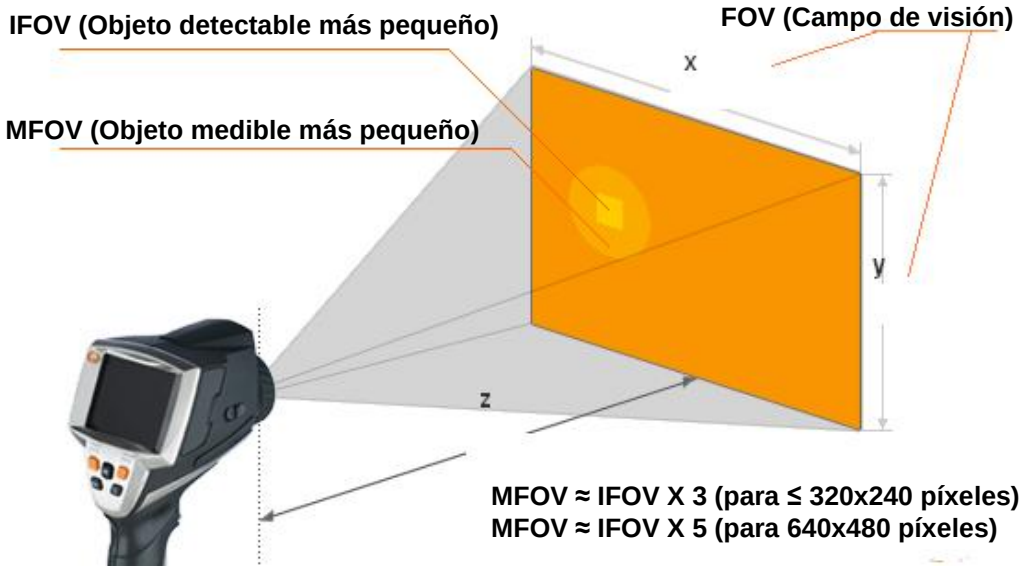


Figura 3.6. Distancia de medición y zona de medición [11].

- **Campo de visión (también llamado Field of View o FOV)**: describe la superficie visible mediante una cámara termográfica. Este depende del objetivo utilizado. Cuando mayor sea el campo de visión, mayor es la superficie que se puede ver. Un campo de visión amplio (>30°) es especialmente útil cuando se utiliza la cámara termográfica en

interiores, ya que no es posible alejarse tanto del objeto de medición para abarcar más superficie.

Tipo de detector	Ventajas	Inconvenientes
Fotónicos	• Alta sensibilidad térmica (NETD entorno a 20mK/30ºC). • Permiten acoplar ópticas mejores para poder observar objetos muy lejanos. • Tiempos de respuesta pequeños, lo que permiten tasas de adquisición de imágenes elevadas (>400Hz e incluso decenas de KHz). • Posibilidad de operar en todas las bandas espectrales (NWIR, SWIR, MWIR y LWIR).	• Su consumo de energía para enfriar el detector. • El alto coste para fabricar los semiconductores especiales (compuestos ternarios: HgCdTe -MCT-, binarios: InAs, InSb,…), sellar al vacío los recipientes y fabricar el refrigerador criogénico. • Tiempo de enfriamiento del sensor del detector a la temperatura óptima de operación. • Su elevado peso las hace poco manejables.
Térmicos	• Menor coste. • Menor tamaño lo que las hace muy manejables. • Menor consumo.	• Bastante menos sensibilidad térmica (NETD > 50mK/30ºC). • Necesidad de ópticas con mayor apertura lo que limita su uso a objetos relativamente cercanos. • Bajas tasas de adquisición de imágenes (con técnicas de enventanado pueden llegar a 60Hz). • Operan fundamentalmente en la banda LWIR.

Tabla 3.3. Ventajas e inconvenientes de las cámaras termográficas en relación a sus detectores [8].

3.3 El trabajo de campo: Tomando medidas con cámaras termográficas.

Como ya se ha indicado, en los sistemas de termografía infrarroja la temperatura no es medida directamente sino que el equipo capta la radiación incidente sobre un detector.

La radiación que alcanza al elemento sensor no sólo está afectada por la temperatura de la superficie a medir y su emisividad (ley de Stefan-Boltzmann ver Tabla 3.1), sino que la influencia de radiaciones externas como las procedentes de otros objetos cercanos que se reflejan en el objeto enfocado (ver Figura 3.7), la absorción de la atmósfera y la propia aportación térmica de

la óptica y elementos internos de la cámara deben ser tenidas en cuenta (ver Figura 3.4) para garantizar la precisión de la medida.

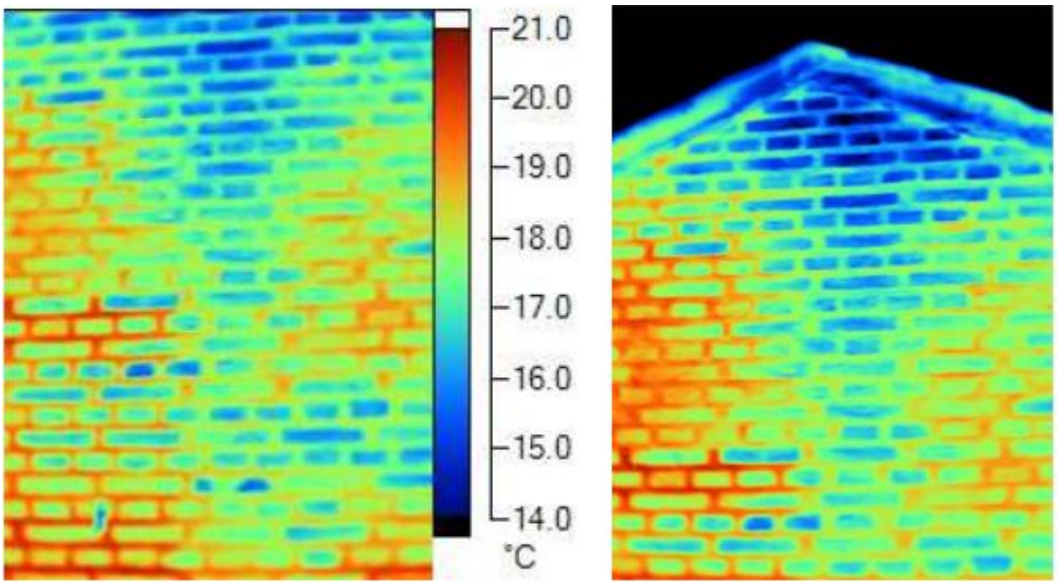


Figura 3.7. La pared en la imagen izquierda aparentemente tiene una distribución de temperatura no uniforme, en realidad está reflejando la radiación térmica de construcciones vecinas [9].

La atmósfera se debe considerar como un cuerpo más dentro del escenario de inspección a través del cual se transmite la radiación emitida por el cuerpo (la mayor parte) y que también absorbe una pequeña porción de esa radiación. Esas proporciones dependerán de las condiciones atmosféricas (humedad, partículas en suspensión, temperatura, viento,…) y de la cantidad (distancia entre el objeto y la cámara) de aire.

Del esquema de la Figura 3.4[1], se pueden deducir los términos de la potencia de radiación, considerando como ya indicamos en la Tabla 3.2 nuestra superficie a estudio, como un cuerpo gris:

- Potencia detectada debida a la emisión del objeto = $\varepsilon\tau W_B$, donde ε es la emisividad del objeto inspeccionado, y τ la transmitancia de la atmósfera.
- Potencia detectada debida a la radiación reflejada por cuerpos del entorno = $(1-\varepsilon)\tau W_A$, donde $(1-\varepsilon)$ es la reflectividad del objeto y W_A es la radiación recibida por los objetos del entorno con temperatura T_A .
- Potencia detectada debida a la radiación de la atmósfera,
  = $(1-\tau)W_{atmósfera}$, donde $(1-\tau)$ es la emisividad de la atmósfera. Se puede considerar que no produce reflexiones ($\rho \approx 0$) en condiciones óptimas de medición, es decir, con cielo despejado.

Por tanto la radiación total que le llega a la cámara termográfica será:

[1] El uso de la cámara durante un tiempo prolongado causa que los sensores, la electrónica interior y la carcasa de la cámara aumenten su temperatura, emitiendo radiación que puede alcanzar a los sensores y causar errores en la medida.

$$W_{\text{total registrada}} = \varepsilon\tau W_B + (1-\varepsilon)\tau W_A + (1-\tau)W_{\text{atmósfera}} \quad \textbf{(3.5)}$$

Aplicando la ecuación conocida de Stefan-Boltzmann que relaciona la radiación infrarroja con la temperatura:

$$\sigma T_{registrada}^4 = \varepsilon\tau\sigma T_{Objeto}^4 + (1-\varepsilon)\tau\sigma T_A^4 + (1-\tau)W_{atmósfera} \quad \textbf{(3.6)}$$

En gran variedad de escenarios sobre todo cuando se inspeccionan objetos cercanos se puede considerar el efecto de la atmósfera despreciable ($\tau = 1$):

$$\sigma T_{registrada}^4 = \varepsilon\sigma T_{Objeto}^4 + (1-\varepsilon)\sigma T_A^4 \quad \textbf{(3.7)}$$

De lo que se deduce, que para realizar una medida de la temperatura del objeto lo más precisa posible sobre todo habrá que conocer la emisividad del objeto y compensar los efectos indeseados de la radiación reflejada (verdadero problema si la superficie en estudio tiene baja emisividad).

3.3.1 Parámetros de objeto.

Se puede decir que la cámara capta lo que se denomina energía infrarroja "aparente" y debe calcular la energía infrarroja que realmente sale del objeto, haciendo estimaciones en base a los datos de los denominados "parámetros de objeto":

- Emisividad de la superficie del objeto.
- Distancia entre el objeto y la cámara.
- Temperatura aparente reflejada.
- Temperatura exterior y humedad relativa.

"*La temperatura aparente es la temperatura leída, no compensada o corregida en la cámara termográfica. Nos mostrará toda la radiación incidente en nuestra cámara, independientemente de la fuente de la que procede la radiación infrarroja*" [10].

El termógrafo podrá realizar los ajustes de estos parámetros con las funcionalidades de la cámara. Previamente habrá realizado la correspondiente inspección sobre el terreno, para medir de forma correcta esos datos con la instrumentación (termómetro-higrómetro,…) y técnicas (compensación de la emisividad –apartado 3.3.3 La importancia de la emisividad en las medidas de temperatura.- y temperatura aparente reflejada –apartado 3.3.4 Compensación de la temperatura aparente reflejada (RTC, Reflected Temperature Compensation).-, descritas en la norma ISO 18434-1:2008) más adecuadas.

Si la cámara utilizada tiene un buen software que opere sobre los datos radiométricos de las capturas térmicas, vamos a poder realizar ajustes de algunos de estos parámetros (emisividad, temperatura aparente reflejada y

humedad relativa) durante el posterior procesamiento de las imágenes en el trabajo de laboratorio.

3.3.2 Influencia de las condiciones del entorno.

- **Temperatura ambiente**: siempre va afectar a la medición en forma de radiación reflejada -$(1-\varepsilon)\tau W_A$ en la Ecuación **(3.5)**-. Si la superficie a inspeccionar tiene una emisividad baja, cuanto menor es la diferencia de temperatura entre el objeto y el entorno, más crítico se hace un buen ajuste de la emisividad y una correcta compensación de la temperatura aparente reflejada en la cámara. No en todos los escenarios se cumple que la temperatura ambiente es el valor de compensación de la temperatura aparente especialmente en los casos en que existen fuentes cercanas de radiación que no se pueden evitar.
- **Distancia al objeto**: Debido a la absorción de la atmósfera la radiación captada por el sensor está influenciada por la distancia entre la cámara termográfica y el objeto (aproximadamente llega un 70% de radiación al recorrer 1km). A cortas distancias, el efecto atmosférico lo podemos considerar despreciable ($\tau = 1$).
- **Humedad Relativa**: Para distancias relativamente grandes, se debe tener en cuenta este factor para compensar la absorción de radiación por parte del vapor de agua. Para distancias más cortas es útil disponer de un sencillo higrómetro portátil que nos proporcionará el valor de ajuste para la cámara.

3.3.3 La importancia de la emisividad en las medidas de temperatura.

A igualdad de temperatura, la energía emitida depende también de la naturaleza de la superficie. Algunos materiales son mejores emisores de radiación térmica que otros. Por ejemplo, los aislantes térmicos y eléctricos son excelentes emisores: Maderas, plásticos (PVC), materiales de construcción (hormigón,...), porcelana, papel, la mayoría de las sustancias orgánicas, pinturas, recubrimientos, minerales, etc. Materiales que se aproximan al comportamiento de cuerpo gris con alta emisividad y con los que tomar medidas por termografía infrarroja no presenta problemas. En cambio, los metales son malos emisores. Si no están muy oxidados, la emisividad raramente es mayor de 0,25 y además sufre alteraciones si la temperatura del objeto metálico cambia. La medición se torna más delicada.

En una sencilla prueba que se describe a continuación (ver Figura 3.8) podemos advertir esta problemática. Sobre una taza metálica con agua a cierta temperatura, pegamos una cinta aislante negra cuya emisividad conocida es alta (0,95) y constante. Evidentemente en equilibrio térmico ambas superficies (cinta aislante y taza) están a la misma temperatura.

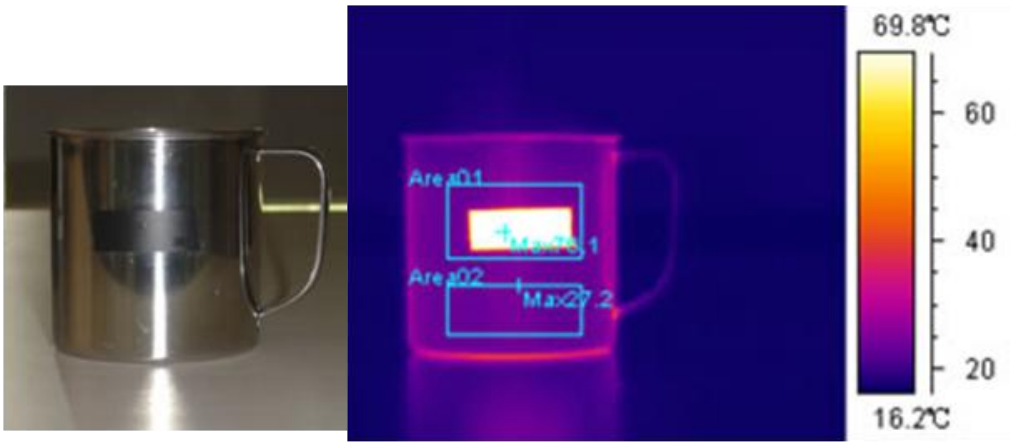


Figura 3.8. Prueba para ajuste de emisividad.

Si se observa la termografía (ver Figura 3.8), es posible pensar que la zona rectangular de la superficie de la taza de color mucho más claro está más caliente que el resto de la superficie de la taza. Pero como ya hemos señalado, en realidad, tienen exactamente la misma temperatura, la diferencia en la intensidad de radiación infrarroja está provocada por la diferencia en la emisividad de ambos materiales.

Cuando se realiza una termografía, básicamente siempre se debe medir en un punto del que conozcamos su emisividad, en caso contrario no se podrá realizar un análisis cuantitativo, la medida de temperatura no sería correcta. Por tanto, se recomienda realizar el ajuste in situ de la emisividad, con los controles de la cámara. Tenemos varios métodos prácticos para realizar la aproximación, uno de los más utilizados es el que precisamente hemos mostrado en la Figura 3.8, descrito en la norma ISO 18434-1:2008 y se procede de la siguiente manera:

> "*Ya que conocemos la emisividad de la cinta adhesiva, tras un breve periodo de adaptación podemos medir la temperatura del objeto apuntando a la cinta. Este valor sirve como temperatura de referencia. Entonces debemos ajustar la emisividad hasta que la cámara muestre la misma temperatura en una zona sin cinta que en una zona con la cinta adhesiva.* [11]"

3.3.4 Compensación de la temperatura aparente reflejada (RTC, Reflected Temperature Compensation).

Si existen fuentes de radiación cercanas al lugar de observación y no es posible evitar su influencia, entonces habrá que determinar la temperatura de la radiación reflejada que en estos casos no va a coincidir con la temperatura ambiente. Se puede realizar la medición de la temperatura aparente reflejada con un improvisado radiador Lambert (procedimiento descrito en la norma ISO 18434-1:2008):

1. Se coge un trozo de papel de aluminio arrugado y vuelto a estirar. El material es de elevada reflectividad y las arrugas hacen que se

produzca radiación reflejada aleatoria en todas las direcciones por lo que se mezcla y se superpone (radiación difusa). La cámara podrá captar el máximo de esa radiación reflejada.

2. Se coloca el trozo de papel aluminio cerca de la superficie del objeto a inspeccionar o incluso mejor encima.
3. Medimos la temperatura del trozo de papel con la cámara ajustada con ε = 1, y tomamos ese valor como ajuste de la RTC.
4. Una vez compensada la RTC, ajustamos esta vez la emisividad a la superficie del objeto y así ya se puede realizar la medición.

3.3.5 Técnicas de inspección.

3.3.5.1 Termografía comparativa.

Este es el método básico que se utiliza en la mayoría de las aplicaciones en termografía. Consiste en comparar elementos similares en condiciones similares para evaluar el estado del escenario que se está inspeccionando: mediante la comparación del componente de interés con otros similares, a menudo se facilita la detección y valoración del problema. En este caso, la formación y experiencia del termógrafo se convierte en factor determinante, de hecho, se hace casi indispensable tener todo el conocimiento posible sobre el objeto que se está observando. Este conocimiento incluye la construcción, funcionamiento básico, historial de funcionamiento del objeto,...

La Figura 3.9 ilustra muy bien como usando esta técnica se ha detectado el defecto en uno de los aisladores de una subestación de la red electrica de alta tensión.

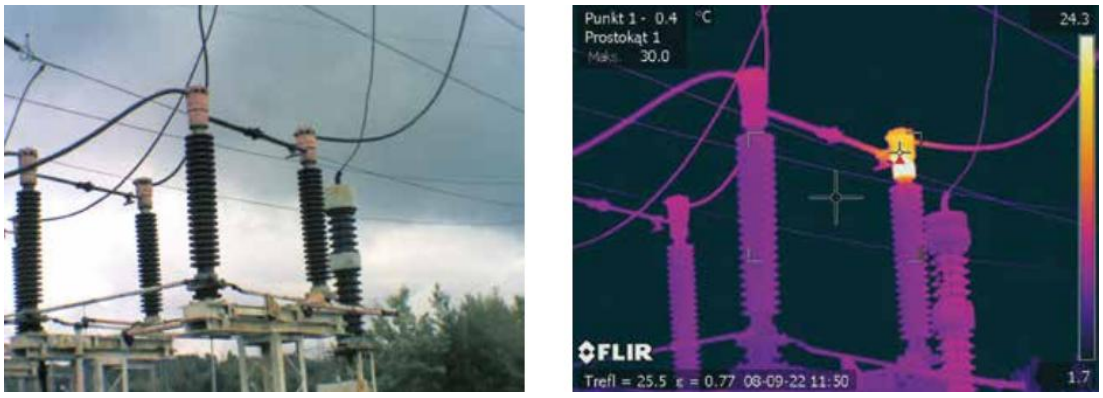


Figura 3.9. Termografía comparativa sobre aisladores en subestación eléctrica. Fuente: FLIR Systems AB [12].

3.3.5.2 Termografía inicial (“imagen fría”).

Una inspección inicial pretende establecer un punto de referencia del objeto a inspeccionar en condiciones de funcionamiento normales y sin problemas. Es muy importante determinar el momento del objeto en estado normal o deseado y utilizarlo como imagen térmica inicial o patrón con el que comparar imágenes capturadas en posteriores inspecciones.

El software de análisis del equipo de medición nos proporciona las herramientas para realizar la sustracción de las imágenes con lo que se eliminará la información de todos los píxeles que representan un no defecto de la superficie inspeccionada y se mostrarán los píxeles de la zona afectada por algún defecto.

3.3.5.3 Tendencia o gradiente térmico.

Es una técnica utilizada por los termógrafos para comparar la distribución de la temperatura en una misma superficie en función del tiempo o del espacio.

3.3.6 Tipos de análisis de las imágenes térmicas: Cualitativo y cuantitativo.

En la mayoría de estos procedimientos de inspección por termografía, el análisis de las imágenes captadas que se suele realizar, es “cualitativo” (localización de fallas y evaluación de nivel de gravedad), como en los usos de mantenimiento predictivo, inspecciones mecánicas y eléctricas en entornos industriales, inspecciones en edificación,… donde el grado de precisión de ajuste de la emisividad no es tan importante.

En otras aplicaciones como por ejemplo en el campo de la medicina, en procesos de I+D+i, ensayos no destructivos,… la temperatura juega un papel muy relevante por lo que no sólo es necesario detectar diferencias de temperatura sino que es igual o más importante que el valor de esta sea el más cercano al real posible. La obtención de estas temperaturas reales para el posterior análisis cuantitativo de la imagen térmica, no va ser posible sin el ajuste adecuado de los parámetros de objeto.

Hacer análisis cuantitativo no significa que la captura de la imagen térmica resulte más difícil de hecho en la mayoría de los casos como paso previo al análisis cuantitativo se hace un estudio de los patrones térmicos (cualitativo).

3.4 ¿Cómo tomar la imagen térmica?

A continuación se resumen los puntos fundamentales que todo termógrafo que se precie tendrá muy en cuenta. Si no es así, es más que probable que se deba repetir la tarea de inspección, con todos los perjuicios que ello conlleva.

Antes de tomar y guardar la imagen térmica se debe asegurar que está correctamente tomada teniendo especial cuidado sobre todas aquellas variables sobre las que no vamos a poder actuar con los parámetros de objeto de la cámara o con el software de análisis en el laboratorio:

- **Encuadre**: Captura de la sección idónea de la imagen.
- **Enfoque**: Escogiendo adecuadamente entre objetivo angular y teleobjetivo. Respetando la distancia mínima de observación de la cámara que depende del parámetro de resolución espacial se podrá

tomar una imagen nítida. Puede ser útil buscar objetos con bordes definidos dentro del encuadre.

- **Rango de temperatura**: define la capacidad de medición de una cámara IR, es decir, el valor más alto y más bajo de temperatura en el campo de visión. Este ajuste, se realiza mediante el uso de filtros como ya señalamos (3.2.1.2 Filtros.). Es importante hacer una correcta selección, pues una vez capturada la imagen térmica no se puede modificar el rango de temperatura.
- **Documentación de las condiciones del entorno**. Conviene medir y documentar aquellas condiciones del entorno que pueden influir negativamente en los resultados obtenidos. Procediendo de esta manera podremos evitar errores en el análisis y en la creación de informes posteriores. Algunas recomendaciones para mitigar los efectos de estas condiciones externas son:
  - ✓ Reducir la distancia de observación sin que ello conlleve incumplir con las distancias mínimas de seguridad para inspecciones mediante técnicas de termografía.
  - ✓ Evitar en la medida de lo posible la incidencia de luz solar sobre el objeto o superficie de interés incluso unas horas antes de la medición. Especialmente en lo que se refiere a tareas de inspección en exteriores.
  - ✓ Evitar las medidas en ambientes con partículas en suspensión (polvo,…) o de alta humedad como los días con niebla, lluvia, etc.
  - ✓ Evitar realizar inspecciones termográficas en situaciones de viento o corrientes de aire, las corrientes de convección que se producen afectarán a las mediciones.

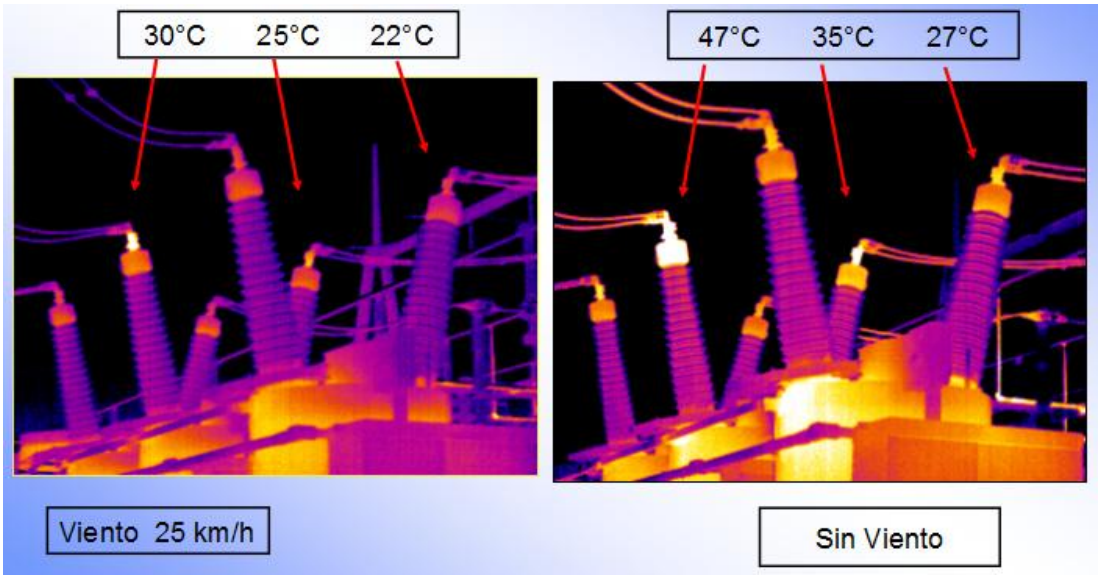


Figura 3.10. Efecto de las condiciones de viento en la inspección de un mismo escenario. Fuente: FLIR Systems AB.

- ✓ Aislar el objeto de posibles fuentes térmicas que se encuentren en su entorno más cercano. Es corriente utilizar mamparas para evitar estas interferencias al realizar la inspección térmica.

3.5 Campos de aplicación de la termografía infrarroja.

Las imágenes obtenidas con esta técnica no sólo hablan de temperaturas, hablan de patrones térmicos, anomalías, comportamientos,…

Así pues, la termografía infrarroja ha extendido su campo de aplicación a muy diversas áreas que van desde la industria, edificación y obra civil, el mantenimiento eléctrico y electrónico, hasta la medicina y veterinaria, principalmente debido a que las medidas de temperatura se toman en tiempo real mientras se visualiza el objeto o superficie a examen en la pantalla de la cámara, no es invasiva pudiéndose realizar captaciones a distancia y además se puede medir la temperatura en dos o más puntos de una superficie en el mismo instante.

Son muchas las situaciones donde la utilización del sistema de medición por imagen termográfica es el más adecuado. Algunos ejemplos se muestran en la Tabla 3.4:

Motivo	Ejemplos
El objeto es inaccesible.	Inspección líneas de alta tensión distantes.
El objeto está en movimiento.	Eje de motor, pruebas de neumáticos,…
Se necesita estudiar la evolución térmica con el tiempo de un proceso.	Soldaduras, fricción en el giro de un rotor,…
Problemas de seguridad.	Peligro de contacto con equipamientos eléctricos “calientes”.
El método por contacto podría dañar el objeto.	Materiales delicados.
Ambientes adversos que destruiría un dispositivo por contacto.	Dentro de un horno.
El objeto es tan pequeño que sería difícil acoplar un dispositivo por contacto.	Componentes en una placa de circuito impreso.
Se requiere una distribución de temperatura bi-dimensional (mapa térmico).	Determinar el tamaño del defecto.

Tabla 3.4. Motivos y usos de las técnicas de termografía IR.

Por otro lado, es muy difícil que el termógrafo tenga conocimientos de tan distintos campos y en muchas ocasiones simplemente será el que proporcione las imágenes a partir de las cuales otros profesionales tomarán sus decisiones, es decir, la misión fundamental del termógrafo es tomar correctamente las imágenes.

4. Herramientas para el diseño y desarrollo de una aplicación Web lado cliente.

Para transmitir a través de la plataforma virtual de aprendizaje a los estudiantes, los conceptos de termografía infrarroja y análisis de imágenes térmicas, se desarrollará una aplicación Web, la cual formará parte del objeto de aprendizaje como una actividad.

Esta aplicación como ya se ha señalado, emulará la presentación de las imágenes térmicas que las cámaras de infrarrojos proporcionan “in situ” a los técnicos. Esto es, al cargarse la aplicación en el navegador Web, el usuario podrá interaccionar de forma sencilla e intuitiva con las imágenes del escenario a inspeccionar para realizar su correspondiente estudio termográfico.

Se nos plantean varios desafíos en su implementación:

- Como cargar las imágenes termográficas, sobre un espacio del navegador que utilizaremos a modo de lienzo (“*canvas*”), con sus metadatos de temperatura asociados y poder procesar esa información para cada píxel de la imagen térmica.
- Llevar a cabo un diseño de la interfaz gráfica de la aplicación basado en principios de usabilidad y que sea reutilizable.
- Gestionar los eventos de usuario sobre la aplicación, así como la retroalimentación que va a recibir, sin tener problemas de funcionamiento, en especial debido a las incompatibilidades entre la multitud de navegadores que los usuarios tienen posibilidad de utilizar.

Comienza este capítulo presentando de forma resumida las herramientas Web que vamos a utilizar para resolver estos desafíos y posteriormente se detallan los aspectos más relevantes de las mismas.

4.1 Presentación de las herramientas Web utilizadas.

4.1.1 HTML5: evolución de HTML.

El lenguaje HTML se quedaba corto, orientado a la presentación de datos, la información que ofrece es muy limitada, no permite describir datos y no es extensible esto es, únicamente ofrece un pequeño número de etiquetas. El sistema evolucionó y se realizaron algunas mejoras para hacer este lenguaje algo más dinámico con la introducción de otros elementos como DHTML, Javascript, hojas de estilo e, incluso, se añadieron a la Web otros lenguajes que permitieran ofrecer una información más estructurada, como el lenguaje XML,

Y entonces surge HTML5, "palabra de moda" para referirse desde hace tiempo a las nuevas tecnologías Web. Hoy día, es ya un reconocido estándar W3C [13].

No está entre nuestros objetivos profundizar en lo que representa toda la recomendación HTML5 a día de hoy, sino simplemente un acercamiento somero a sus aportaciones (ver apéndice B).

4.1.2 Hojas de estilo CSS para el diseño y maquetación de la interfaz de usuario

Emplear hojas de estilo externas por sí solo ya proporciona importantes ventajas al permitirnos separar el contenido (información a presentar) del formato de la presentación (vista) [14]. En el apéndice C se resumen los beneficios más reseñables.

4.1.3 Elemento HTML5 <*canvas*>.

El elemento *canvas* es un área rectangular (lienzo) dentro de un documento Web donde podremos crear gráficos 2d (e incluso 3d mediante WebGL -Web Graphics Library-) "al vuelo" y manejar mapas de bits (manipular los píxeles), mediante una API Javascript. Esto significa que se puede aprovechar su integración en los navegadores actuales de forma que al responder a eventos de usuario, se pueden crear herramientas para composición de imágenes, juegos y animaciones. Anteriormente a la existencia de esta especificación, hubiesen requerido de plugins externos como sucede con la tecnología Flash.

Este elemento HTML5 con su API asociada, se convierte en el soporte fundamental de la actividad interactiva que se va a implementar, al posibilitar que las termografías puedan ser procesadas en el navegador Web. La manipulación de la información de píxel, nos va a permitir acceder a la información de color de las imágenes termográficas para poder traducirla a valores de temperatura.

Dada su relevancia, se hará una descripción más detallada de cómo utilizar este elemento y programar su API, en este capítulo.

4.1.4 Biblioteca multiplataforma Javascript, *jQuery* [15].

Se utiliza esta biblioteca en el desarrollo de la aplicación Web para proporcionar la interactividad y retroalimentación adecuadas con el usuario. Básicamente se trata de capturar los eventos de ratón que el usuario desencadena y programar funciones manejadoras en respuesta a esos eventos.

Existe profusa documentación sobre esta biblioteca y no es objetivo de este proyecto hacer de manual o referencia sobre ella, pero si se ha de justificar porque hacer uso de su funcionalidad para el tratamiento de eventos en la interacción del usuario sobre la interfaz de la aplicación.

En el apéndice D, se detalla cómo se puede integrar *jQuery* en la aplicación, tratando de que no penalice demasiado el rendimiento de los equipos clientes, cuando se carga y se ejecuta sobre el navegador.

4.1.4.1 ¿Por qué usar jQuery?

Utilizar la biblioteca *"open source" Javascript jQuery*, en esta aplicación, tiene su razón de peso. Los usuarios de la plataforma en la que estará integrado el objeto de aprendizaje accederán desde su navegador web preferido. Como es sabido en el entorno de programación del lado cliente en Javascript existen problemas de compatibilidad entre diferentes navegadores sobre todo en el caso de que estos estén desactualizados.

Aun siendo escrupulosos en el desarrollo de la aplicación siguiendo los estándares de programación Javascript, pueden darse situaciones en las que los usuarios al interaccionar con el objeto de aprendizaje sufran efectos indeseados (eventos de ratón que no responden a la acción del usuario, retroalimentación que no aparece,…) debidas a incompatibilidades entre navegadores. La forma más habitual de evitar estas complicaciones es la utilización de bibliotecas multiplataforma, siendo jQuery la más utilizada [16] en el entorno de desarrollo Web lado cliente.

4.2 Diseño del visor de imágenes con transición visible-térmica.

Las cámaras termográficas incluyen la posibilidad de grabar imágenes "visibles" del área u objeto en inspección para el análisis posterior y la redacción de informes que faciliten la comprensión de lo que está sucediendo en el escenario de trabajo.

Figura 4.1. Vista real y termográfica del escenario inspeccionado. Fuente: FLIR Systems AB [12].

La aplicación por tanto facilitará esta tarea incorporando interacción sobre el visor de imágenes para que el usuario pueda realizar la observación de ambas vistas del área analizada, la visible y la térmica.

El diseño de la interfaz gráfica del visor se implementará utilizando el lenguaje CSS codificado en hojas de estilo externas. Como hemos señalado, esto facilitará el rediseño de la aplicación sin afectar a su funcionamiento en caso de que no sean satisfactorias las pruebas de evaluación que se realizarán a posteriori.

A continuación se va a detallar como se puede cambiar la interfaz gráfica de la aplicación siguiendo dos diseños diferentes y lo sencillo que resultará la codificación utilizando CSS.

4.2.1 *Layout* a dos columnas frente a *layout* a una sola columna.

En un diseño a dos columnas como el de la Figura 4.2, se define una estructura de página con los siguientes componentes:

- Un menú lateral de navegación compuesto por las dos miniaturas correspondientes a las vistas real y térmica.
- Una sección de contenidos donde se mostrará la imagen seleccionada que se dibujará sobre el elemento <*canvas*>.
- Una sección que albergará el formulario con los campos para generar un informe sobre el análisis realizado.

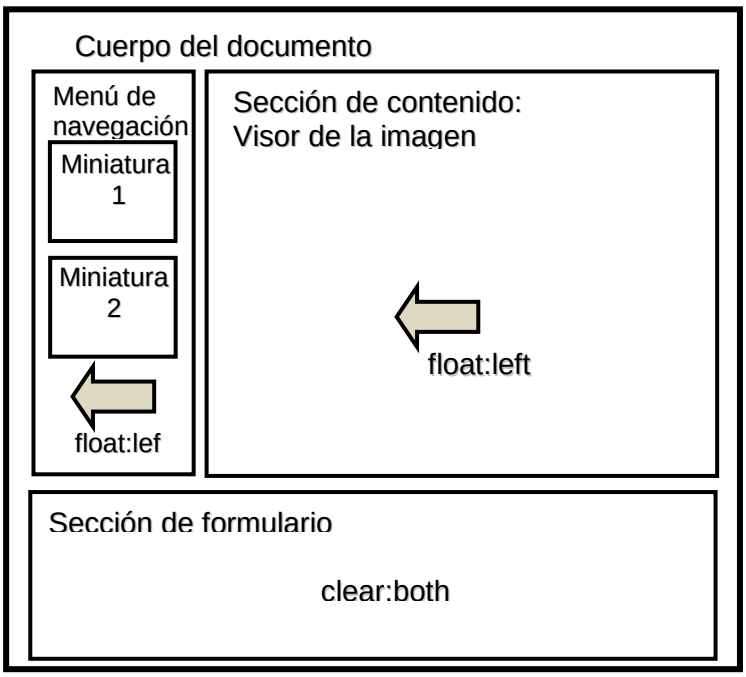


Figura 4.2. Esquema de diseño a dos columnas.

En un diseño a una columna como el de la Figura 4.3, se define una estructura de página con los mismos componentes pero con diferente distribución en el documento web:

- Un menú de navegación en la parte superior compuesto por las dos miniaturas correspondientes a las vistas real y térmica.
- Una sección de contenidos donde se mostrará la imagen seleccionada que se dibujará sobre el elemento *<canvas>.*
- Una sección que albergará el formulario con los campos para generar un informe sobre el análisis realizado.

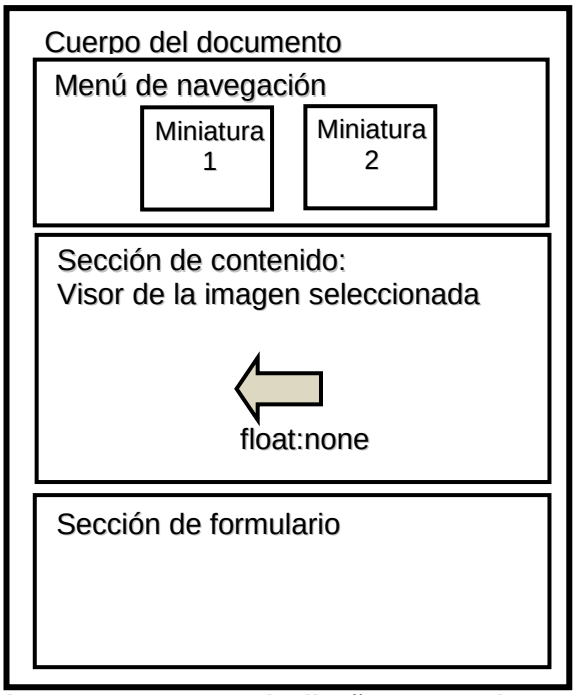


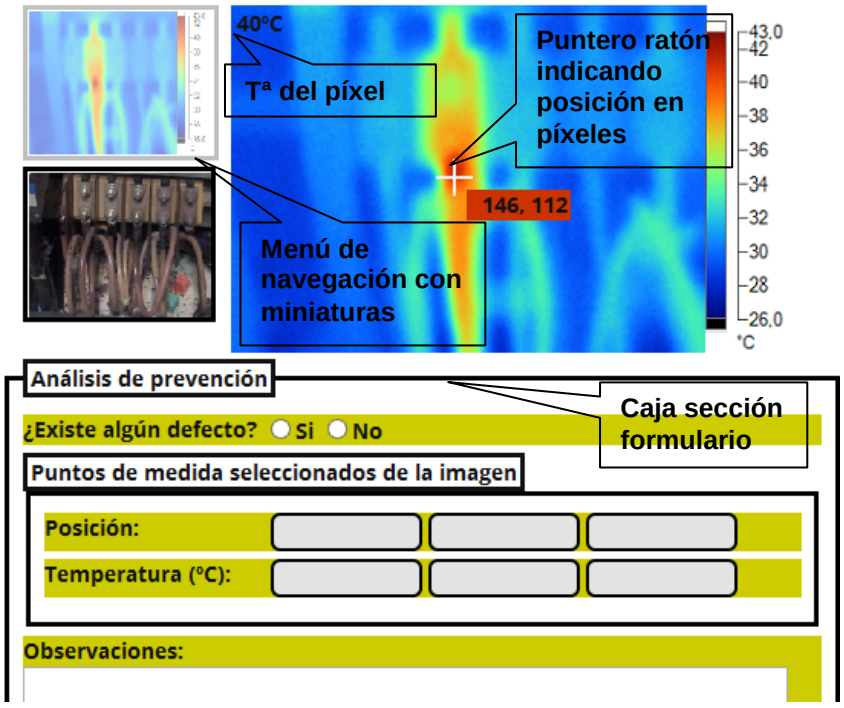
Figura 4.3. Esquema de diseño a una columna.

/*CSS layout a dos columnas*/	/*CSS layout a una columna*/

#menu {
float: left; /*posicionamiento "flotante"*/
width: 150px; /*ancho del componente en píxeles*/
}
#contenido {
float: left;
width: 400px;
}
#myCanvas{
cursor:crosshair;/* puntero en forma de cruz*/
position:relative;
}
/* Estilos aplicados al formulario */
#formulario {
width: 550px;/*suma total ancho
clear: both;
}
	#menu {
	width: 400px;
	}
	
	#contenido {
	width: 400px;
	}
	#myCanvas{
	cursor:crosshair;
	position:relative;
	}
	
	/*Estilos aplicados al formulario */
	#formulario {
	width: 550px;
	}

Listado 4.1 Comparando reglas CSS para la distribución de los componentes del diseño.

Como se puede observar en el Listado 4.1, la solución CSS a dos columnas se basa en el uso de la propiedad *float* para los elementos posicionados como el menú y los contenidos y el uso de la propiedad *clear* (hace que la caja sobre la que se aplica baje hasta que su borde superior esté por debajo del borde inferior de cualquier elemento flotado a la izquierda o a la derecha) en la sección del formulario para evitar los solapamientos ocasionados por los elementos posicionados con *float*. Además, se ajustarán los anchos de los componentes con la propiedad *width* de forma que la suma de píxeles de las cajas que contienen el menú y el contenido coincida con la caja de la sección del formulario.



4.4 Diseño de la aplicación a dos columnas. Vista: IR.

En la solución CSS a una sola columna (ver Listado 4.1) se deja en la posición original todos los componentes no es necesario hacer uso del posicionamiento flotante (propiedad "*float*") y los anchos de las cajas que contienen el menú y el contenido se les asigna el mismo valor de forma que las miniaturas del menú queden centradas.

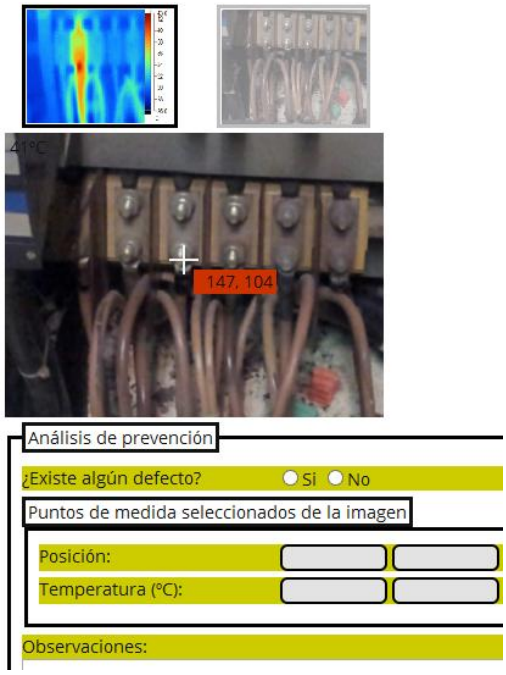


Figura 4.5. Aspecto de la aplicación con diseño a una columna. Vista: visible.

4.3 Procesando las imágenes infrarrojas en el lienzo *<canvas>*.

4.3.1 Carga de la imagen IR en el documento Web.

Como ya se ha señalado en el capítulo 3, las capturas tomadas con las cámaras termográficas son termogramas en forma de imagen esto es a cada valor de temperatura detectado por la cámara, en cada una de las escalas disponibles, se le asigna un color de tonalidad gris, o el color correspondiente a la paleta seleccionada.

Estas imágenes, por tanto, llevan información en forma de metadatos que son utilizados con el software propietario de los fabricantes de las cámaras para que los termógrafos puedan realizar los ajustes adecuados (ver apartado 3.3 del capítulo 3) durante el análisis de los resultados obtenidos en su oficina o laboratorio de trabajo y escribir los informes pertinentes que sus clientes demandan.

Los formatos propietarios en los que se almacenan los datos radiométricos van asociados a mapas de bits en formatos comunes (JPEG, PNG, BMP,

TIF,…) u otros más específicos como IS2[2] (formato propietario de Fluke Corporation), que representan la imagen IR.

El hecho de que las cámaras IR almacenen las imágenes (usan memorias SD extraíbles) en formatos comunes que fácilmente podemos trasladar a un ordenador con las numerosas interfaces de comunicación (USB, WIFI,…) de que disponen, facilita el poder cargarlas sobre el *canvas* (ver Listado 4.2 y Listado 4.3).

Para comenzar a utilizar el elemento *canvas* primero deberá ser incluido en el documento web utilizando las etiquetas correspondientes (ver Listado 4.2). Cualquier cosa que escribamos entre la apertura y cierre de la etiqueta *<canvas>,* solamente será interpretado por navegadores que no soportan este elemento. En el ejemplo del Listado 4.2, el texto: "Tu navegador no soporta el elemento HTML5: canvas.", sólo sería visible por aquellos navegadores que aún no son compatibles con *canvas*.

```
<body>

    <section id="contenido">
        <canvas id="myCanvas">Tu navegador no soporta el elemento HTML5: canvas.</canvas>
     </section>

</body>
```

Listado 4.2. Código HTML básico para definir el elemento <canvas> en el documento Web.

```
//elemento <canvas> del DOM asignado a objeto javascript
var lienzo=document.getElementById("myCanvas");
var datosImagen;//objeto para almacenar los datos de color rgb y alfa de cada pixel de la imagen
//getContext(): método que invoca a la API 2d y nos devuelve el objeto para acceder a ella.
var ctx=lienzo.getContext("2d");

var img=new Image(); //creamos el objeto DOM Image para precargar la imagen
img.src="./images/termografia1.png";//fichero de la imagen IR

    img.onload=function(){//función anónima "listener" del evento onload
        lienzo.width=this.width;
        lienzo.height=this.height;
        ctx.drawImage(this, 0, 0);//tiene otros dos parámetros opcionales para escalar la imagen
        datosImagen=ctx.getImageData(0, 0, lienzo.width, lienzo.height);
    };//fin de la carga de la imagen

var datosPixel=datosImagen.data;//array de enteros 8 bits sin signo

var x =0; var y =0;//coordenadas del primer píxel
var componenteR = datosPixel[ ( y * imgWidth + x ) * 4 + 0];//componente R del primer píxel
 var componenteG = datosPixel[ ( y * imgWidth + x ) * 4 + 1];//componente G del primer píxel
 var componenteB = datosPixel[ ( y * imgWidth + x ) * 4 + 2];//componente B del primer píxel
//variando x e y podemos obtener la información de color de cualquier píxel de la termografía
```

Listado 4.3. Fragmento de código programando la API Javascript para cargar una imagen sobre el lienzo.

[2] Formato que ofrece grandes ventajas en el posprocesado de las imágenes como la fusión térmica (imbricación de la imagen visible con la IR para mejorar el análisis).

El código del Listado 4.3 lo primero que hace es cargar la imagen y dibujarla en el lienzo. Debido a que el lienzo sólo puede dibujar imágenes que ya están enteramente cargadas, se necesita controlar esta situación escuchando al evento load. Agregamos una escucha para este evento y declaramos una función anónima para responder al mismo. En esta función nos aseguramos de que el lienzo tenga las mismas dimensiones en píxeles que la imagen asignando sus propiedades *width* y *height* dinámicamente y con el método *drawImage*() se dibujará la imagen cuando haya sido completamente cargada.

El código del Listado 4.3 pero esta vez programando el evento load utilizando jQuery (función $() [17]) se puede ver en el Listado 4.4

```
//elemento <canvas> del DOM asignado a objeto javascript
var lienzo=document.getElementById("myCanvas");
var datosImagen;//objeto para almacenar los datos de color rgb y alfa de cada pixel de la imagen
//getContext(): método que invoca a la API 2d y nos devuelve el objeto para acceder a ella.
var ctx=lienzo.getContext("2d");

var img=new Image(); //creamos el objeto DOM Image para precargar la imagen
img.src="./images/termografia1.png";//fichero de la imagen IR

    $(img).load(function(event){//función anónima "listener" del evento load
        lienzo.width=this.width;
        lienzo.height=this.height;
        ctx.drawImage(this, 0, 0);//tiene otros dos parámetros opcionales para escalar la imagen
        datosImagen=ctx.getImageData(0, 0, lienzo.width, lienzo.height);
    });//fin de la carga de la imagen

var datosPixel=datosImagen.data;//array de enteros 8 bits sin signo
```

Listado 4.4. Fragmento de código programando la API Javascript para cargar una imagen sobre el lienzo usando jQuery.

4.3.2 Acceso a la información de color del elemento <canvas>.

Toda imagen digital puede ser representada por una sucesión de números enteros que representan la profundidad de bit de cada píxel de la imagen (un byte por cada color primario y otro para el canal de transparencia):

Colores primarios	Valor (hexadecimal)	Descripción
Red	#ff0000	El canal de rojo está al máximo y los otros dos al mínimo.
Green	#00ff00	El canal del verde está al máximo y los otros dos al mínimo.
Blue	#0000ff	El canal del azul está al máximo y los otros dos al mínimo.
Canal	**Valor**	
Alfa (α)	(de 0 a 255)	Nivel de transparencia.

Tabla 4.1. Componentes profundidad de bit de los píxeles.

La API "2d" del elemento *canvas* nos proporciona el método *getImageData()* [18] utilizado en el Listado 4.3 que toma un rectángulo del lienzo del tamaño

declarado por sus atributos, en nuestro caso, el mismo tamaño de la termografía y lo convierte en datos. El objeto que retorna este método tiene una propiedad ("*data*") de tipo *Uint8ClampedArray* (array Javascript unidimensional que almacena valores de tipo entero sin signo de 8 bits), donde:

- Los cuatro primeros elementos son los valores RGB y α del primer píxel.
- Los cuatro siguientes elementos son los valores RGB y α del segundo píxel.
- Los cuatro siguientes elementos son los valores RGB y α del tercer píxel.
- Y así sucesivamente (ver Figura 4.6).

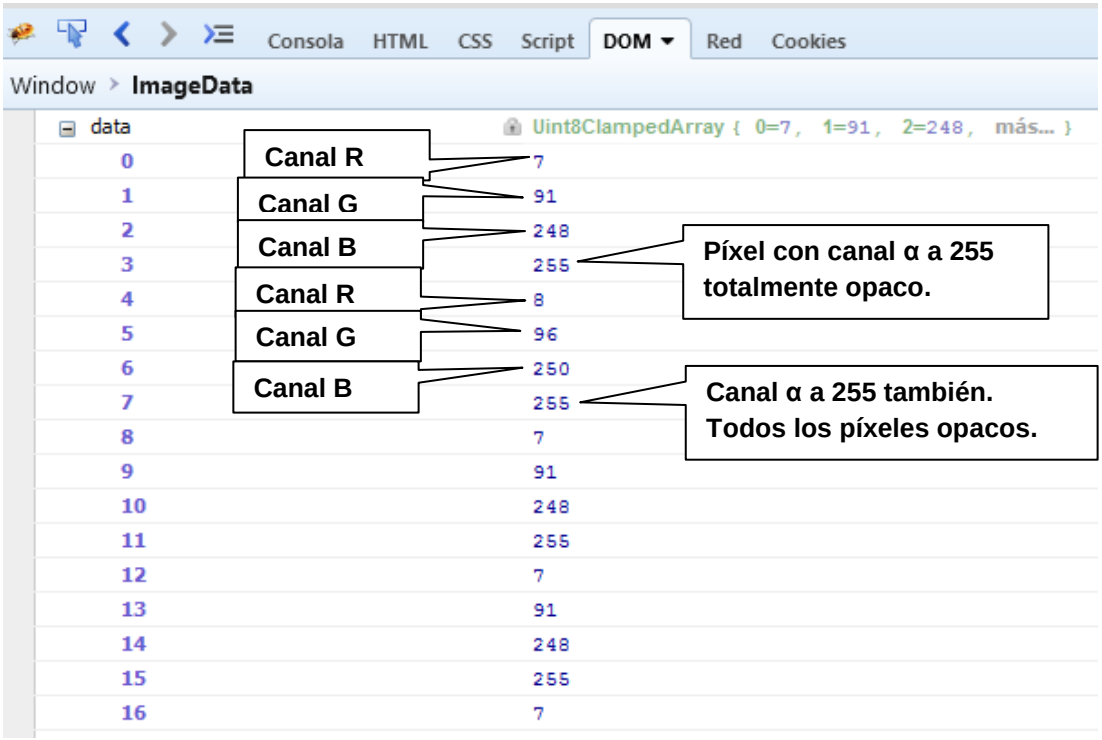


Figura 4.6. Captura depurador Firebug inspeccionando el array *data* con la información de color de una imagen cargada en un canvas.

Información de color del píxel que en la imagen IR representa a una temperatura. Esta asociación entre temperatura y color se va a realizar a través de los metadatos (ver ejemplos en Tabla 4.2 y Tabla 4.3) vinculados a la termografía y con posibilidad de exportar a diferentes formatos. Con esos datos crearemos los objetos JSON [19] (JavaScript Object Notation, ver Listado 4.5) que utilizaremos en la aplicación para proporcionar la información de temperatura de cada píxel de la termografía.

```
# Continuous "Rainbow" Colour Palette
# Palette with 7 special shades and 120 shades in temp scale

7,120

 128, 128, 128          #ISOTERM1     Isotherm 1
 229, 160, 22           #ISOTERM2     Isotherm 2
 230, 230, 230          #MARKER              IR window Area, Line, Spot
```

```
128, 128, 128  #RESERVED1
200,  0,  0  #RESERVED2
50, 50, 50  #UNDERFLOW Image underflow
200, 200, 200  #OVERFLOW  Image overflow

 0,  0,  0
15,  0, 15
31,  0, 31
47,  0, 47
63,  0, 63
79,  0, 79
95,  0, 95
111,  0, 111
127,  0, 127
143,  0, 143
159,  0, 159
175,  0, 175
191,  0, 191
207,  0, 207
```

Tabla 4.2. Fragmento del fichero texto plano de paleta de colores Rainbow con 120 tonos, exportado de cámara Flir [20].

Todas las temperaturas en Celsius.

I:\Material de ayuda\Curso Santander Agosto 2012\Termografia curso 6-8-12\IR005234.IS2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	36,6	36,8	36,9	36,7	36,9	36,7	36,9	36,8	36,7	36,7
2	36,7	36,9	36,9	36,7	36,7	36,7	36,7	36,8	36,8	36,7
3	36,7	36,7	36,9	36,6	36,8	36,7	36,7	36,8	36,9	36,8
4	36,7	36,4	36,5	36,6	36,7	36,8	36,9	36,8	36,9	36,9
5	36,7	36,7	36,6	36,7	36,6	36,6	36,8	36,9	36,9	36,9
6	36,7	36,6	36,6	36,7	36,6	36,9	36,6	36,9	36,6	36,9
7	36,6	36,6	36,9	36,8	36,6	36,8	36,7	36,8	36,6	36,8
8	36,5	36,7	36,6	36,7	36,6	36,7	36,8	36,7	37,1	36,7

Tabla 4.3. Fragmento del fichero de temperaturas de cada pixel en formato texto plano, exportado de cámara Flir [20].

```
{
    "id" : "rainbow", //identificador de la paleta
    "tonos": [//array de objetos con los 120 tonos de la paleta
                        {"r":   0, "g":  0, "b":   0},
                        {"r":  15, "g":  0, "b":  15},
                        {"r":  31, "g":  0, "b":  31},
                        {"r":  47, "g":  0, "b":  47},
                        {"r":  63, "g":  0, "b":  63},
                        {"r":  79, "g":  0, "b":  79},
                        {"r":  95, "g":  0, "b":  95},
                        {"r":111, "g":  0, "b":111},
                        {"r":127, "g":  0, "b":127},
                        {"r":143, "g":  0, "b":143},
                        {"r":159, "g":  0, "b":159},
                        {"r":175, "g":  0, "b":175},
                        {"r":191, "g":  0, "b":191},
                        {"r":207, "g":  0, "b":207},
                        //y continua hasta 120 tonos en total
```

Listado 4.5. Fragmento del objeto JSON correspondiente a la paleta de la Tabla 4.2.

4.3.3 Ejemplo de manipulación de imágenes con canvas: Cambiando la paleta de colores.

4.3.3.1 Estudio previo.

Igual que al termógrafo cuando realiza su análisis del escenario puede interesarle cambiar la paleta de colores (bien en la propia cámara o con el software del fabricante) buscando mejor contraste de la imagen térmica. Se podría simular esto mismo manipulando la imagen térmica contenida en el objeto *canvas* dentro del documento en el navegador web.

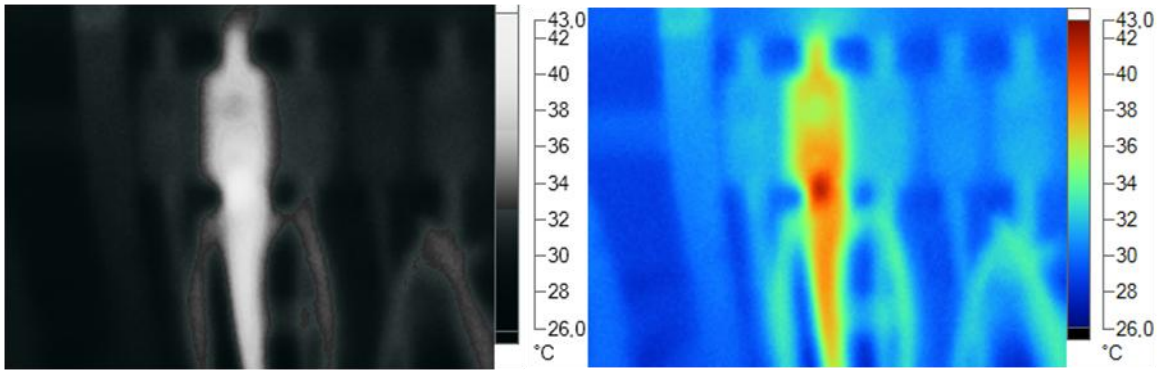


Figura 4.7. Transformación de la imagen térmica a la derecha a escala de grises.

En la imagen derecha de la Figura 4.7 se puede observar una termografía que utiliza paleta arcoíris para representar las temperaturas.

Conocidos los valores del campo (T_{max} = 43ºC, T_{min} = 26º) y la resolución térmica de representación (valor típico de 0,1 ºC, incluso para las cámaras con valores bajos de NETD ≤ 0,05 mK) de la cámara con la que fue captada, podemos deducir según la expresión **(4.1)** cuantos valores de temperaturas diferentes se van a mostrar (como ya se señaló en el capítulo 3 se detectan muchos más dentro del rango de temperaturas de la cámara) y por tanto cuantos tonos se necesitan para la representación termográfica.

$$Nº\ de\ valores = \frac{campo}{Sensibilidad\ térmica} = \frac{(T_{max} - T_{min})}{0{,}1\ (ºC)} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Asumiendo un valor de resolución térmica de 0,1, ver ecuación **(4.2)** se necesitarían 170 valores, lo cual hace que incluso podríamos representar la imagen utilizando una paleta de escala de grises progresivo (de 0 a 255 valores, 8 bits) sin perder información:

$$Nº\ de\ valores = \frac{(43 - 26)}{0{,}1} = 170 \qquad \textbf{(4.2)}$$

En el caso de la expresión **(4.3)**, en el que el contraste térmico (campo de temperaturas mayor) seleccionado, exigiría un número mayor de valores, y si se utilizase una paleta de escala de grises, se pone de manifiesto una pérdida de información al obtener una imagen de 8 bits por píxel.

$$Nº\ de\ valores = \frac{(43 - 16)}{0{,}1} = 270 \qquad \textbf{(4.3)}$$

La relevancia de esta pérdida de datos, en la representación de la imagen obtenida depende de la aplicación que se quiera hacer de la misma. Es perfectamente válida, por ejemplo, para ciertas aplicaciones de mantenimiento industrial donde se requiere detección de zonas calientes antes que una gran resolución y resultar insuficiente en casos donde se requiere la medición de temperaturas con mayor precisión.

Por otro lado, las termografías que utilizan escala de grises presentan poco contraste lo que las hace inadecuadas en muchas inspecciones IR, como es el caso de su aplicación en edificación, donde se suelen usar paletas arcoiris (los colores siguen su orden físico, es decir, el orden que les corresponde según su longitud de onda).

4.3.3.2 Procesado de la termografía.

Una vez cargada la imagen (apartado 4.3.1). Las paletas arcoíris y escala de grises definidas como objetos Javascript (ver Listado 4.5 y Listado 4.6).

```
{
        "id" : "grayScale",
        "tonos": function(inicio, incremento){
                var grises = [];

                        if (inicio === undefined){//escala de grises de 255 valores
                            inicio = 0;
                             incremento = 1;
                        }else if (incremento === undefined){
                                incremento = 1;
                        }
                         for (var i=inicio;i<256;i+=incremento){
                            grises.push(i);
                        }
                return grises;
                }
},//fin paleta escala de grises
```

Listado 4.6. Objeto javascript correspondiente a la paleta escala de grises.

Se programa la escucha del evento “click” (ver Listado 4.7), para generar la termografía en escala de grises. El usuario debe hacer clic sobre la termografía original para obtener una nueva, pero en escala de grises.

En este caso, se ha utilizado la biblioteca jQuery [21], para capturar el evento de ratón y programar el manejador como una función anónima en el propio *listener*, del evento. En esta función anónima:

1. Definimos un nuevo lienzo donde ubicar la imagen a escala de grises una vez procesada.
2. Invocamos a la función llamada aEscalaDeGrises (ver Listado 4.8) que lleva a cabo la manipulación del mapa de bits. Esta función lo que hace, es recorrer el mapa de bits de la termografía, identificar el color

de cada píxel con su posición en la paleta arcoíris y hacerle corresponder el gris correspondiente. En el nuevo mapa de bits a los canales R, G y B de cada píxel se les asigna el mismo valor (obtenemos grises por igualación de los tres canales).

3. Luego de que cada pixel fue procesado, la variable "*nuevaImagen*" con los datos del mapa de bits nuevo, es enviada al contexto 2d del nuevo lienzo, en su esquina superior izquierda (posición 0, 0) como una imagen, usando el método *putImageData()*.

```
var rgbJSON = function(r, g, b){//clase javascript para definir objetos RGB
        this.r = r;
        this.g = g;
        this.b = b;
};
rgbJSON.prototype.toString = function(){
        var literal = this.r+", "+this.g+", "+this.b;
         return literal;
}//fin clase rgbJSON

$("#canvas1").click(function(event){
        //Segundo elemento canvas dentro del documento
        var canvas = document.getElementById('canvas2');//Nuevo lienzo
         var ctx = canvas.getContext('2d'); // Contexto del nuevo lienzo
         var nuevaImagen = datosImagen;//Creo una copia de la termografía ya cargada

        canvas.width = nuevaImagen.width;
         canvas.height = nuevaImagen.height;
         nuevaImagen.data = aEscalaDeGrises(nuevaImagen.data);
         ctx.putImageData(nuevaImagen, 0, 0);
});
```

Listado 4.7. Programación del evento "*click*" del elemento "canvas1" (termografía original).

```
function aEscalaDeGrises (mapaBits){
    var paletaGrises = paletaColores[0].tonos(50, 1);//creamos una escala de grises.
     var paletaArcoiris = paletaColores[1].toString();//array de literales de los valores RGB arcoíris

    for (var i = 0; i <  mapaBits.length; i += 4) {// recorremos el mapa de bits píxel a pixel
        var objetoRGB = new rgbJSON(mapaBits[i],mapaBits[i+1],mapaBits[i+2]);
        //identificamos el color en la paleta arcoiris
        var indice = paletaArcoiris.indexOf(objetoRGB.toString());
        if (indice != -1){//sólo los colores dentro de la paleta
              //Igualamos los canales RGB
              mapaBits[i + 2] = mapaBits[i +1] = mapaBits[i] = paletaGrises[indice];
        }
    }//finaliza el procesado del mapa de bits
    return mapaBits; //devuelve el ImageData en escala de grises.
}
```

Listado 4.8. Transformando a escala de grises el mapa de bits de una imagen usando la API canvas.

5. Diseño y desarrollo de una aplicación interactiva para el análisis de imágenes termográficas.

La aplicación interactiva que servirá para evaluar el aprendizaje de los usuarios del objeto de instrucción, donde va incluida como un SCO, es un desarrollo realizado con tecnologías Web del lado cliente, descritas en el capítulo 4. Destacar, el uso del framework jQuery, en todo lo referente a la interacción del usuario (eventos, retroalimentación y efectos dinámicos) con la aplicación cliente, lo que garantiza como se señaló, que funcionará independientemente del navegador que utilice el usuario.

Se aplicará una metodología de desarrollo ágil (SCRUM, melé en el rugby). Este método se puede adaptar a un equipo formado por un solo desarrollador y donde el rol de *Product Owner* (voz del cliente) es representado por el director de proyecto. Se sintetizará la documentación de la planificación del proyecto (*product backlog*) y los avances de forma iterativa (*sprintlogs*) efectuadas en un proceso de mejora continua. La estrategia de desarrollo incremental, que se va adoptar, consiste en programar periodos de tiempo fijo (inicialmente sprints de 15 días, podrán ajustarse en función del progreso), al inicio de los cuales se definirá un objetivo (*sprint goal*) y al final se mostrará el trabajo terminado (potencialmente entregable), en forma de demo (código probado).

5.1 Planificación.

5.1.1 Lista de requisitos ("*product backlog*").

Se da mayor prioridad a la funcionalidad que controla la interacción del usuario con la aplicación y la retroalimentación que recibe. La maquetación se abordará en el último sprint.

ID	Historias de usuario (como estudiante quiero…)	Tema	Prioridad
01	Ver la temperatura de cada pixel de la imagen IR.	Interacción con el usuario.	Imprescindible (*Must have*)
02	Ver la posición de cada píxel de la termografía.	Interacción con el usuario.	Imprescindible (*Must have*)
03	Seleccionar puntos fijos de medida de la temperatura en la imagen.	Interacción con el usuario.	Imprescindible (*Must have*)
04	Retroalimentación de la posición de cada píxel en la imagen real.	Interacción con el usuario.	Imprescindible (*Must have*)
05	Vistas real/termografía seleccionables.	Maquetación/ interacción	Interesante (*Could have*)

ID	Historias de usuario (como profesor del curso quiero…)	Tema	Prioridad
06	Integrarla en objeto de aprendizaje.	Estándares e-learning.	Imprescindible (*Must have*)
07	Diseño de plantilla HTML/CSS reutilizable.	Maquetación	Importante (*Should have*)

5.2 Desarrollo de la aplicación: ciclos (sprints) de trabajo.

En cada sprint como se ha señalado se definirá el objetivo que se quiere conseguir y las tareas necesarias para lograrlo. En la planificación de cada sprint se definirá la tabla de tareas con la que se llevará el seguimiento del progreso de las mismas. Al final de cada periodo, las tareas realizadas se mostrarán en una demo funcional que será evaluada para comprobar el progreso del proyecto y planificar el siguiente sprint que será iniciado inmediatamente.

5.2.1 Primer sprint.

- **Objetivo**: El usuario una vez lanzada la aplicación, al mover el cursor por la imagen termográfica, podrá conocer la temperatura del punto sobre el que se sitúa.

Tabla de tareas		
A realizar	**Verificada**	**Hecha**
Precarga de la imagen termográfica en el lienzo (<canvas>).	Si	Si
Conversión del color a temperatura.	Si	Si
Mostrar temperatura del pixel localizado.	Si	Si

5.2.1.1 Precargando las imágenes y miniaturas del menú.

Una de las características del objeto de aprendizaje es la de ser "autocontenido", es decir, todos los recursos digitales como las imágenes que utilice, irán empaquetadas dentro del propio objeto.

Al lanzar el objeto desde el navegador, el servidor recibirá las peticiones, que permitirán mostrar las imágenes. Para agilizar el proceso de carga, lo que vamos hacer es precargar las imágenes mediante Javascript, lo cual implica realizar solicitudes al servidor en un proceso invisible al usuario para que estas imágenes se almacenen en el cache del navegador.

Para realizar esta tarea se ha diseñado la clase Javascript AlmacenImagenes (ver Figura 5.1) donde se define como propiedad una colección de objetos "*image*" (jerarquía objetos Javascript -DOM-) que proporciona el acceso a la caché del navegador donde se van cargando las imágenes que va a mostrar la aplicación.

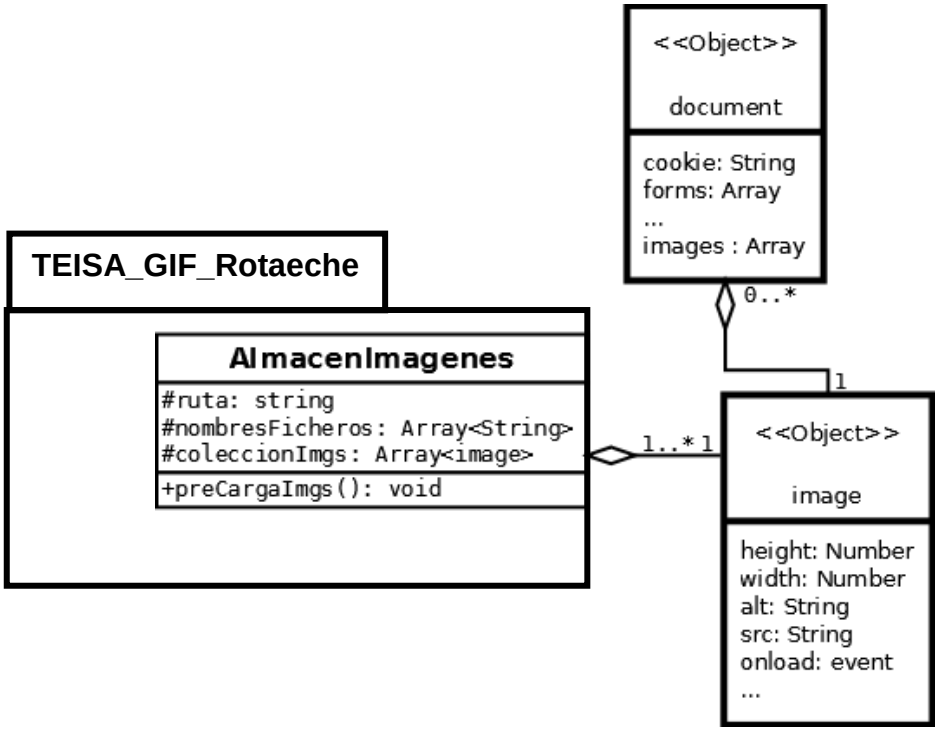


Figura 5.1. Fragmento diagama UML clase AlmacenImagenes del espacio de nombres TEISA_GIF_Rotaeche.

5.2.1.2 Clase Javascript VisorCamara.

Para organizar el código y fomentar la reutilización, de nuevo se ha creado una clase que encapsula atributos y métodos del "visor". En tiempo de ejecución se creará un objeto de esta clase al iniciarse la aplicación.

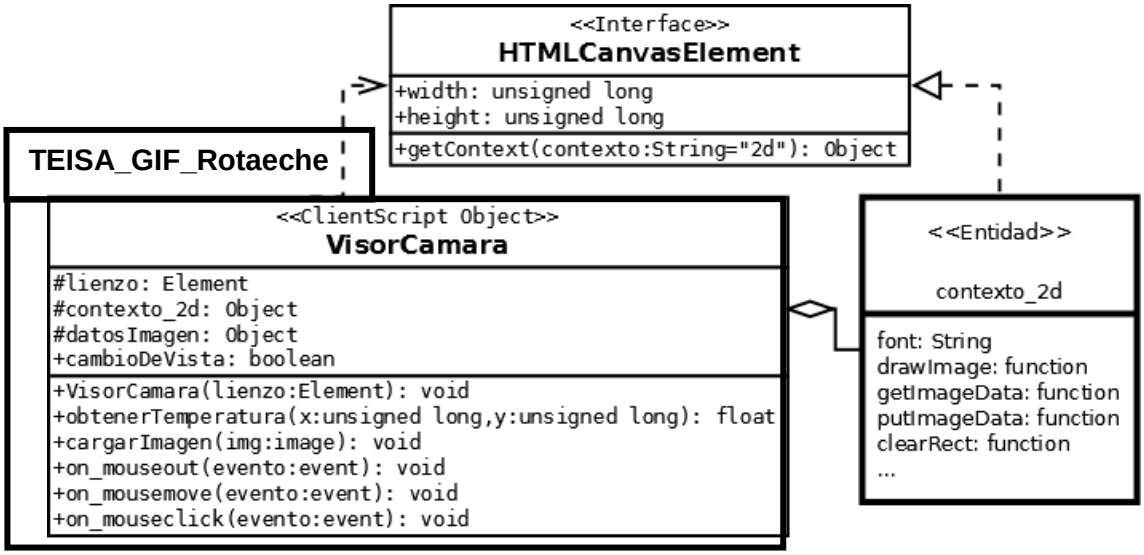


Figura 5.2. Fragmento diagrama UML clase VisorCamara (espacio de nombres TEISA_GIF_Rotaeche).

5.2.1.3 Conversión del color a temperatura y mostrarla en el visor.

Se van a utilizar las herramientas de la API <canvas> descritas en el apartado 4.3.1 (capítulo 4) y las paletas de colores en formato JSON creadas. En la Figura 5.3 se describe el proceso, donde se aprecia que el evento de ratón, "*mousemove*", sobre el elemento <canvas> desencadena la tarea.

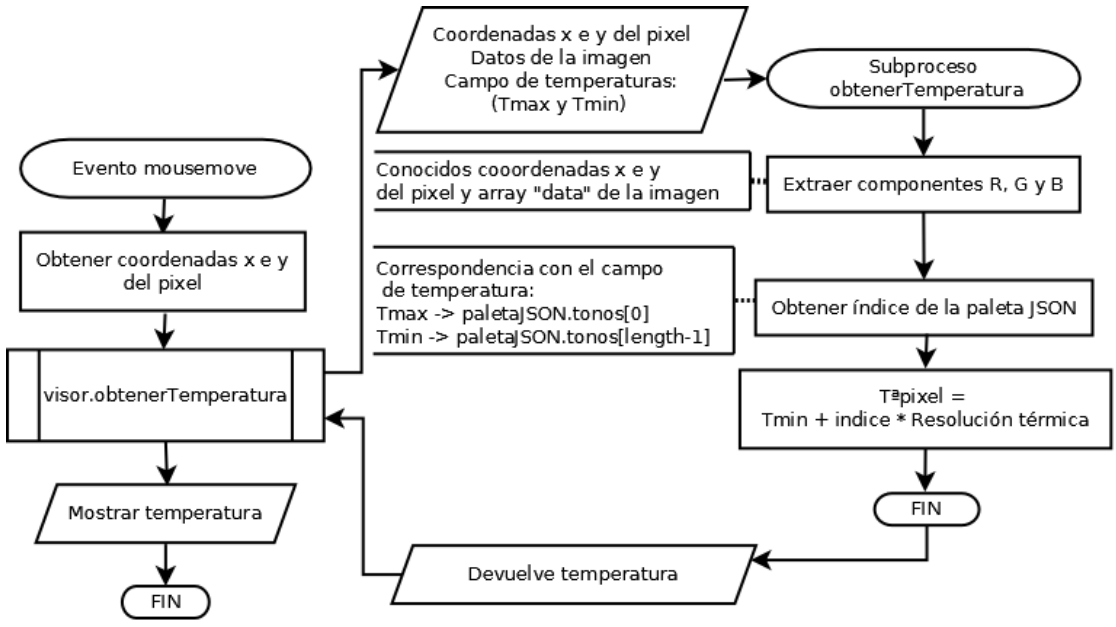


Figura 5.3. Flujograma de la operación que permite al usuario ver la temperatura de cada píxel de la termografía.

Para obtener las coordenadas x e y de cada pixel del elemento *canvas* sobre el que se posiciona el cursor necesitamos propiedades del DOM [22]. En la

Figura 5.4 se muestran las relaciones de estas propiedades con el documento (página) y el navegador.

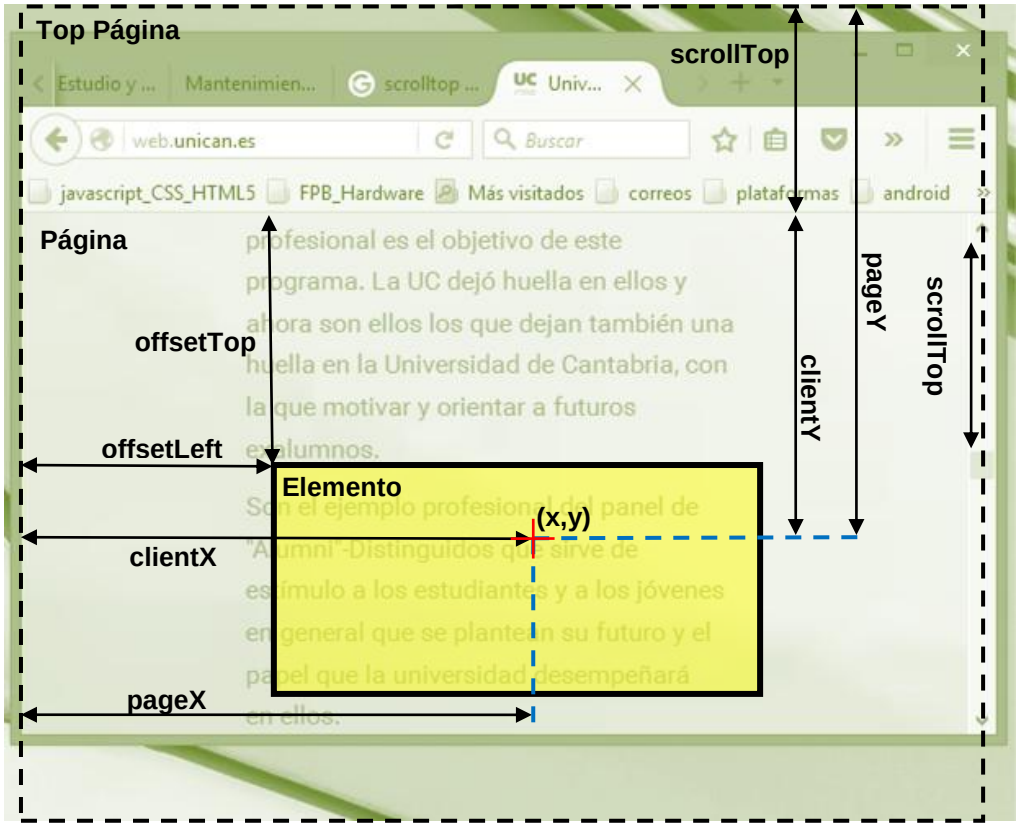


Figura 5.4. Propiedades DOM HTML de coordenadas de elementos.

Objetos del HTML DOM	Propiedades
Element	*offsetLeft y offsetTop* *scrollLeft y scrollTop*
Event	*clientX y clientY* *pageX y pageY*

Tabla 5.1. Propiedades DOM HTML de coordenadas de elementos.

Es fácil deducir de la Figura 5.4, que para obtener las coordenadas del cursor dentro del elemento tenemos las expresiones:

$$x = event.pageX - element.offsetLeft;$$

$$y = event.pageY - element.offsetTop;$$

Con las coordenadas del pixel y lo visto en el apartado 4.3.2, sobre la información de color del elemento *canvas*, se pueden extraer sus componentes R, G y B que compararemos con los tonos almacenados en la paleta codificada en formato JSON y aplicando la expresión siguiente obtenemos la temperatura asociada al pixel:

$$Tpixel = Tmin + índice * Resolución térmica$$

5.2.1.4 Fin del sprint: capturas de la demo presentada.

En la Figura 5.5 se puede observar el resultado obtenido.

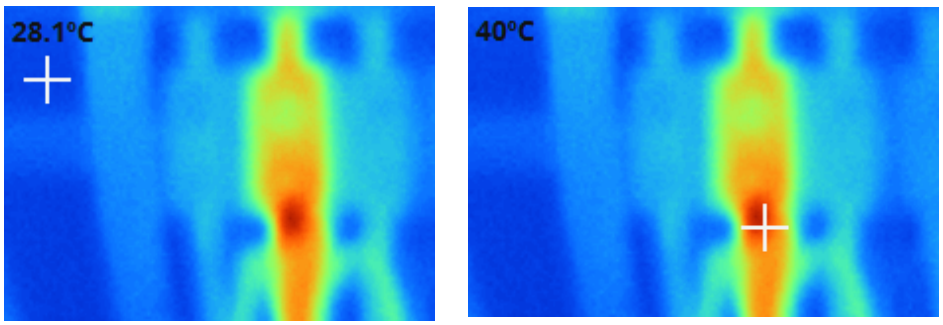


Figura 5.5. Capturas de la "demo", presentada al final del primer sprint.

5.2.2 Segundo sprint.

El objetivo ahora es que el usuario, al mover el cursor sobre la imagen termográfica, pueda ver también las coordenadas de la posición del cursor y al seleccionar (clic sobre un pixel) un punto determinado de la misma, se mostrarán los datos de temperatura y coordenadas del pixel, quedando registrados en campos de un formulario.

Tabla de tareas		
A realizar	**Verificada**	**Hecha**
Adaptar la programación del manejador del evento de ratón, *mousemove*, sobre el lienzo.	Si	Si
Rediseñar maquetación HTML/CSS para incluir un formulario	Si	Si
Programar captura y manejador eventos de ratón (*click*) sobre el lienzo mostrando los datos del pixel seleccionado en los campos de texto de un formulario.	Si	Si

La información de la posición será valiosa para localizar sobre la imagen real el área o componente donde se da la situación anómala.

5.2.2.1 Cursor seguido por una capa con retroalimentación de coordenadas.

Para que la capa con la información de las coordenadas sigua al cursor, proporcionando retroalimentación en todo momento, necesitamos:

- Conocer la posición del cursor con respecto a la ventana del navegador, es decir, en este caso necesitamos de las propiedades *clientX* y *clientY* (ver Figura 5.4 y Tabla 5.1), donde además, se debe tener en cuenta que a veces el documento es visible completamente en la ventana del navegador (*layoutport* = *viewport*) y se cumple lo siguiente:

  event.pageX = event.clientX y event.pageY = event.clientY

Otras veces, sin embargo, al cargar el documento aparecen las barras de desplazamiento en el navegador entonces tenemos que:

event.pageX = event.clientX + document.scrollTop

event.pageY = event.clientY + document.scrollLeft

- Redibujar cada vez que se mueve el cursor la capa con la nueva información. Este proceso se resuelve utilizando el método "*animate*" [23] del framework jQuery.

En la Figura 5.6, se puede observar el resultado obtenido.

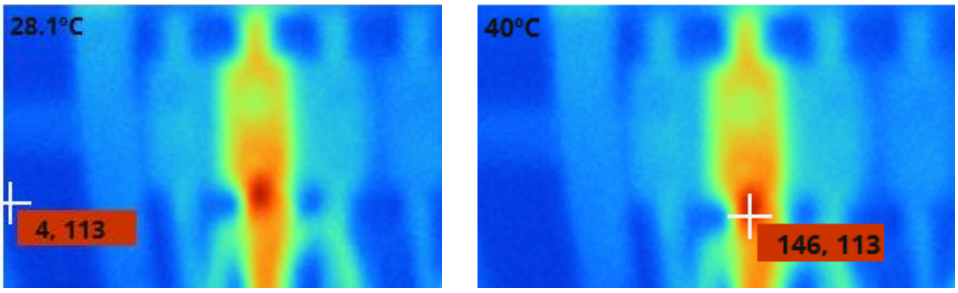


Figura 5.6. Capturas de una "demo", presentada al final del segundo sprint.

5.2.2.2 Registro en formulario de los datos del pixel seleccionado.

Lo primero que se va a llevar a cabo es un rediseño de la maquetación de la aplicación. Se va a incluir unos campos de formulario donde el usuario podrá visualizar la información de temperatura de un pixel concreto al hacer clic sobre el mismo. Esto conlleva que se debe capturar y programar el evento *click* sobre el elemento *canvas* de manera muy similar a la programada en el evento *mousemove*. El usuario, podrá seguir moviéndose por la imagen lo que le permitirá realizar comparaciones de temperaturas con la registrada (ver Figura 5.7).

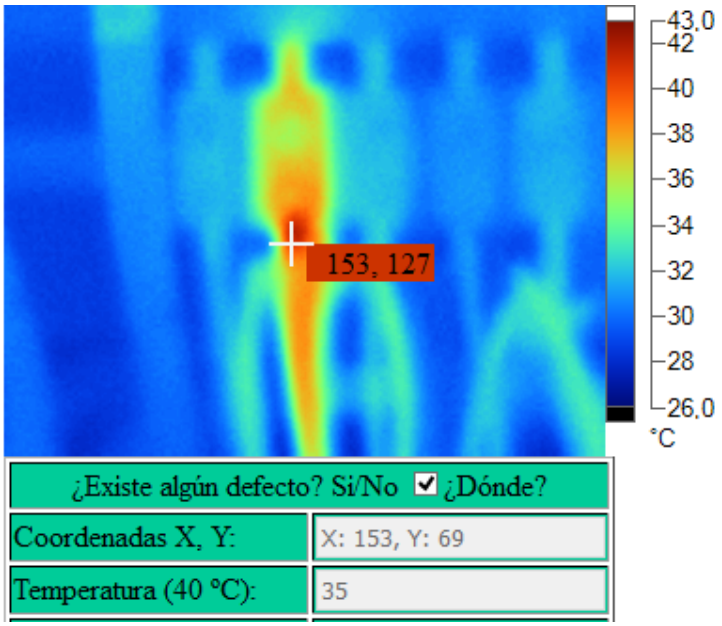


Figura 5.7. Captura de una demo presentada al final del segundo sprint.

5.2.3 Tercer sprint: diseño del visor con selección vista real/termografía.

El modelo de actividad que se va a diseñar se quiere aplicar a diferentes áreas de las aplicaciones de la termografía, por tanto la maquetación (HTML estático y CSS) deberán ser independientes del código de control de la actividad para poder reutilizar la plantilla de diseño tantas veces como SCOs queramos elaborar.

Tabla de tareas		
A realizar	**Verificada**	**Hecha**
Adaptación del código HTML para incluir las miniaturas.	Si	Si
Modificación hoja de estilos CSS.	Si	Si
Programar captura y manejador eventos de ratón (click) sobre las miniaturas.	si	Si

Esta parte del desarrollo de la aplicación ya ha sido descrita en apartados del capítulo 4, concretamente todo lo referido a la maquetación mediante CSS se encuentra en la sección 4.2 Diseño del visor de imágenes con transición visible-térmica.

5.2.3.1 Selección de vista real/termografía.

En la clase VisorCamara tenemos la propiedad booleana cambioDeVista que se establece a 1 si la imagen seleccionada es la termografía y a 0 si es la imagen visible. Tiene como finalidad la de controlar las diferentes situaciones puesto que no se muestran los mismos datos en la vista térmica que en la real.

- Método cargarImagen de la clase VisorCamara (ver Figura 5.2).

  Cada vez que se hace la transición entre las vistas real y térmica al hacer clic sobre una de las miniaturas este método limpia (*clearRect* [18] API <canvas>) el contexto 2d del lienzo y a continuación dibuja (*drawImage* ver sección 4.3.1) de nuevo la imagen seleccionada. Este proceso es bastante eficiente dado que accedemos a la caché del navegador donde ya se encuentran cargadas las imágenes.

- Evento "*click*" sobre las miniaturas del menú lateral de navegación.

  En el manejador de este evento primero se debe consultar el estado de la propiedad booleana cambioDeVista del objeto visor. Dependiendo de su valor se cambiará la imagen del visor o no. En caso de transición se invoca al método "cagarImagen" de la clase VisorCamara antes descrito. Además, también cambia el estilo de la miniatura seleccionada (menor opacidad), como forma de retroalimentación para el usuario.

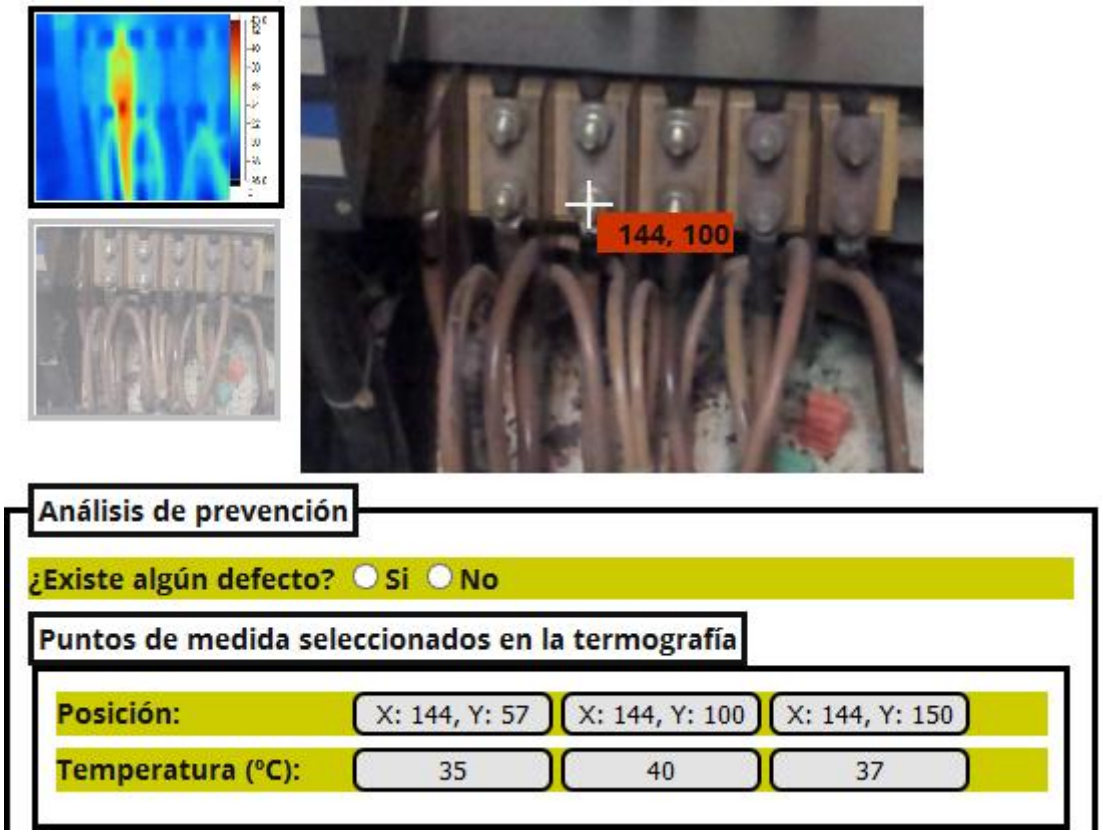


Figura 5.8. Captura "demo" del tercer sprint: selección vista real.

5.3 Manual de usuario.

Paso 1: Se lanza la URL en la barra de direcciones del navegador y aparece de inicio la termografía a estudio (ver Figura 5.9).

- Si el usuario detecta algún patrón térmico anómalo debe indicarlo en las opciones de formulario para recibir retroalimentación de cómo proceder.
- Pasando el ratón por la termografía se obtiene información de la temperatura y posición de cada píxel.

Paso 2: Selección de puntos de medida.

- Con un solo clic, queda registrada la información del pixel seleccionado, en los campos del formulario.
- Se muestran los últimos tres puntos de medida seleccionados.

Paso 3: Transición vista termografía/real.

- Con un solo clic, sobre una de las miniaturas del menú lateral de navegación, se cambia la imagen en la zona del visor de la aplicación.

Paso 4: Recarga de la aplicación.

- Pulsando sobre el botón Iniciar, se recarga de nuevo la aplicación, limpiando los campos del formulario.

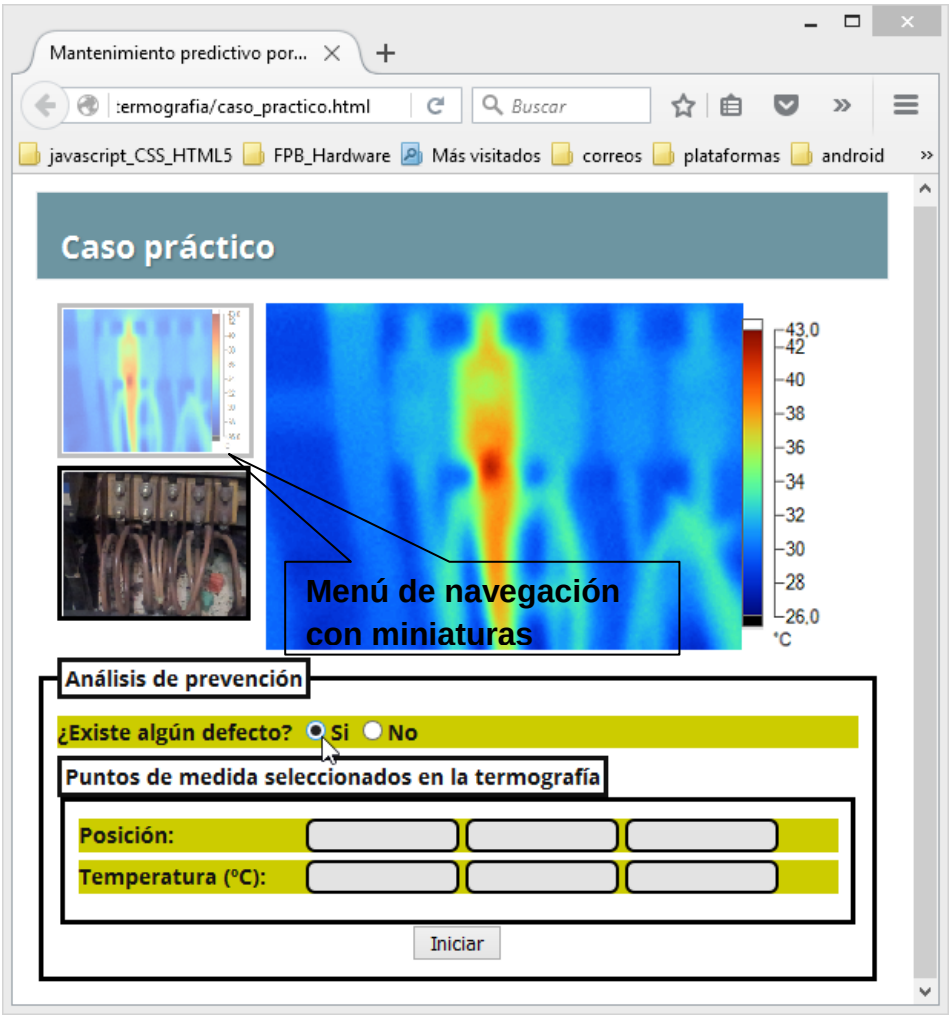


Figura 5.9. Iniciando la aplicación: Caso práctico de mantenimiento predictivo por IR.

Figura 5.10. Hasta tres puntos de medida seleccionados

6. Integración de la aplicación en objeto de aprendizaje bajo la plataforma LCMS Moodle.

Como se señaló en el capítulo 2 es muy significativo que sea la plataforma de aprendizaje virtual Moodle la más implantada en las universidades españolas, por ello, no es necesario detenerse explicando acerca de las bondades que la han convertido tan popular, como elemento integrador y organizador de recursos educativos que el profesorado pone a disposición de los estudiantes con el objetivo de hacerles avanzar en su aprendizaje.

En este capítulo se va a describir el proceso de elaboración del recurso de aprendizaje que se quiere integrar en una plataforma LCMS Moodle. De esta forma se podrá distribuir la aplicación Web desarrollada, “empaquetada” como una actividad dentro del objeto de aprendizaje. Dicho de otra forma, en este capítulo se describen el diseño y la puesta en funcionamiento del objeto de aprendizaje.

Una de las cuestiones que se debe abordar en el diseño del OA es, como se indicó en el capítulo 2 apartado 2.2.4 Creación de objetos de aprendizaje., decidir bajo que estándar (ver Apéndice A apartados A.6 y A.7) se va a construir el paquete de contenido o sea el fichero físico que permite lanzar el OA en la plataforma Moodle.

6.1 Elaboración del objeto de aprendizaje.

6.1.1 Introducción.

En esta fase del proyecto es donde más se manifiesta su carácter multidisciplinar. De ahí que se ha de remarcar la importancia de contar con el material ya desarrollado por el tutor-instructor del curso "Termografía infrarroja" y director de este proyecto Francisco Javier Madruga Saavedra. Además de su indispensable participación en las fases iniciales del diseño, definiendo los objetivos de aprendizaje que se pretende que alcancen los estudiantes.

La aplicación desarrollada en el proyecto (ver capítulos 4 y 5), formará parte de una actividad de evaluación de los estudiantes dentro de la última unidad con título, "Aplicaciones de la termografía", del curso: "Inspecciones mediante Termografía Infrarroja", que el departamento, Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática quiere incluir en el catálogo de cursos online de la plataforma Moodle de la Universidad de Cantabria.

6.1.2 Fase de análisis y obtención de materiales.

El objeto de aprendizaje que se ha desarrollado en este proyecto, irá incluido en la sección "Monitorización y mantenimiento predictivo eléctrico" de la unidad antes señalada, "Aplicaciones de la termografía". Va a servir para medir el grado de consecución de los objetivos de aprendizaje de la misma.

El curso que se ha preparado tiene un carácter de especialización. El tipo de alumnado al que va dirigido es mayoritariamente de posgrado.

Los estudiantes, antes de abordar la unidad en la que se va a incluir el objeto de aprendizaje, ya habrán superado unidades previas en las que adquirieron amplios conocimientos sobre la tecnología infrarroja y las técnicas que en este campo se aplican. Ahora, deberán utilizar toda esa experiencia acumulada, para aplicarla en casos prácticos basados en escenarios reales, ante los que cualquier termógrafo se puede encontrar.

Esta unidad está dividida en varias secciones según los diferentes campos de aplicación:

- Inspección en edificación e infraestructuras.
- Monitorización y mantenimiento predictivo:
    - Eléctrico.
    - Mecánico.
- Control industrial de procesos.
- Otras aplicaciones: ensayos no destructivos y aplicaciones no industriales.

Se estructura de esta forma, siguiendo el principio de "granuralidad" en el diseño de objetos de aprendizaje, lo cual facilitará su reutilización.

Los objetivos generales de aprendizaje que se persiguen son:

- Identificar y clasificar los diferentes campos de aplicación (capítulo 3 apartado 3.5 Campos de aplicación de la termografía infrarroja.) de la termografía infrarroja.
- Identificar y describir diferentes tipologías de anomalías y patrones térmicos detectables mediante análisis IR en cada uno de esos campos de aplicación.
- Describir las diferentes técnicas de inspección por termografía que se pueden aplicar, seleccionando en cada caso práctico la más adecuada.

Objetivos específicos de cada una de las secciones de la unidad:

- Aplicar técnicas de inspección por termografía comparativa.
- Reconocer y localizar diferentes tipologías de anomalías y patrones térmicos.
- Evaluar y clasificar el problema proponiendo medidas de actuación.

6.1.2.1 Datos generales del objeto de aprendizaje.

Nombre	Inspección IR en el mantenimiento de un sistema eléctrico.
Jerarquía a la que pertenece	Curso: Inspecciones mediante Termografía Infrarroja. • Unidad: Aplicaciones de la termografía.
Descripción	El alumnado en esta actividad, después de una introducción teórica al mantenimiento eléctrico (descripción de anomalías, técnicas de inspección que se deben aplicar y evaluación de los fallos) respaldada por un video-presentación, se encontrará en una situación de trabajo como termógrafo. El objeto de aprendizaje ejecutará la aplicación (ver capítulos 4 y 5) que emula un visor de cámara termográfica, sobre el cual el usuario podrá interactuar. Finalmente para poder evaluar la consecución de los objetivos se deben resolver una serie de cuestiones sobre el escenario inspeccionado.
Objetivos	• Reconocer y localizar el fallo, si lo hubiese, o patrón térmico del sistema. • Evaluar y clasificar el problema proponiendo medidas de actuación.
Granularidad	Sección dentro de la unidad. Su estructura es idéntica a las de las otras secciones, por ello, adaptar el objeto de aprendizaje a otros campos de aplicación será tarea sencilla. La aplicación que emula el visor presentaría en cada caso termografías de escenarios diferentes. Las preguntas del cuestionario deberán ser reformuladas.

Tabla 6.1. Datos generales del OA.

6.1.2.2 Elaboración de materiales.

Tipo de contenido	Formato	Fuente
Textos	Texto plano insertado en documento HTML.	Apuntes del curso “Termografía infrarroja” [7].
Video	MP4 (códec H.264) y WebM (códec VP8).	Presentaciones del curso “Termografía infrarroja” [7].
Actividad interactiva.	HTML5 y Javascript.	Aplicación elaborada en el proyecto (ver capítulos 4 y 5).
Cuestionario (preguntas tipo test).	Cuestionario SCORM (HTML5 y Javascript).	Banco de preguntas del curso “Termografía infrarroja” [7].

Tabla 6.2. Plantilla de recopilación de materiales.

Las presentaciones han sido convertidas a formatos de video compatibles HTML5 (ver apartado B.3 Soporte nativo de video, audio y gráficos en los navegadores. del apéndice B). Las presentaciones Microsoft Powerpoint [24] presentan problemas a la hora de ser empaquetadas en el OA que se va a ejecutar sobre un navegador, por ello se ha optado por formatos abiertos de video para su reproducción.

6.1.3 Diseño.

Se ha concebido el objeto de aprendizaje como una actividad compuesta por una secuencia de cuatro actividades (items). En la Tabla 6.3, están enumerados por orden de aparición y se describe el cometido de cada uno de ellos.

Título	Propósito	Actividad
Objetivos	Se describen los objetivos de aprendizaje del OA.	Lectura del contenido.
Presentación: mantenimiento predictivo sistemas eléctricos.	Resumir en una presentación lo más relevante del mantenimiento en sistemas eléctricos.	Visionado de la presentación.
Caso práctico.	Realizar un análisis termográfico de un escenario real.	Actividad interactiva (simulación).
Cuestionario (preguntas tipo test).	Evaluar el aprendizaje.	Actividad de evaluación.

Tabla 6.3. Items del objeto de aprendizaje.

6.1.3.1 Requisitos de funcionamiento.

- El control de flujo sobre los ítems es lineal, pudiéndose avanzar de uno en uno. Habrá opción de retroceder por si al estudiante le surgieron dudas.

- Para considerar completado el objeto de aprendizaje el estudiante habrá tenido que pasar por todos los ítems y contestar al cuestionario.
- La evaluación positiva del OA se producirá cuando se supere el 50% de aciertos en el cuestionario. Desde Moodle se configurará un acceso al siguiente OA, condicionado a esta evaluación positiva.
- El número de intentos posibles será configurable desde el propio LCMS que registrará la actividad del usuario sobre cada uno de los ítems del OA.
- El modo de "vista previa" del paquete de contenidos debe estar deshabilitado en el LCMS, si el número de intentos está restringido. En caso contrario habrá que controlar que las actividades de evaluación no estén disponibles.

6.1.3.2 Elección del estándar para crear el paquete de contenido.

En este caso, esta decisión de diseño está condicionada por la plataforma LCMS Moodle donde se va a integrar.

Del análisis realizado sobre el estado actual de los estándares (ver apartados A.6 y A.7 del apéndice A), llegamos a la conclusión de que el estándar para crear esta unidad independiente de aprendizaje que mayores cuotas de compatibilidad nos va aportar, es el ya tradicional SCORM 1.2 (ver apartado **Especificación SCORM.**, del apéndice A). Además, los requisitos de funcionamiento de este OA no exigen gran complejidad y flexibilidad en lo referente a la secuenciación de las actividades, por lo que la especificación SCORM 1.2 se ajusta adecuadamente, a pesar de ser mucho más limitada en este aspecto frente a SCORM 2004 4ª edición [6].

6.1.4 Desarrollo.

En esta fase del proceso se utilizarán herramientas de autoría para la creación de paquetes de contenido en formatos exportables a las plataformas LMS. Existe gran variedad de software [25] para ejecutar esta tarea. De todas ellas se pueden resaltar dos que se distribuyen bajo licencia de código abierto (consultar Apéndice E):

- Proyecto RELOAD [26]:
- ExeLearning (eXe OPEN SOURCE SCORM Development Package) [27].

6.1.4.1 Agregación y empaquetado de contenido.

Se trata de que el objeto de aprendizaje quede enmarcado dentro de una estructura física (paquete de contenidos) con un formato estándar para que pueda ser importado a diferentes LMS y lanzado desde los mismos. El paquete de contenidos, se convierte en un auténtico formato de intercambio de objetos de aprendizaje.

El modelo de agregación de contenidos SCORM se basa en el estándar IMS CP y define una jerarquía de tres componentes:

- **Asset (recurso)**, que corresponde a cualquier medio de tipo texto, imágenes, sonido, objeto de evaluación o cualquier otra entidad que pueda mostrarse en un navegador. En el OA desarrollado quedan recogidos en la Tabla 6.2.
- **SCO**, es una colección de uno o más *assets* que forman un recurso o actividad de aprendizaje independiente. Se convierte en la unidad lógica más pequeña que se puede lanzar al estudiante desde el LMS y que se comunica con él a través de la API que debe incluir. En el OA desarrollado quedan recogidos en la Tabla 6.3.
- **Agregación de contenidos**, proporciona la estructura para crear unidades de orden superior (curso completo con varias lecciones) incluyendo dentro de un mismo paquete varias agregaciones. Cada una de las cuales necesitará su propio fichero de manifiesto (submanifiestos). Al diseñar un recurso de aprendizaje, en muchas ocasiones no se ve la necesidad de crear varias agregaciones, esto es, el paquete de contenidos incluiría una sola agregación de contenidos como en nuestro caso. Utilizar este elemento para crear recursos de aprendizaje más complejos puede convertirse en un impedimento para la reutilización del objeto de aprendizaje creado.

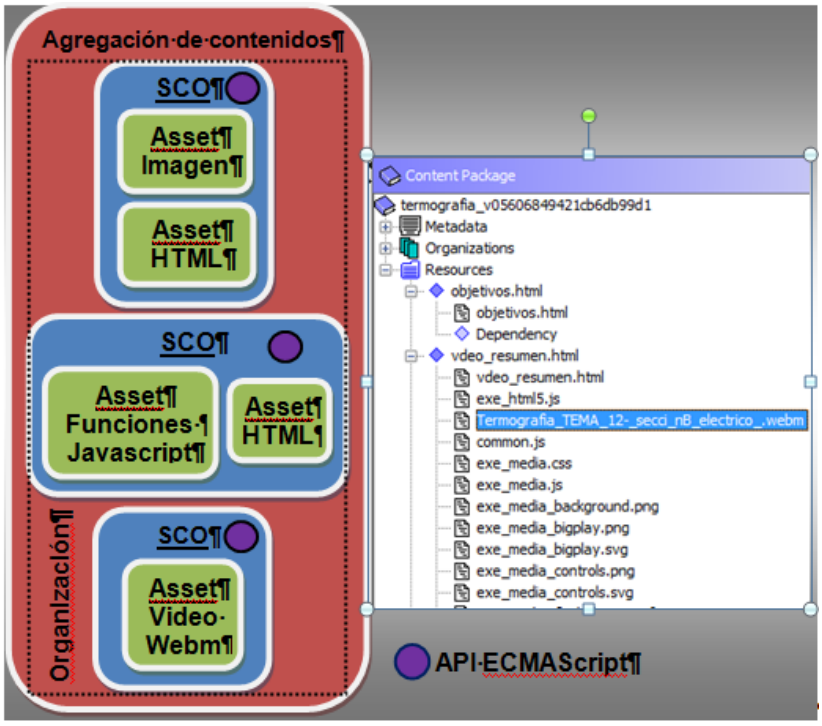


Figura 6.1 Ejemplo del modelo de agregación de contenidos. A la derecha: captura del panel del manifiesto del editor Reload.

El modelo de empaquetado SCORM define también la “organización” (ver Figura 6.2) de contenido, para proporcionar un orden al conjunto de SCOs y recursos, es decir, la relación entre las diferentes actividades dentro de la

agregación. Se ordenan en una estructura de árbol que asigna el comportamiento deseado de secuenciación (lo que permite que los SCOs de la unidad sean visualizados en función del progreso del usuario) como respuesta a las interacciones del estudiante. Esta organización estará descrita en el fichero de manifiesto (documento imsmanifest.xml, ver en el apéndice F el Listado F.).

Al establecer la secuenciación de los SCO en el paquete, el LMS va a poder monitorizar si los estudiantes han realizado o no, las actividades requeridas, por ejemplo antes de contestar a un cuestionario. Si no fuese así, los estudiantes podrían pasar directamente al cuestionario sin realizar las actividades marcadas y obtendrían una evaluación como si hubiesen realizado la unidad completa.

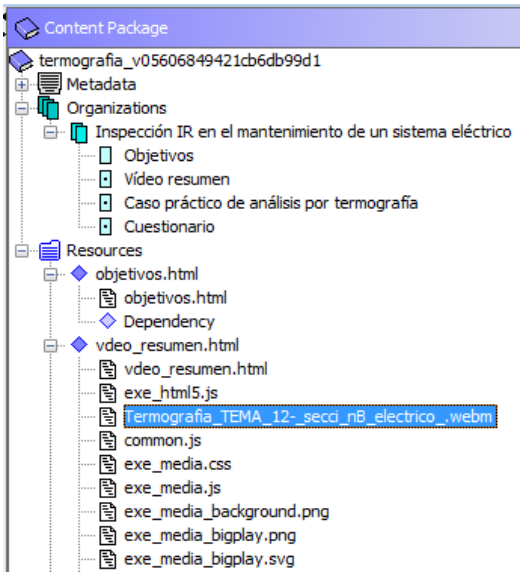


Figura 6.2. Ejemplo de organización de contenidos. Captura editor Reload.

El fichero "*zip*" resultante del empaquetado de la unidad de aprendizaje desarrollada contendrá:

- Todos los ficheros físicos de contenidos (recursos).
- Los ficheros xml de metadatos de los componentes de la organización (cada SCO podría llevar su propio fichero de metadatos asociado). En nuestro caso sólo habrá un fichero de metadatos (ver listado de ejemplo en apéndice G) para la descripción del objeto conforme al estándar LOM-ES.
- Fichero de manifiesto. Documento en XML que describe la estructura del contenido con los recursos asociados y las reglas que determinan el orden de la presentación de los contenidos y como se puede navegar por ellos (Apéndice F). Es el "inventario" estructurado que el LMS necesita para organizar y mostrar los contenidos de forma adecuada.
- Ficheros XSD (XML Schema Document) y DTD (Document Type Definition), imprescindibles para definir la correcta estructura de los

elementos de los documentos XML antes señalados y como referencia para validar los datos que aparecen en ellos.

- Fichero Javascript (APIWrapper.js) que conforma la API (ver apartado A1 del apéndice A) para que los SCO se comuniquen con el LMS.

6.2 Integración en la plataforma Moodle [28].

Se pueden realizar las primeras pruebas de las unidades instruccionales creadas utilizando visores como los que integran algunas herramientas de autoría (ver Apéndice E: Herramientas de autoría para la creación de paquetes de contenido SCORM e IMS.). Sin embargo, estas herramientas no interaccionan con el LCMS, por lo que una opción mejor, es llevar a cabo esta primeras comprobaciones sobre la plataforma Moodle instalada en un servidor local (máquina de desarrollo), antes de instalarlo en el servidor de producción definitivo.

6.2.1 Curso Moodle en máquina de desarrollo.

Esto nos ofrece la posibilidad de administrar la plataforma, teniendo control total sobre la configuración del servidor, base de datos, etc. También podremos instalar utilidades complementarias (*plugins*) y administrar el sistema de copias de seguridad de los cursos para no tener problemas con el tamaño de los ficheros a importar.

Todas estas cuestiones a las que nos enfrentaremos como administradores nos será muy útil documentarlas, para cuando vayamos a restaurar el curso Moodle en la plataforma de producción definitiva. Si aparecen incidencias, se podrá orientar al administrador de la plataforma hacia la solución de las mismas.

6.2.1.1 Resolviendo problema: “el archivo subido excede la directiva max_post_size en php.ini Moodle”.

Un curso Moodle instalado, seguro necesitará adaptaciones por lo que habitualmente va a ir creciendo en complejidad y en tamaño. Podemos programar copias de seguridad y comprobaremos como van aumentando en tamaño los ficheros de *bakup* (ver Figura 6.3).

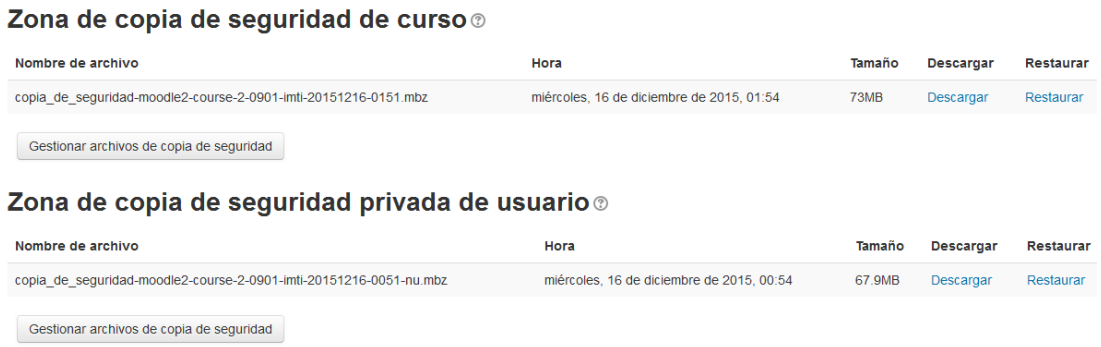


Figura 6.3. Interfaz de la herramienta Restaurar del bloque Administración del curso.

Entonces es posible que un día toque migrar el curso a otro servidor y al disponerse a restaurar la copia de seguridad en la nueva plataforma recibimos un mensaje de error (ver Figura 6.4).

Figura 6.4. Mensaje de error al restaurar un curso sobre una plataforma Moodle.

Todas las soluciones a este problema pasan por tener que negociar con el administrador la limitación de tamaño de los ficheros que los "profesores" de cursos pueden subir a la plataforma. Es el administrador de la misma el que tiene la capacidad de modificar las directivas de configuración del servidor (ver Listado 6.1).

```
; Maximum size of POST data that PHP will accept.
; Its value may be 0 to disable the limit. It is ignored if POST data reading
; is disabled through enable_post_data_reading.
; http://php.net/post-max-size
post_max_size = 50M

; Maximum allowed size for uploaded files.
; http://php.net/upload-max-filesize
upload_max_filesize = 50M
```

Listado 6.1. Fragmento del fichero php.ini de configuración del intérprete php del servidor.

6.2.1.2 Administración del sitio Moodle: Características avanzadas.

Al integrar este OA en el LCMS se ha planteado la posibilidad de que el acceso al mismo esté condicionado, es decir, el estudiante tenga un "prerrequisito" de haber completado o superado otro contenido de aprendizaje de la propia unidad del curso o de diferente unidad. Incluso, también se podría aplicar como prerrequisito de otra actividad del curso, que el estudiante obtenga una evaluación positiva en este objeto de aprendizaje.

Para poder configurar en Moodle estas opciones necesitamos privilegios de administrador para habilitar desde la Administración del sitio las características avanzadas [29]:

- **Habilitar rastreo del grado de finalización ("*enable completion*")**. Desactivada por defecto.

- **Habilitar acceso condicional (“*enable availability*”)**. Desactivada por defecto.

6.2.2 Integración y pruebas en plataforma de producción

Las pruebas en máquina de desarrollo son útiles, pero sin perder tiempo se deben probar los objetos de aprendizaje sobre la plataforma donde verdaderamente los usuarios del curso van acceder a los mismos.

6.2.2.1 Pruebas iniciales.

Primero se pueden ocultar los recursos educativos a los usuarios matriculados en el curso con el fin de efectuar las últimas pruebas. El profesor/creador del curso puede cambiar su rol al de estudiante para lanzar los objetos de aprendizaje e interactuar sobre ellos como si de uno de ellos se tratase.

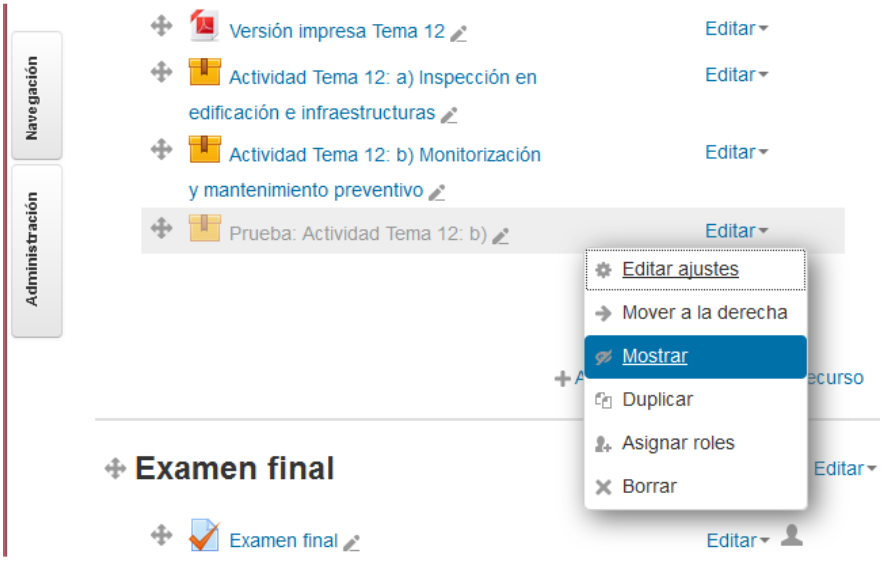


Figura 6.5. Ocultando actividades en prueba del curso Moodle.

Se podrá verificar así, el correcto funcionamiento, el control de los intentos, las reglas de secuenciación y su integración en el módulo de calificaciones de Moodle.

6.2.2.2 Editar ajustes: Actualizando paquete SCORM.

En la Tabla 6.4 tenemos un resumen de los parámetros de configuración con los valores que se deben actualizar, para que la actividad SCORM dentro del curso Moodle, se adapte mejor a la plataforma cumpliendo con los requisitos de funcionamiento expuestos en el apartado 6.1.3.1 Requisitos de funcionamiento.

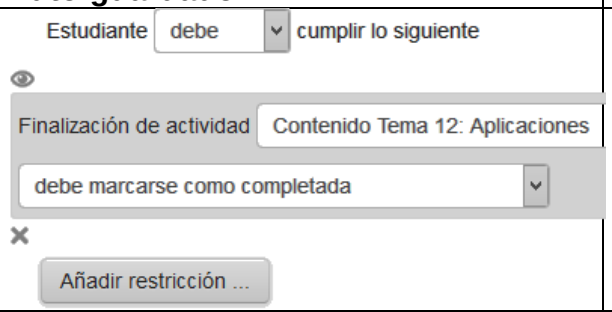
Submenú	Opciones	Valor
Apariencia	**Mostrar**	Ventana actual
	Ocultar botón de previsualización	Sí
	Mostrar estructura del curso en la página de entrada	Sí
	Mostrar la estructura del curso en el reproductor (proporciona más retroalimentación al estudiante)	Lateral
	Mostrar navegación (facilita moverse adelante y atrás por las actividades)	Flotante
Disponibilidad	**Fechas de inicio y fin de la actividad**	Fechas (Desde y hasta)
Gestión intentos	**Número de intentos** (recomendado limitarlos).	Dato entero
	Forzar nuevo intento (cada vez que se visite, cuenta como un nuevo intento)	Sí
	Bloquear después último intento	Sí
Calificación	Promedio o más alta: daría igual puesto que solo hay una actividad de evaluación, el cuestionario.	
Configuración de compatibilidad	**Forzar finalización** (son las actividades las que lo van comunicando al LMS mediante llamadas de la API)	No
	Continuación automática (debe ser el estudiante el que progrese por las actividades del OA)	No
	Auto-guardado	Si
Restricciones de acceso		
Finalización de actividad	**Rastreo de finalización…** Puede ser útil, aunque no haría falta. El informe SCORM proporciona estos datos (ver Figura 6.7).	No indicar finalización
	Requerir ver	
	Requiere calificación	
	Requiere puntuación mínima	

Tabla 6.4 Algunas opciones de configuración del paquete SCORM.

6.2.2.3 Evaluación y seguimiento del aprendizaje.

Una de las facilidades que obtenemos al haber construido este paquete de contenido como un conjunto de SCOs (actividades SCORM que se comunican con el LCMS vía la API Javascript), es que la plataforma Moodle realiza el seguimiento de las acciones del estudiante en cada uno de ellos intercambiando información (modelo de datos CMI ver apéndice A). El registro

de estos informes que hace Moodle (ver Figura 6.6) nos proporciona una herramienta muy valiosa para seguir el progreso del estudiante.

Por un lado, integra perfectamente en el "Libro de Calificaciones" del curso para cada estudiante matriculado en el mismo, la evaluación de la actividad "Cuestionario" del OA desarrollado. Moodle centraliza en ese libro todas las actividades de evaluación del curso.

Además, al iniciar el SCORM con el rol de profesor/creador del curso nos aparece una pestaña adicional llamada "*Informes*", desde la cual podemos acceder al "*Informe de objetivos*" donde se muestra el estado de las actividades. Desde este mismo menú podemos realizar el rastreo (ver Figura 6.7) de cada una de ellas seleccionando el "Intento".

Figura 6.6. Captura Moodle: informe objeto de aprendizaje.

Figura 6.7. Captura Moodle: seguimiento del intento.

7. Conclusiones y líneas futuras.

La experiencia del proyecto ha demostrado que una materia como la termografía, con elevado componente práctico, se puede llevar a las plataformas virtuales de aprendizaje utilizando herramientas ("*e-learning authoring tools*") externas a la plataforma, basadas en las tecnologías Web del lado cliente.

Por un lado, se ha diseñado una aplicación multi-browser basada en HTML5 que emula un visor de cámara termográfica, donde los estudiantes pueden aplicar técnicas de análisis por termografía de infrarrojos. Para su diseño se han utilizado herramientas de programación Javascript y maquetación con CSS.

Además, se ha logrado "empaquetar" dicha aplicación Web junto con otros recursos educativos, formando un objeto de aprendizaje bajo el estándar SCORM 1.2. Esto, ha permitido integrarlo en un curso de la plataforma Moodle, donde los estudiantes puedan acceder a dichos contenidos sin problemas en la navegación y donde el profesor-tutor puede realizar el seguimiento de su instrucción y la evaluación del aprendizaje.

Se ha contrastado el grado de satisfacción de los estudiantes del curso a través del módulo encuesta de Moodle, obteniendo resultados satisfactorios.

Esto nos confirma que las herramientas e-learning utilizadas guían a los estudiantes hacia los objetivos de aprendizaje, consiguiendo un aprendizaje más autónomo, que es el objetivo primordial de este proyecto.

7.1 Líneas futuras.

Una línea en la que se puede avanzar es la de mejorar el diseño de la actividad interactiva, incorporando mayor funcionalidad al visor de cámara termográfica, como la posibilidad de superponer la imagen térmica sobre la escena real (función imagen en imagen) para localizar mejor los patrones térmicos o permitir al usuario cambiar la paleta de colores, entre otras.

Por otro lado, el estándar SCORM 1.2 utilizado, es sin duda el más adecuado para la plataforma Moodle, se sabe que las especificaciones (2004 4ª edición y xAPI) más avanzadas, tanto Moodle, como otras plataformas LCMS, todavía no dan soporte para ellas de forma nativa (ver apéndice A apartado A.7). A pesar de ello, no hay que perder de vista la evolución de los entornos de aprendizaje virtuales, porque en un futuro próximo sería conveniente migrar los objetos de aprendizaje desarrollados bajo ese estándar, de forma que también pueda accederse a ellos desde plataformas que soportan los protocolos de comunicación con LRS (ver Apéndice A apartado A.6).

Apéndice A. Especificaciones, estándares y modelos de referencia e-learning.

Las áreas que se abordan en la estandarización son tres principalmente: La interfaz de comunicaciones (entorno de ejecución –Run Time Enviroment-RTE), la utilización de metadatos y el empaquetamiento de OA. Información más detallada en [30].

A.1 ADL.

Programa formado por el departamento de Defensa de Estados Unidos y la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca con el objetivo de proporcionar formación de calidad, según sus necesidades. ADL se ha centrado desde un principio en el aprendizaje sobre la Web. Actualmente es el modelo más utilizado en la industria y que cuenta con mayor cantidad de herramientas que lo soportan. Sus modelos de referencia se apoyan en especificaciones desarrolladas sobre todo, por las otras organizaciones descritas en este apartado. Lo que consigue ADL es integrar y adaptar para que trabajen juntas esas especificaciones en un modelo conjunto de implementación.

Principales aportaciones.

- **Sharable Content Object Reference Model (SCORM)**: son estándares "de facto" e-learning más extendidos actualmente, en sus versiones: SCORM 1.2 [31] y 2004 (3ª y 4ª ediciones). Implementaciones de estos modelos, las podemos encontrar en la mayoría de LMS/LCMS.
- Está revisando sus especificaciones y orientando sus esfuerzos hacia xAPI [32] y CMI5 [33], dado que el modelo SCORM no puede adaptarse a nuevas experiencias formativas generadas por los nuevos avances tecnológicos.

Especificación SCORM.

Se detallan en esta especificación:

- El modelo de agregación de contenidos (CAM): sobre la elaboración, etiquetado y empaquetado de los contenidos de aprendizaje.
- RTE: Requerimientos para la ejecución de los contenidos, su comunicación, seguimiento, transferencia de datos y gestión de errores con el LCMS (ver Figura A.1). El cual consta a su vez de:
    - Gestión del Entorno de Ejecución (lanzador "l*aunch*").
    - API: La comunicación entre el LMS y el SCO hay que "programarla" en el SCO utilizando las funciones de la API (basadas en la "*ECMAScript API for Content to Runtime Services Communication*").
    - Modelo de datos (basado en el Computer Managed Instruction Data Model -AICC CMI Data Model-).

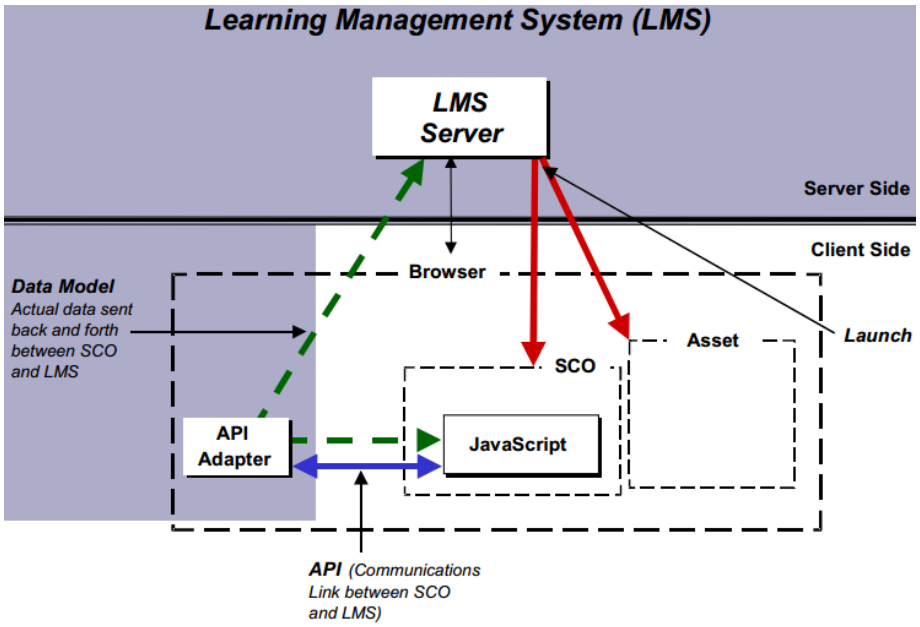


Figura A.1 RTE SCORM 1.2. Fuente: ADL.

A.2 AICC.

Fue el primer organismo con normas para el intercambio de cursos de enseñanza asistida por ordenador, comenzando sus actividades en 1992. Sus aportaciones han sido durante años bien acogidas por las organizaciones de estándares e implementadas por los fabricantes. Sin embargo, en 2014 sus esfuerzos por continuar no se vieron recompensados y la organización ha pasado a “mejor vida”. Por fortuna, toda su herencia ha quedado en manos de ADL e IMS, organizaciones con las que colaboraba.

Principales aportaciones.

- Entorno de ejecución (RTE) basado en: HACP (HTTP-based AICC/Computer Managed Instruction Protocol) y el modelo de datos AICC-CMI:
    - **AICC-HACP**, es la API basada en la Web, que proporciona un conjunto de normas para el intercambio de contenidos entre LMS y para la gestión y el seguimiento de los resultados de aprendizaje. Su principal fortaleza frente al formato SCORM de ADL es su capacidad de permitir interoperar a los LMS con cursos o recursos de aprendizaje alojados en servidores externos (resuelve el problema denominado “cross-domain o cross-origin” donde los dominios de LMS y recurso de aprendizaje no coinciden).
    - **AICC-CMI Modelo de datos**. Define un vocabulario o lenguaje formal en el que se basa la comunicación entre los OA y el LMS. El propósito era el de establecer un modelo de datos común para asegurar que la información sobre el OA pueda ser seguida por diferentes LMS compatibles. Si, por ejemplo, se determina que seguir la puntuación de un alumno es un requerimiento del

sistema, entonces es necesario establecer una vía común para el OA para informar al LMS de las puntuaciones. Si los OA usan su propio sistema de puntuaciones, los sistemas de aprendizaje no sabrían como recibir, almacenar o procesar esta información.

- **AICC-CMI5** (especificación aún sin completar) que puede convertirse en el estándar de futuro para la interoperabilidad entre sistemas LMS, sus trabajos no han tenido continuidad y han pasado el testigo a la organización ADL.

A.3 IMS Global Learning Consortium.

Es una organización sin ánimo de lucro de la que forman parte universidades, organizaciones líderes en el uso de las nuevas tecnologías para el proceso de enseñanza-aprendizaje (Blackboard, WebCT, Moodle,…) y esponsorizada por la industria (Microsoft, Samsung, McGraw-Hill,…). Al igual que ADL sus trabajos han ido enfocados al desarrollo de especificaciones que promueven la creación de productos y servicios reales. De hecho, muchas de sus especificaciones se han convertido en estándares y han sido ampliamente adoptadas e implementadas tanto en los LMS como en el diseño y creación de OA.

Principales aportaciones.

- **IMS Learning Tools Interoperability (IMS LTI)**: Interoperabilidad entre herramientas de aprendizaje.
- **IMS Question & Test Interoperability (IMS QTI)**: Especificación de Interoperabilidad de Preguntas y Pruebas. Representa el gran esfuerzo de estandarización utilizando el formato de representación de información XML, de las preguntas tipo test con sus resultados, estructura de cuestionarios y sus puntuaciones para que todos los repositorios de exámenes de autoevaluación de los LMS se puedan compartir, gracias a disponer de herramientas de exportar/importar que cumplen con este estándar.
- **IMS Content Packaging (IMS CP)**: Empaquetado de Contenidos. Es una especificación para agregación de contenidos (recursos y objetos de aprendizaje) formando parte de unidades didácticas de contenido mayores. Fue adoptada e integrada en el modelo SCORM.
- **IMS Common Cartridge (IMS CC)** [34]. Surge en competencia con SCORM pero diseñado con una arquitectura (no implementa RTE, la funcionalidad la deja en manos del LMS) que le proporciona la particularidad de que un paquete de contenidos educativos IMS CC podría albergar un SCORM, mientras que al revés no. Esto es debido a que al importar en el LMS un paquete IMS CC los contenidos del paquete se convierten en actividades/recursos nativos-propios del LMS dejando a este último la gestión de toda la actividad del usuario sobre el paquete. Podría convertirse en el formato estándar que permite importar/exportar cursos “completos” entre LMS. Sin embargo, la

dependencia con los LMS ha hecho que no se haya extendido mucho su uso por la dificultad de los LMS a soportar esta nueva especificación en favor de SCORM ya muy implantada.

A.4 IEEE LTSC, perteneciente al Institute of Electrical and Electronic Engineers.

Este comité de estandarización, cubre prácticamente todos los aspectos del aprendizaje basado en ordenador. Su misión principal es desarrollar estándares técnicos, prácticas recomendadas y guías para componentes software, herramientas, tecnologías y métodos de diseño que faciliten el desarrollo, implantación, mantenimiento e interoperabilidad de entornos virtuales de aprendizaje. Estos estándares posteriormente son recogidos como normas ISO.

Los documentos IEEE son la expresión en forma de estándar de los trabajos de todas las organizaciones aquí descritas y otras muchas que centran sus esfuerzos en las tecnologías del aprendizaje.

Principales aportaciones.

- **IEEE 1484.12 Learning Object Metadata (LOM Metadata)**. Define un esquema conceptual de datos en formato XML, que permite describir objetos de aprendizaje. Cumplir con el estándar al crear los OA, facilitará la búsqueda, evaluación, adquisición y utilización de los mismos.
    - LOM-ES (Norma UNE-71361:2010 de AENOR), perfil de aplicación disponible en español.
- **IEEE 1484.11.1 y IEEE 1484.11.2** son los dos estándares que recogen y perfeccionan el RTE propuesto por AICC:
    - "Standard for Learning Technology -Data Model for Content Object Communication". Modelo de datos.
    - "Standard for Learning Technology -ECMAScript Application Programming Interface for Content to Runtime Services Communication." API.

A.5 DCMI.

Es un foro abierto dedicado al desarrollo de estándares de metadatos de propósito general enfocado principalmente a la localización y catalogación de recursos en la Web.

Principales aportaciones.

- **Dublin Core Metadata Element Set**. Es una especificación de metadatos para cualquier documento accesible a través de Internet, es decir, no está específicamente diseñado para OA. Es una versión más compacta y reducida del estándar LOM, de hecho es un subconjunto del mismo, reduciendo sustancialmente el número de categorías y campos del modelo de datos.

A.6 Estado de la cuestión.

Los estándares e-learning nacieron pensados para el auto-aprendizaje basado en ordenador con el soporte de las tecnologías Web. Hoy día el acceso a "experiencias de aprendizaje" (implica extender el concepto de objeto de aprendizaje a cualquier actividad formativa) para cualquier persona va más allá, por lo que las especificaciones ampliamente implantadas como SCORM se están viendo superadas por la incorporación de los dispositivos móviles. Además de otros problemas como:

- No disponer de mecanismos de seguridad, autenticación y de distribución de contenidos segura de forma nativa.
- No están pensados para un funcionamiento offline.
- En muchos casos no es posible la distribución de contenidos *cross-domain*.

Estándar	Publicado	Amplia implantación	RTE	Empaquetado	Metadatos	Soporta control del flujo en las actividades	Opera Cross-Domain
AICC - HACP	Feb 1998	Si	Si	Si	No	No	Si
SCORM 1.2	Oct 2001	Si	Si	Si	Si	Básico	No
SCORM 2004 2nd Edition	Jul 2004	Si	Si	Si	Si	Si	No
SCORM 2004 3rd Edition	Oct 2006	Si	Si	Si	Si	Si	No
SCORM 2004 4th Edition	Mar 2009	Si	Si	Si	Si	Si	No
IMS Common Cartridge	Oct 2008	No	No	Si	Si	No	Si
IMS LTI	Mayo 2010	En LMS del entorno académico	Si	No	No	No	Si
Experience API –xAPI- (o Tin Can API)	Abril, 2013	Todavía No	En parte	En parte	No	No	Si
AICC CMI-5	No todavía	No	Si	Si	Si	No	Si

Tabla A.1. Evolución de los estándares e-learning más relevantes. Fuente: http://scorm.com/scorm-explained/business-of-scorm/scorm-versions/

Esto ha provocado el impulso de nuevas especificaciones que aporten soluciones a todos estos inconvenientes. En ese camino están:

- **xAPI**: cuya filosofía es "podemos aprender en cualquier momento, medio o lugar" y todas las experiencias de aprendizaje se registrarán

en un LRS (Learning Record Store), que puede existir dentro de un LMS como Moodle, o independiente de cualquier plataforma, permitiendo el seguimiento de actividades a través de distintos dispositivos, estén o no conectados a Internet.

- **CMI-5**: basado en xAPI, aparece para completarlo (como podemos ver en Tabla A.1) y juntos xAPI+CMI-5, convertirse en la "siguiente generación SCORM".

El propósito general de xAPI es almacenar y proporcionar acceso a los datos de las experiencias de aprendizaje. La interfaz xAPI permite el seguimiento del aprendizaje, incluyendo los datos de actividades tradicionales sobre LMS, como las puntuaciones parciales o finales de tareas, cuestionarios, paquetes SCORM, etc. (va a existir "cierta" compatibilidad hacia atrás [35]) y también puede usarse para registrar otros datos de las acciones de los estudiantes, como pueden ser la lectura de un artículo en Internet, ver un vídeotutorial, colaborar en un blog, utilizar un simulador, participar en un foro o haber realizado cualquier otra tarea incluso desde dispositivos móviles (que pueden no estar siempre conectados).

Dicho de otra forma, las "experiencias de aprendizaje" extienden el concepto de objeto de aprendizaje que se queda encorsetado dentro de las actividades, unidades didácticas o cursos de un LMS, a cualquier actividad formativa realizada por un usuario en cualquier contexto de aprendizaje independientemente de estar conectado o no a las plataformas LMS.

En este nuevo escenario del e-learning aparece el elemento indispensable para llevar el registro de toda esta actividad formativa de los usuarios, el LRS que va ser el repositorio que nos permite identificar quién y cómo ha realizado una actividad. El API define un protocolo de comunicación REST ("*Representational State Transfer*") para consultar, recibir y almacenar los "*statements*" (declaraciones) dentro del LRS.

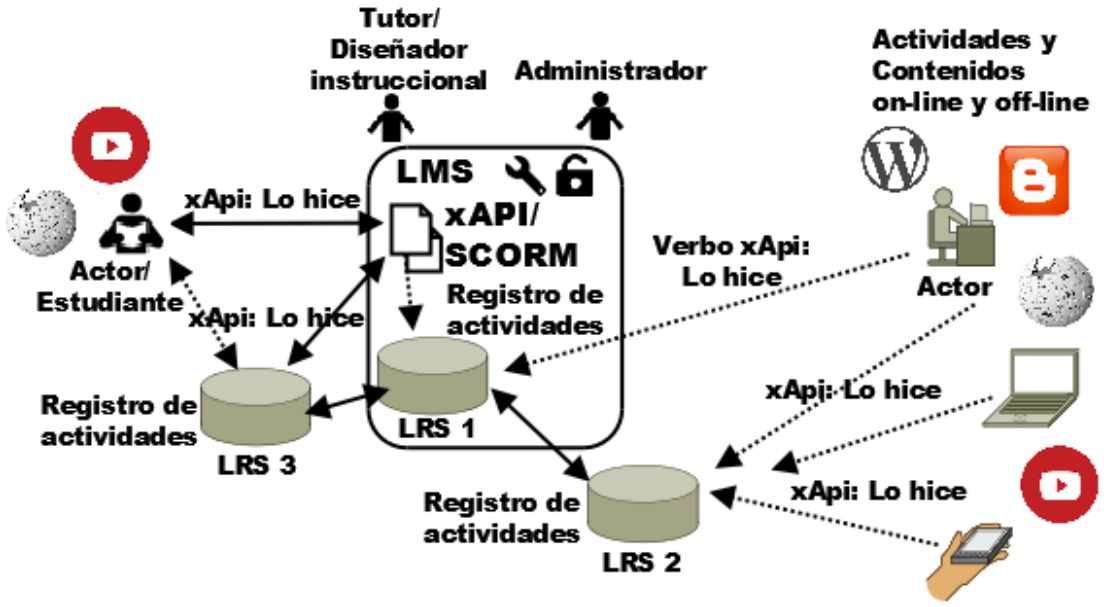


Figura A.2. Nuevo escenario en los entornos de aprendizaje virtual.

A.7 Estándares e-learning y las plataformas LCMS.

En cuanto a los esfuerzos que hacen las plataformas LCMS por cumplir con las especificaciones es muy variado, lo cual no es extraño, dada la gran diversidad de plataformas que existen tanto de software libre como propietario (ver Tabla A.2).

En el caso de Moodle que es la que vamos a utilizar para integrar el objeto de aprendizaje, nos expone en su documentación [36] que soporta de forma nativa la especificación SCORM 1.2 de forma completa pero no SCORM 2004. Ahora bien, si que se ha de señalar que existe la posibilidad de compatibilidad completa, incluso con la nueva especificación xAPI, mediante la instalación de complemento externo y registro en una “nube” comercial [37].

LCMS	AICC/ SCORM 1.2	SCORM 2004	IMS CC	xAPI
Moodle	√	**x**	√	**x**
Docebo	√	√	**x**	√
Claroline	√	√	√	**x**
Litmos	√	√	**x**	√
Blackboard	√	√	√	√

Tabla A.2. Compatibilidad con estándares de plataformas LCMS representativas.

Apéndice B. HTML5: evolución de HTML.

Son complejos los trabajos de estandarización de tecnologías en constante evolución como sucede en este caso. De ahí que la especificación HTML5 [38] sea considerada un "estándar vivo" ("*living standard*") por la otra gran comunidad que desarrolla iniciativas y recomendaciones para las tecnologías Web: WHATWG (*Web Hypertext Application Technology Working Group)*.

HTML5 no hace otra cosa, que recoger y establecer una serie de nuevos elementos y atributos que reflejan el uso típico de los sitios web modernos. Por ejemplo, de todos es sabido, la cantidad de videos que se reproducen en la web de ahí que HTML5 ya haya contemplado que los navegadores soporten de forma nativa el procesado de video, sin necesidad de recurrir a complementos de terceros, a través del elemento con etiqueta <video>.

B.1 HTML5 hacia la web semántica.

Un avance muy significativo hacia la web semántica son los elementos y formatos nuevos que permiten describir cuál es el significado del contenido. No tienen especial impacto en la visualización del contenido, pero si proporcionan mayor coherencia y facilidad de entender la estructura de la web tanto a los usuarios y desarrolladores como a los buscadores. Ejemplos de ello son:

- Nuevos elementos, aunque en su manejo muy similares a las etiquetas comúnmente empleadas como y , que nos aportan una forma más refinada de estructurar el documento web sin hacer un uso indiscriminado de elementos contenedores como DIV:
    - <nav>: bloque de navegación del sitio web.
    - <aside>: barra lateral del sitio web.
    - <footer>: pie del documento web o barra institucional (autor o propietario, copyright, etc.).
    - Etc.
- Posibilidad de incluir metadatos (ficheros RDF/OWL -*Resource Description Framework/ Web Ontology Language*-, atributos RDFa ver Listado B.1,…). Los buscadores podrán indexar e interpretar esta meta información para no buscar simplemente apariciones de palabras en el texto de la página.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
        <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
        <title>Ejemplo de inserción de metadatos RDFa en un documento Web</title>
</head>
<body>
<p xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  about="https://en.wikipedia.org/wiki/RDFa">
 Hemos utilizado como referencia bibliográfica el documento Web
 <em property="dc:title">RDFa</em>,
 <span property="dc:creator">de la Wikipedia</span>
 donde nos explica como poder insertar metadatos en formato Dublin Core, en etiquetas XML de un
documento XHTML. Hemos consultado la página en
 <span property="dc:date" content="10-10-2015">Octubre del 2015</span>.
</p>
</body>
</html>
```

Listado B.1. Ejemplo de inserción de metadatos RDFa en un documento Web.

B.2 Mayor énfasis en el uso de hojas de estilo CSS para el formato.

Con HTML5 se desaprueba el uso de elementos antiguos orientados hacia el formato del contenido (<font>, <big>, , etc.). Han quedado obsoletos y son muy fáciles de sustituir por las correspondientes reglas en las hojas de estilo CSS [39] lo que redunda en un buen diseño separando presentación de contenido.

Código fuente	Vista en el navegador

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<style>
/*Este código será incluido en un fichero con extensión CSS que estará referenciado antes del cuerpo del documento HTML*/
/*En los navegadores actuales el tamaño de fuente predefinido para el texto es de 16px = 1em*/
h1 {
font-size: 2.5em; /* 40px/16=2.5em */
}
h2 {
font-size: 1.875em; /* 30px/16=1.875em */
}
/* clase CSS para dar formato a párrafos con tamaño de fuente más grande*/
p.fuenteGrande1 {
font-size: 1.125em; /* 18px/16=1.125em */
}
</style>
</head>
<body>
 Este es el formato para Título 1
 Este es el formato para Título 2
 Párrafo con tamaño de fuente normal (16px en los navegadores).
 Párrafo con tamaño de fuente más grande.
	Este es el formato para Título 1
	Este es el formato para Título 2
	Párrafo con tamaño de fuente normal (16px en los navegadores).
	Párrafo con tamaño de fuente más grande.
	El elemento "big" no tiene soporte en HTML5. No se debe utilizar puesto que para dar formato en diseño Web, el uso de clases en las hojas de estilo CSS da una mayor consistencia y adaptabilidad a las presentaciones.

```
<p><big>El elemento "big" no tiene soporte en HTML5. No se debe utilizar puesto que para dar formato en diseño Web, el uso de clases en las hojas de estilo CSS da una mayor consistencia y adaptabilidad a las presentaciones.</big></p>
</body>
</html>
```

Listado B.2. Sencillo ejemplo de uso de reglas CSS recomendadas.

B.3 Soporte nativo de video, audio y gráficos en los navegadores.

Esta idea tecnológicamente complicada de implementar sobre los navegadores en los comienzos del acceso a contenidos multimedia en la web, se fue solucionando mediante “parches” (*plugins*) de terceros en su mayoría software propietario (Adobe Flash [40], H.264/MPEG-4 AVC [41],…).

La forma de implementación a través de software propietario va en contra de la “filosofía abierta” favorecida por las organizaciones sin ánimo de lucro como Internet Engineering Task Force (IETF) y la ya mencionada W3C. Incluso Apple (famosa por sus plataformas cerradas, es decir, siguiendo un camino divergente) a través de la carta abierta del que fue su carismático director ejecutivo Steve Jobs [42] apuesta por estándares abiertos para las tecnologías de Internet.

Elementos como <video>, <audio> y <canvas> acercan a todos los navegadores que los soportan hacia la no utilización de complementos (“*plugins*”) de terceros además de favorecer los formatos abiertos para el procesado de video (THEORA [43] y WEBM [44]), audio y gráficos (API javascript <canvas>).

Figura B.1 Captura de la ventana administrador de plugins del navegador Mozilla Firefox.

La amplia aceptación e implantación de HTML5 en los navegadores web, hace que cada vez se está más próximo de ser innecesario, la instalación y configuración del componente que se puede ver en la captura de la Figura B1 y otros. A cambio, en el desarrollo de las páginas web para que los navegadores puedan reproducir video se deberá incluir código como el que podemos ver en el Listado B.3, siendo el propio navegador el que muestre el formato más adecuado. Lo que se obtiene además, es una mayor

compatibilidad con diferentes formatos e incluso se resuelven problemas de rendimiento y seguridad al estar soportado de forma nativa sin necesidad de software externo.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
        <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
        <title>HTML5 para reproducción de video en un documento Web</title>
</head>
<body>
    <section id=”reproductor”>
        <video id="medio" width="640" height="360" controls autoplay preload>
            <source src="mi_videoComprimido.ogg" type=’video/ogg; codecs="theora, vorbis"’>
            <source src="mi_videoComprimido.mp4" type=’video/mp4; codecs="avc1, mp4a"’>
            <source src="mi_videoComprimido.webm" type=’video/webm; codecs="vp8, vorbis"’>
              Tu navegador no implementa el elemento <code>video</code>.
        </video>
    </section>
</body>
```

Listado B.3. Uso del elemento <video> HTML5.

Apéndice C. Beneficios con la utilización de CSS.

- Mayor facilidad para modificar el estilo de la aplicación. Pueden definirse los mismos estilos y formatos para muchos elementos con un sólo selector [45] CSS.
- Código HTML más claro, sencillo, más compacto y fácil de mantener, al estar libre de etiquetas de presentación (estilos, formatos, fuentes,…) y estilos en línea (incrustados en los elementos HTML) ya desde hace años nada recomendados.
- Se reducen los tiempos de carga de la aplicación. Las hojas de estilo asociadas a la aplicación sólo se descargan en el navegador la primera vez que se necesitan. A partir de ahí, cada vez que la aplicación requiere una hoja de estilo que ya haya sido utilizada, el navegador la busca en su caché en vez de descargarla de la red.
- Permite adaptar fácilmente la presentación de la aplicación para que se pueda trabajar con ella en medios con diferentes resoluciones de pantalla. CSS3 proporciona mayor compatibilidad con diferentes dispositivos a través de las "*media querys*" [46] que permiten definir diferentes estilos según el tipo de dispositivo sobre el que se visualice.

Apéndice D. Integración de la biblioteca jQuery en una aplicación Web.

Para integrar la biblioteca, se puede elegir entre dos soluciones:

- Utilizando redes de servidores CDN (*Content Delivery Network*).
- Integrada de forma local en el propio servidor donde se encuentra el LMS que gestiona los recursos de aprendizaje.

D.1 Aprovechando una CDN.

Como su nombre indica una CDN es una red de servidores que almacenan objetos para descargar. Al incluir jQuery a través de una CDN en nuestra aplicación, el cliente la descargará desde un tercero en lugar de desde nuestro propio servidor donde está alojado el LMS. Esto va a significar un ahorro de ancho de banda sobre todo si esperamos multitud de accesos al curso donde se encuentra el recurso de aprendizaje.

Este servicio nos proporciona otras ventajas además:

- Mejor gestión de la caché del lado cliente. Esta cuestión se ilustra con el sencillo ejemplo a continuación: un usuario ha navegado por tres sitios que requieren jQuery: dos de ellos lo cargan de forma local y el tercero lo hace desde el CDN de Google. Tras la sesión de navegación, el usuario tiene 3 copias locales de la biblioteca, dos de servidores diferentes y una proveniente de Google. Si el usuario accede al LMS y comienza con la actividad de aprendizaje que también sirve jQuery desde el mismo CDN, el navegador detecta que la referencia ya ha sido “cacheada”, omite la petición y hace uso de la versión guardada en el equipo del usuario. Esto si supone una ventaja importante en cuanto a rendimiento en el lado cliente: todo lo que sea ahorrar peticiones supone mejores tiempos de carga para el usuario.
- Actualizaciones: asegurar que siempre se dispone de la última versión de cierta biblioteca,… como en nuestro caso jQuery.
- Teniendo en cuenta que el objeto de aprendizaje se integra en un curso dentro de un LMS a través del cual queremos llegar al mayor número posible de estudiantes incluido fuera de nuestras fronteras, servir jQuery a través de una CDN es útil cuando el tráfico del recurso Web también es internacional y se quiere llegar a dicho público de forma óptima.

En contrapartida tenemos que:

- Los usuarios que acceden al LMS desde la propia red interna notarán cierta ralentización al cargar la aplicación la primera vez que se accede. Luego esto no es un problema porque va a quedar en la “caché” del navegador.

- Existe el riesgo de que el recurso en la CDN no esté disponible (caen los servidores). En este caso, tratándose de Google, es muy improbable que esto suceda (recordad si no, lo útil que ha sido a veces en nuestras propias redes de trabajo internas los servidores DNS 8.8.8.8 cuando los DNS de nuestra intranet han fallado). De todas formas, esto tiene fácil solución simplemente incluyendo en el código HTML las siguientes líneas:

```
<!-- Se carga la biblioteca jQuery desde la CDN de Google por defecto; pero si no está disponible entonces se carga desde nuestro propio servidor-->

<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/2.1.3/jquery.min.js"></script>

 <script>window.jQuery || document.write(unescape('%3Cscript src="/scripts/jquery-2.1.4.min.js"%3E%3C/script%3E'))</script>
```

Apéndice E: Herramientas de autoría para la creación de paquetes de contenido SCORM e IMS.

- Proyecto RELOAD [26]: es una herramienta para crear y editar paquetes e insertar metadatos conforme a las especificaciones de ADL e IMS. Poco intuitiva, no es una herramienta de autoría propiamente dicha. Esto nos obliga a utilizar otras herramientas para la creación de los contenidos que conformarán los recursos de los objetos de aprendizaje. Dispone de entornos de ejecución (Reload Player para SCORM 1.2 y SRTE –SCORM 2004 4th Edition Sample Run Time Enviroment [47]-), donde se puede llevar a cabo una primera evaluación del paquete de contenido diseñado de forma local, sin tener que hacer uso de la plataforma LMS.
- ExeLearning (eXe OPEN SOURCE SCORM Development Package) [27]. Es una alternativa más sencilla de utilizar (ambiente intuitivo WYSIWYG) que Integra diversidad de herramientas:
  - ✓ Para crear recursos y actividades, integrar contenidos de diversos formatos (audio, video y texto), etc.
  - ✓ Diseñar la organización (orden estático) de las actividades de aprendizaje.
  - ✓ Agregar metadatos y empaquetar el recurso con las especificaciones SCORM 1.2, SCORM 2004 o IMS-CP.
  - ✓ Utilidad de visualización local previa.

Sin embargo, se apreciaron algunos inconvenientes como: la falta de soporte para algunos elementos HTML5 como <canvas> y no implementar de forma completa el estándar de facto SCORM 2004.

Apéndice F: Ejemplo de código fuente XML del manifiesto de un paquete de contenidos SCORM 1.2.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<manifest xmlns="http://www.imsproject.org/xsd/imscp_rootv1p1p2"
xmlns:adlcp="http://www.adlnet.org/xsd/adlcp_rootv1p2"
xmlns:imsmd="http://www.imsglobal.org/xsd/imsmd_v1p2"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
identifier="termografia_v05606849421cb6db99d1"
xsi:schemaLocation="http://www.imsproject.org/xsd/imscp_rootv1p1p2
imscp_rootv1p1p2.xsd http://www.imsglobal.org/xsd/imsmd_rootv1p2p1
imsmd_rootv1p2p1.xsd http://www.adlnet.org/xsd/adlcp_rootv1p2 adlcp_rootv1p2.xsd">
<metadata>
   <schema>ADL SCORM</schema>
   <schemaversion>1.2</schemaversion>
   <adlcp:location>imslrm.xml</adlcp:location>
</metadata>
<organizations default="termografia_v05606849421cb6db99d2">
   <organization identifier="termografia_v05606849421cb6db99d2"
structure="hierarchical">
     <title>Inspección IR en el mantenimiento de un sistema eléctrico</title>
     <item identifier="ITEM-termografia_v05606849421cb6db99d5" isvisible="true"
identifierref="RES-termografia_v05606849421cb6db99d6">
       <title>Objetivos</title>
     </item>
     <item identifier="ITEM-termografia_v05606849421cb6db99e7" isvisible="true"
identifierref="RES-termografia_v05606849421cb6db99e8">
       <title>Vídeo resumen</title>
       <adlcp:prerequisites type="aicc_script">ITEM-
termografia_v05606849421cb6db99d5</adlcp:prerequisites>
     </item>
     <item identifier="ITEM-termografia_v05606849421cb6db9ae9" identifierref="RES-
termografia_v05606849421cb6db9aea" isvisible="true">
       <title>Caso práctico de análisis por termografía</title>
       <adlcp:prerequisites type="aicc_script" /> ITEM-
termografia_v05606849421cb6db99e7</adlcp:prerequisites>
     </item>
     <item identifier="ITEM-termografia_v05606849421cb6db9aeb" isvisible="true"
identifierref="RES-termografia_v05606849421cb6db9aec">
       <title>Cuestionario</title>
       <adlcp:prerequisites type="aicc_script">ITEM-
termografia_v05606849421cb6db9ae9</adlcp:prerequisites>
       <adlcp:maxtimeallowed>100</adlcp:maxtimeallowed>
       <adlcp:timelimitaction>exit,message</adlcp:timelimitaction>
       <adlcp:masteryscore>100</adlcp:masteryscore>
     </item>
   </organization>
</organizations>
<resources>
   <resource identifier="RES-termografia_v05606849421cb6db99d6" type="webcontent"
adlcp:scormtype="sco" href="objetivos.html">
     <file href="objetivos.html" />
     <dependency identifierref="COMMON_FILES" />
   </resource>
   <resource identifier="RES-termografia_v05606849421cb6db99e8" type="webcontent"
adlcp:scormtype="sco" href="vdeo_resumen.html">
```

```
<file href="vdeo_resumen.html" />
<file href="exe_html5.js" />
<file href="Termografia_TEMA_12-_secci_nB_electrico_.webm" />
<file href="common.js" />
<file href="exe_media.css" />
<file href="exe_media.js" />
<file href="exe_media_background.png" />
<file href="exe_media_bigplay.png" />
<file href="exe_media_bigplay.svg" />
```

Listado F.1. Fragmento del documento imsmanifest.xml manifiesto de un paquete de contenidos SCORM 1.2.

Apéndice G: Ejemplo de código fuente XML del fichero de metadatos LOM-ES de un paquete de contenidos.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<lom xsi:schemaLocation="http://ltsc.ieee.org/xsd/LOM lomCustom.xsd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns="http://ltsc.ieee.org/xsd/LOM">
<general uniqueElementName="general">
    <identifier>
    <catalog uniqueElementName="catalog">Tecnología Electrónica: TEISA
    (UNICAN)</catalog>
    <entry uniqueElementName="entry">2779f1e5-fa8d-48ea-b11d-5c72e581f4c3</entry>
    </identifier>
    <title uniqueElementName="title">
    <string language="es">Inspección IR en el mantenimiento de un sistema
    eléctrico</string></title><language>es</language>
    <description><string language="es">El alumnado en esta actividad, después de una
    introducción teórica al mantenimiento eléctrico (descripción de anomalías, técnicas de
    inspección que se deben aplicar y evaluación de los fallos) respaldada por un video-
    presentación, se encontrará en una situación de trabajo como termógrafo. El objeto de
    aprendizaje ejecutará una aplicación que emula un visor de cámara termográfica, sobre
    el cual el usuario podrá interactuar.</string>
    </description>
    <aggregationLevel uniqueElementName="aggregationLevel">
    <source uniqueElementName="source">LOM-ESv1.0</source>
    <value uniqueElementName="value">2</value></aggregationLevel>
</general>
<lifeCycle uniqueElementName="lifeCycle">
    <contribute><role uniqueElementName="role"><source
    uniqueElementName="source">LOM-ESv1.0</source><value
    uniqueElementName="value">author</value>
    </role>
    <entity>BEGIN:VCARD VERSION:3.0 FN:Luis Rotaeche Zubillaga
    EMAIL;TYPE=INTERNET: ORG: END:VCARD</entity>
    <date uniqueElementName="date"><dateTime uniqueElementName="dateTime">2015-
    12-01T00:00:00.00+01:00</dateTime>
    <description><string language="es">Fecha de creación de los
    metadatos</string></description></date>
    </contribute>
    <contribute><role uniqueElementName="role"><source
    uniqueElementName="source">LOM-ESv1.0</source><value
    uniqueElementName="value">content provider</value>
    </role>
    <entity>BEGIN:VCARD VERSION:3.0 FN:Francisco Madruga Saavedra
    EMAIL;TYPE=INTERNET: ORG:Tecnología Electrónica: TEISA (UNICAN)
    END:VCARD</entity>
```

```
    <date uniqueElementName="date"><dateTime uniqueElementName="dateTime">2015-
    12-11T09:23:58.00+01:00</dateTime><description><string language="es">Materiales
    curso termografía por IR</string></description></date>

    </contribute>

</lifeCycle>

<metaMetadata uniqueElementName="metaMetadata">

    <contribute><role uniqueElementName="role"><source
    uniqueElementName="source">LOM-ESv1.0</source><value
    uniqueElementName="value">creator</value>

    </role>

    <entity>BEGIN:VCARD VERSION:3.0 FN:Luis Rotaeche Zubillaga
    EMAIL;TYPE=INTERNET: ORG: END:VCARD</entity>

    <date uniqueElementName="date"><dateTime uniqueElementName="dateTime">2015-
    12-01T00:00:00.00+01:00</dateTime><description><string language="es">Fecha de
    creación de los metadatos</string></description></date>

    </contribute>

    <contribute><role uniqueElementName="role"><source
    uniqueElementName="source">LOM-ESv1.0</source><value
    uniqueElementName="value">validator</value>

    </role>

    <entity>BEGIN:VCARD VERSION:3.0 FN:Francisco Madruga Saavedra
    EMAIL;TYPE=INTERNET: ORG:Tecnología Electrónica: TEISA (UNICAN)
    END:VCARD</entity>

    <date uniqueElementName="date"><dateTime uniqueElementName="dateTime">2015-
    12-01T09:18:32.00+01:00</dateTime><description><string language="es">Evaluar la
    adecuación del objeto de aprendizaje.</string></description></date>

    </contribute><metadataSchema>LOM-
    ESv1.0</metadataSchema><language>es</language>

</metaMetadata>
```

Listado G.1 Fragmento del documento imslrm.xml con los metadatos LOM-ES del paquete de contenidos.

Referencias.

[1] Moodle Statistics, «Moodle.net Courses & Content,» [En línea]. Available: https://moodle.net/stats/. [Último acceso: 2015].

[2] F. J. García Peñalvo, «GRIAL repository -Rompiendo las barreras de los LMS-,» Febrero 2012. [En línea]. Available: http://repositorio.grial.eu/handle/grial/191. [Último acceso: 2015].

[3] A. Chiappe Laverde, S. C. Y. y H. Y. Rincón Rodríguez, Toward an instructional design model based on learning objects, Springer Boston. Association for Educational Communications and Technology., 2007.

[4] R. J. Beck, «What are Learning Objects? -Learning Objects-,» Center for International Education, University of Wisconsin-Milwaukee, 2010. [En línea]. Available: http://www4.uwm.edu/cie/learning_objects.cfm?gid=56. [Último acceso: 2014].

[5] E. M. Morales Morgado, Gestión del conocimiento en sistemas «e-learning», basado en objetos de aprendizaje, cualitativa y pedagógicamente definidos, Salamanca: Universidad de Salamanca, 2010.

[6] M. P. Laguna Lozano, *Introducción al modelo de referencia SCORM,* Zaragoza: Adjuntía al Rector para innovación docente de la Universidad de Zaragoza, 2011.

[7] F. Madruga Saavedra, *Curso de termografía,* 2013.

[8] D. Barquero Ortiz, I. Olivera Viera y F. L. d. l. C. Extremadura, « INSOST- Ingeniería Sostenible,» [En línea]. Available: http://insost.es/. [Último acceso: 2015].

[9] S. Flores Larsen y M. Hongn, «Termografía infrarroja en la edificación: Aplicaciones cualitativas,» Salta, INENCO;Universidad Nacional de Salta;CONICET, 2012.

[10] S. Melgosa Revillas, I. Training Center y FLIR, «Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética.,» 2011. [En línea]. Available: http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/libros-y-guias-tecnicas.php. [Último acceso: 2015].

[11] Testo AG, Termografía, guía de bolsillo, 2012.

[12] FLIR Systems AB;Training Center, Infrared, «Acerca de nosotros: FLIR Systems AB,» 2011. [En línea]. Available: http://www.flir.es/home/. [Último acceso: 2015].

[13] W3C - World Wide Web Consortium, «HTML5; World Wide Web Consortium (W3C),» Octubre 2014. [En línea]. Available: http://www.w3.org/TR/html5/. [Último acceso: 2015].

[14] J. Nielsen, «Nielsen Norman Group,» Julio 1997. [En línea]. Available:

http://www.nngroup.com/articles/effective-use-of-style-sheets/. [Último acceso: 2011].

[15] jQuery Foundation, The, «jQuery write less, do more.,» jQuery Foundation, The, [En línea]. Available: http://api.jquery.com/. [Último acceso: 2013].

[16] W3Techs, «W3Techs is a division of Q-Success Web-based Services,» [En línea]. Available: http://w3techs.com/technologies/overview/javascript_library/all. [Último acceso: 2015].

[17] jQuery Foundation, «API Documentation: .load() - jQuery Foundation,» [En línea]. Available: http://api.jquery.com/load-event/. [Último acceso: 2013].

[18] W3C: World Wide Web Consortium, «HTML Canvas 2D Context (Proposed Recommendation): Pixel manipulation,» 2015. [En línea]. Available: http://www.w3.org/TR/2dcontext/#pixel-manipulation.

[19] IETF (Internet Engineering Task Force), «Request for Comments: 7159,» Marzo 2014. [En línea]. Available: https://tools.ietf.org/html/rfc7159. [Último acceso: 2014].

[20] Empiric Technologies, S.L., *Curso Termografía,* Santander, 2013.

[21] jQuery Foundation, «API Documentation: Mouse events - jQuery Foundation-,» [En línea]. Available: http://api.jquery.com/category/events/mouse-events/. [Último acceso: 2013].

[22] W3C, «DOM Current Status -W3C Recommendations-,» [En línea]. Available: http://www.w3.org/standards/techs/dom#w3c_all. [Último acceso: 2014].

[23] The jQuery Foundation, «.animate -jQuery-,» [En línea]. Available: http://api.jquery.com/animate/. [Último acceso: 2014].

[24] Microsoft , «Office: Convertir una presentación en un vídeo,» 2015. [En línea]. Available: https://support.office.com/es-es/article/Convertir-una-presentaci%C3%B3n-en-un-v%C3%ADdeo-c140551f-cb37-4818-b5d4-3e30815c3e83#. [Último acceso: 2015].

[25] Moodle Docs, «Moodle Docs: Herramientas para la creación de SCORM,» 2010. [En línea]. Available: https://docs.moodle.org/all/es/Herramientas_para_la_creaci%C3%B3n_de_SCORM. [Último acceso: 2013].

[26] O. Liber, B. Olivier y P. Beauvoir, «Reusable eLearning Object Authoring & Delivery (Reload Editor),» 2013. [En línea]. Available: http://www.reload.ac.uk/. [Último acceso: 2014].

[27] eXe: El nuevo eXeLearning, «eXe: OPEN SOURCE SCORM

Development Package,» 2015. [En línea]. Available: http://exelearning.net/. [Último acceso: 2014].

[28] Moodle Community, «MoodleDocs,» 2015. [En línea]. Available: https://docs.moodle.org/30/en/Main_page. [Último acceso: 2015].

[29] Moodle Community, «MoodleDocs: Actividades condicionales,» 2015. [En línea]. Available: https://docs.moodle.org/all/es/28/Actividades_condicionales. [Último acceso: 2015].

[30] INTEF (anteriormente CNICE)., «Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. Ministerio de Educación,» [En línea]. Available: http://ares.cnice.mec.es/informes/16/contenido/indice.htm. [Último acceso: Julio 2015].

[31] Advanced Distributed Learning - U.S. Government-, «SCORM 1.2 -ADL-,» [En línea]. Available: http://adlnet.gov/adl-research/scorm/scorm-1-2/. [Último acceso: 2013].

[32] Advanced Distributed Learning - U.S. Government-, «Advanced Distributed Learning -xAPI Specification-,» [En línea]. Available: http://adlnet.gov/capabilities/tla/experience-api.html. [Último acceso: 2015].

[33] Advanced Distributed Learning - U.S. Government-, «Advanced Distributed Learning -CMI-5 Working Group Meeting-,» 2015. [En línea]. Available: http://adlnet.gov/index.html%3Fp=12527.html.

[34] IMS Global Learning Consortium, Inc. Common cartridge working group, «IMS Global Learning Consortium, Inc.,» IMS Global Learning Consortium, Inc., [En línea]. Available: http://www.imsglobal.org/activity/common-cartridge. [Último acceso: 2015].

[35] Advanced Distributed Learning - U.S. Government-, «Advanced Distributed Learning -Experience API SCORM Profile-,» 2014. [En línea]. Available: http://adlnet.github.io/xAPI-SCORM-Profile/. [Último acceso: 2015].

[36] Moodle Community - MoodleDocs-, «MoodleDocs -SCORM FAQ-,» Mayo 2013. [En línea]. Available: https://docs.moodle.org/22/en/SCORM_FAQ.

[37] Rustici Software, «SCORM Cloud,» 2015. [En línea]. Available: http://scorm.com/scorm-solved/scorm-cloud-pricing/. [Último acceso: 2015].

[38] WHATWG (Web Hypertext Application Technology Working Group) community, «HTML Living Standard; WHATWG community,» [En línea]. Available: https://html.spec.whatwg.org/. [Último acceso: 2013].

[39] W3C - World Wide Web Consortium, «CSS Current Status -Completed Work- W3C,» 2015. [En línea]. Available: http://www.w3.org/standards/techs/css#completed. [Último acceso: 2013].

[40] A. S. Incorporated, «Adobe Systems Incorporated: Products,» 2015. [En línea]. Available: http://www.adobe.com/products/flashplayer/features.html. [Último acceso: 2015].

[41] L. MPEG LA, «MPEG LA The Standard for Standards: AVC/H.264,» 2009. [En línea]. Available: http://www.mpegla.com/main/programs/AVC/Pages/Intro.aspx. [Último acceso: 2015].

[42] S. Jobs, «Apple Inc.,» 2010. [En línea]. Available: http://www.apple.com/hotnews/thoughts-on-flash/. [Último acceso: 2013].

[43] The Xiph.Org Foundation, «theora.org, Xiph.Org,» 2011. [En línea]. Available: http://www.theora.org/. [Último acceso: 2015].

[44] The WebM Project, «WebM -Wiki-,» 2015. [En línea]. Available: http://wiki.webmproject.org/. [Último acceso: 2015].

[45] W3C - World Wide Web Consortium, «Selectors CSS 2.1: W3C Recommendation.,» 2011. [En línea]. Available: http://www.w3.org/TR/CSS21/selector.html%23id-selectors. [Último acceso: 2013].

[46] W3C - World Wide Web Consortium, «W3C Recommendation -Media Queries-,» junio 2012. [En línea]. Available: http://www.w3.org/TR/2012/REC-css3-mediaqueries-20120619/. [Último acceso: 2014].

[47] ADL (Advanced Distributed Learning), «SCORM 2004 (4th Edition),» [En línea]. Available: http://adlnet.gov/adl-research/scorm/scorm-2004-4th-edition/. [Último acceso: 2014].

[48] R. Cobbold, Transducers for Biomedical Measurements: Principles and Applications, John Wiley & Sons, 1974.

[49] Amperis Products S.L, «Amperis,» 2007. [En línea]. Available: http://www.amperis.com/productos/camaras-termograficas/. [Último acceso: 2015].

[50] S. Maris MASSA, Objetos de aprendizaje: Metodología de desarrollo y evaluación de la calidad, La Plata, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata -Facultad de Informática-, 2012.