

Resumen

El proyecto “Contribución al desarrollo de la Multimedia de física de reactores nucleares” se enmarca dentro del programa de docencia de la Cyber Learning Platform for Nuclear Education and Training (Cyber-plataforma de enseñanza para la educación y en entrenamiento Nuclear) de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA).

El proyecto se ha realizado a petición de la IAEA para actualizar e implementar la Multimedia de física de reactores nucleares en su nueva plataforma online para así maximizar el alcance en cuanto a docencia nuclear. El proyecto también ha estado impulsador por la European Nuclear Education Network (ENEN). A su vez, se han introducido cambios y mejoras sugeridos por el Profesor Catedrático Javier Dies, director del proyecto y autor de la Multimedia.

En primer lugar, se ha realizado un análisis de la funcionalidad de la Multimedia y de su código fuente. Esta parte del proyecto incluye la descripción del funcionamiento de la Multimedia, el estudio del estado del código fuente antes de su compilación y el depurado de los errores en el código fuente para poder obtener la versión compilada del programa actual de la Multimedia antes de proceder a cualquier cambio o actualización.

La siguiente tarea desarrollada ha sido la de actualizar los datos de las tablas y gráficos del primer capítulo de la Multimedia a partir de los datos extraídos de las publicaciones anuales de las principales instituciones internacionales. También se han introducido cambios y mejoras sugeridas por el director del proyecto Javier Dies.

Seguidamente, se han implementado unos cuestionarios de autoevaluación para que el estudiante compruebe sus conocimientos. Asimismo, se ha dado soporte para la traducción al chino de todos los contenidos de la Multimedia a un alumno de Máster, ayudando a su familiarización con la Multimedia y el programa Adobe Flash Professional.

Finalmente se ha realizado un video explicativo para complementar la explicación del contenido de la Multimedia.

De este modo se ha obtenido la nueva versión totalmente funcional sin errores de código y que permitirá añadir nuevas características y nueva información al haber sido depurado. Esta nueva versión de la Multimedia de física de reactores nucleares se ha llamado 5.0.

La Multimedia de física de reactores nucleares ha sido distribuida a más de 88 países a través de la IAEA-CLP

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. GLOSARIO	5
2. PREFACIO	7
2.2. Origen del proyecto.....	7
2.3. Motivación	7
2.4. Requisitos previos.....	8
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1. Objetivos y alcance del proyecto.....	9
4. METODOLOGÍA	11
5. MULTIMEDIA DE FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES	13
5.1. Descripción y objetivo de la Multimedia de física de reactores nucleares ...	13
5.2. Análisis del programa	15
5.2.1. Adobe Flash.....	15
5.2.2. Estructura y funcionamiento del programa.....	16
5.2.3. Estructura del código fuente	17
6. ANÁLISIS DEL CÓDIGO FUENTE	19
6.1. Comprobación del código fuente.....	19
6.2. Depuración del código fuente	19
6.2.1. Arranque del programa. Mensaje “Check Availability”	19
6.2.2. Arranque del programa. Carga del archivo “Multimedia.exe”	20
6.2.3. Cambios de las rutas de los archivos en la carga.....	21
6.2.4. Otros cambios derivados de la nueva estructura.....	22
7. ACTUALIZACIÓN DEL CONTENIDO DE LA MULTIMEDIA	31
7.1. Análisis de la versión base	31
7.2. Actualización de los datos el primer capítulo	31
7.2.1. Relación de actualizaciones realizadas.....	31
7.2.2. Incorporación de nuevas diapositivas	33
8. IMPLEMENTACIÓN DE CUESTIONARIOS DE AUTOEVALUACIÓN	35
8.1. Descripción y contenido de los cuestionarios de autoevaluación	35
8.2. Articulate Studio	36

8.3. Implementación de los cuestionarios en la Multimedia	37
9. INCORPORACIÓN DE LA VERSIÓN CHINA DE LA MULTIMEDIA	40
9.1. Traducción de la Multimedia al chino	40
9.2. Implementación de la traducción en chino a la Multimedia	40
9.3. Depurado errores versión en chino	41
10. ANÁLISIS FINAL DE LA NUEVA VERSIÓN DE LA MULTIMEDIA DE FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES	43
10.1. Estructura de los archivos de la versión 5.0	43
10.2. Características de la nueva versión	43
10.2.1. Actualización del primer capítulo	43
10.2.2. Cuestionarios de autoevaluación	44
10.2.3. Traducción de la Multimedia al chino	44
10.2.4. Video explicativo del contenido de la Multimedia	45
10.3. Funcionamiento de la versión 5.0	46
CONCLUSIONES	49
Propuestas de futuro de la Multimedia.....	50
PRESUPUESTO	53
IMPACTO AMBIENTAL	57
AGRADECIMIENTOS	59
BIBLIOGRAFIA	61
A. CONCEPTOS BÁSICOS	63
A.1 Energía nuclear y radiactividad	63
A.2 Descripción de una central nuclear PWR	65
A.2.1 Descripción de la central.....	66
A.2.2 Modos de operación	67
A.3 Ciclo del combustible nuclear.....	67
A.3.1 Fabricación del Elemento de Combustible	68
A.3.2 Explotación del combustible en el reactor.....	69
A.3.3 Gestión final del Elemento de Combustible	69
A.4 Tipos de Elementos de Combustible en las centrales nucleares PWR españolas.....	70

1. Glosario

.bat	Archivo batch, archivo de procesamiento por lotes
.exe	Archivo ejecutable
.fla	Archivo Flash
.swf	Archibo Shockwave Flash
ANAV	Associació Nuclear Ascó-Vandellós
ATC	Almacen Temporal Centralizado
CLP4NET	Cyber Learning Platform for Nuclear Education and Training
DFIS	Departament de Física
EMINE	European Master in Innovation in Nuclear Energy
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos
ETSEIB	Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
KEPCO	Korean Electric Power Company
NERG	Nuclear Engineering Research Group
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PRIS	Power Reactor Information System
UPC	Universitat Politecnica de Catalunya

2. Prefacio

El proyecto final de carrera “Contribución al desarrollo de la Multimedia de Física de Reactores Nucleares” se enmarca dentro de proyecto programa de docencia de la Cyber Learning Platform for Nuclear Education and Training (Cyber-plataforma de enseñanza para la educación y en entrenamiento Nuclear) de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA). La Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) viene colaborando con la IAEA desde 2003 permitiendo la distribución de la Multimedia para cursos sobre ingeniería nuclear. Desde 2007, la Multimedia no ha sufrido ningún cambio en su contenido.

El contenido de esta memoria refleja el proceso de la actualización de la Multimedia hacia una nueva versión. El presente proyecto viene respaldado por el trabajo realizado anteriormente por el PhD. Javier Dies y el PhD. Francesc Puig en la realización de las versiones anteriores de la Multimedia.

2.2. Origen del proyecto

La Multimedia se desarrolló en 2001 por el PhD. Javier Dies y el PhD. Francesc Puig. El profesor Dies desarrolló todo el contenido docente del programa y el profesor Puig implementó todo el contenido didáctico en un formato interactivo, creando todas las animaciones, gráficos y tablas que componen la Multimedia.

El Nuclear Engineering Research Group (NERG) del Departament de Física (DFIS) de la Universitat Politécnica de Catalunya (UPC) se ha encargado de realizar revisiones periódicas del programa, actualizando los datos de las tablas y gráficos.

2.3. Motivación

El proyecto tiene su razón de ser, cuando, al dejar el NERG el Dr. Puig, se quiere realizar una actualización completa de la Multimedia y añadir algunas características nuevas. En ese instante, se dispone de una versión del código fuente de la Multimedia con errores que impiden una actualización del programa, al no poder compilarse los archivos. De este modo, es necesaria una revisión completa y exhaustiva del código fuente del programa para volver obtener una versión actualizable de la Multimedia y poder añadir las nuevas características que tendrá la nueva versión.

2.4. Requisitos previos

La memoria de este proyecto presenta en el anexo A los conceptos básicos de la ingeniería nuclear para realizar el proyecto. Asimismo, se referencian en la bibliografía dos manuales de del programario de Adobe Flash [1] y del lenguaje de programación usado [2], necesarios para depurar e implementar las características de la nueva versión.

3. Introducción

El proyecto “Contribución al desarrollo de la Multimedia de física de reactores nucleares” tiene como objetivo la actualización y mejora del contenido docente de la Multimedia. Este proceso se basa en la actualización de todos los datos, pertenecientes al primer capítulo de la Multimedia que han quedado ya desfasados temporalmente, y la implementación de nuevo material docente. A su vez, se ha añadido unos cuestionarios auto evaluables que permiten al estudiante probar sus conocimientos.

3.1. Objetivos y alcance del proyecto

Este proyecto abarca la totalidad de la “Multimedia de física de reactores nucleares” tanto a nivel de código fuente como a nivel de contenido didáctico e interactivo. Los objetivos del proyecto “Contribución al desarrollo de la Multimedia de física de reactores nucleares” son los siguientes:

- La depuración del código fuente del programa: La causa principal del desfase temporal en cuanto a contenido de la Multimedia es la imposibilidad de actualización del programa debido a que el código fuente presentaba diversos errores que impedían el compilado del programa. La depuración de estos errores permitirá la continua actualización del contenido.
- Actualización del contenido del programa: A raíz de la imposibilidad de realizar cambios en la Multimedia, mucho contenido ha quedado desfasado temporalmente. Una vez realizada la depuración del código fuente, se procede a la actualización de todos los datos pertenecientes al primer capítulo de la Multimedia. Así mismo, también se añaden unos cuestionarios auto evaluables para permitir al estudiante que ponga a prueba sus conocimientos.
- Implementación de la versión en chino de la Multimedia: Un alumno del European Master in Innovation in Nuclear Energy (EMINE) ha realizado una traducción de todo el contenido de la Multimedia al chino. Actualmente la Multimedia consta de cuatro versiones en distintos idiomas: castellano, inglés, francés y ruso. Se añade esta nueva versión en el código fuente de la Multimedia. Con la adición de esta nueva versión se pretende incrementar el alcance mundial de la Multimedia. Además, actualmente china es el país más activo del mundo en la construcción de centrales nucleares. Tiene 32 centrales nucleares en operación, 22 en construcción, 42 compradas y 132 planificadas.

4. Metodología

Este capítulo tiene por objeto la explicación del orden y organización en los que se ha realizado el PFC.

Primeramente, se realiza una familiarización con el programario Adobe Flash, que se usa durante todo el proyecto; y también con la “Multimedia de Física de Reactores Nucleares”.

Una vez familiarizados con el programa se realiza un análisis exhaustivo del estado actual del programa para identificar cuáles son los problemas que presenta el programa y entender el porqué de dichos errores que impiden el compilado del programa. Se definen cuáles son los errores a depurar y se estudian posibles soluciones.

La siguiente tarea a desarrollar es la de depurar los errores identificados en el código fuente del programa. El principal error a solucionar es el arranque del programa seguido de otros errores que aparecen a raíz de la solución aportada para solucionar el arranque, debido a que, para solucionar dicho error, se ha decidido modificar la estructura interna del programa.

Al solucionar todos los problemas relacionados con el funcionamiento del programa se procede a analizar el contenido que se pretende actualizar, identificando las diapositivas que han quedado desfasadas y que información es necesaria obtener para realizar el nuevo contenido actualizado para la Multimedia. Todo este nuevo contenido se incorpora en castellano para la versión en castellano y en inglés para las versiones en inglés, francés y ruso.

Seguidamente, se incorporan los cuestionarios de auto evaluación interactivos creados a partir de unos exámenes proporcionados por el profesor Javier Dies. Para ello se usa un software llamado Articulate Studio que permite la creación de cuestionarios interactivos.

Finalmente, se incorpora una versión en chino, traducida paralelamente a la realización del proyecto, por un alumno chino del European Master in Innovation in Nuclear Energy (EMINE), conteniendo también todo el contenido nuevo introducido durante la realización del proyecto.

En la figura 1 se puede ver un diagrama de Gantt del proyecto, es importante remarcar que durante el proyecto se realiza un parón debido a la realización de un proyecto enmarcado dentro una colaboración de la red educativa ENEN y la Agencia de Energía Atómica del Japón (JAEA).

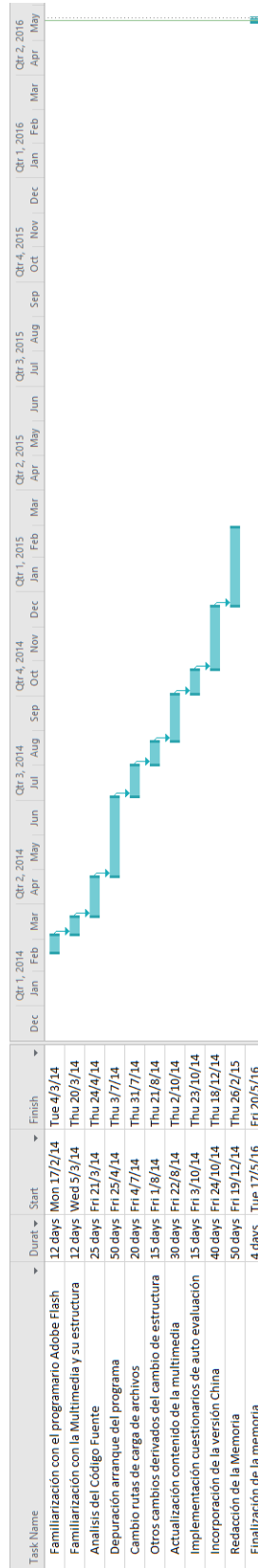


Fig. 1 Diagrama de Gantt

5. Multimedia de física de reactores nucleares

5.1. Descripción y objetivo de la Multimedia de física de reactores nucleares

La Multimedia de Física de Reactores Nucleares es un programa de ordenador con contenido didáctico y docente sobre física de reactores nucleares. Presenta los conocimientos básicos para la comprensión del proceso de producción y aprovechamiento de la energía de fisión, los aspectos tecnológicos asociados al núcleo del reactor y ofrece también los elementos básicos que caracterizan el ciclo del combustible nuclear.

Los contenidos de la Multimedia están estructurados en 13 capítulos y vienen presentados mediante soporte Adobe Flash. Esto permite ofrecer todo el paquete docente de forma interactiva con menús que facilitan el movimiento entre capítulos, un índice que posibilita acceder directamente un contenido específico en cada capítulo y una presentación final del contenido de forma conjunta mediante texto, imágenes, esquemas y videos explicativos e interactivos.

La Multimedia de física de reactores nucleares ha sido desarrollada por el Catedrático en Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Catalunya PhD Javier Dies Llovera, el cual produjo todo el contenido docente y por el PhD Francesc Puig, que implementó todo el contenido en formato multimedia con soporte Flash, añadiendo imágenes, animaciones y menús interactivos

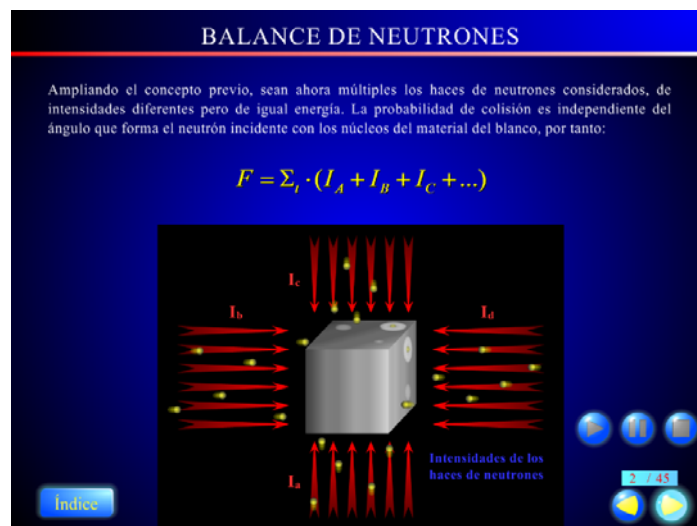
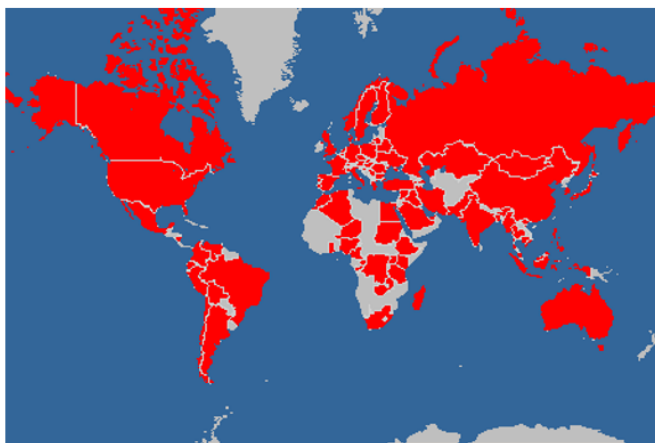


Fig. 2 Diapositiva ejemplo de la Multimedia

Inicialmente la Multimedia era usada por el PhD Javier Dies para impartir sus clases sobre física de reactores nucleares en la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). A partir de su traducción a distintos idiomas, inicialmente al inglés y posteriormente al francés y al ruso; y a través de la difusión de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) para el fomento de la educación sobre el ámbito nuclear, la Multimedia ha llegado a más de 89 países. Asimismo, es utilizado en cursos de entrenamiento de operadores en centrales nucleares.

Multimedia on Nuclear Reactor Physics (MNRP)



IAEA distributed to 89 Member States for education and training

Armenia, Austria, Azerbaijan, Belarus, Belgium, Bulgaria, Croatia, Czech, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Lithuania, Luxemburg, Italy, Macedonia, Montenegro, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, UK, Ukraine

Bangladesh, Cambodia, China, Hong Kong India, Indonesia, Iran, Iraq, Israel, Japan, Kazakhstan, Korea, Lebanon, Malaysia, Mongolia, Myanmar, Pakistan, Palestine, the Philippines, Qatar, Saudi Arabia, Singapore, Syria, Thailand, Turkey, UAE, Vietnam

Argentina, Brazil, Bolivia, Canada, Chile, Colombia, Ecuador, Mexico, Nicaragua, Peru, USA, Venezuela

Algeria, Cameroon, Congo, Egypt, Ethiopia, Ghana, Kenya, Madagascar, Morocco, Niger, Nigeria, South Africa, Sudan, Tanzania, Uganda, Zambia

Australia

Fig. 3 Mapa de países que utilizan la Multimedia

Actualmente la Multimedia se puede descargar gratuitamente Cyber Learning Platform for Nuclear Education and Training (Cyber-plataforma de enseñanza para la educación y en entrenamiento Nuclear) de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA).

5.2. Análisis del programa

5.2.1. Adobe Flash

Adobe Flash es una plataforma de software y multimedia utilizado para crear animaciones, videos, juegos, gráficos vectoriales que pueden ser reproducidos por el programa Adobe Flash Player. Sus usos más frecuentes son los flujos de datos de video o audio y la creación de contenido interactivo multimedia, sobre todo para uso en webs.

El Adobe Flash permite manipular textos e imágenes dándoles animación y puede usar señales procedentes del usuario mediante teclado, ratón, micrófono y cámara. Estas animaciones son programadas mediante un lenguaje de programación llamado Actionscript [2] y el Adobe Flash Professional es el programa más utilizado para crear contenido Flash [1].

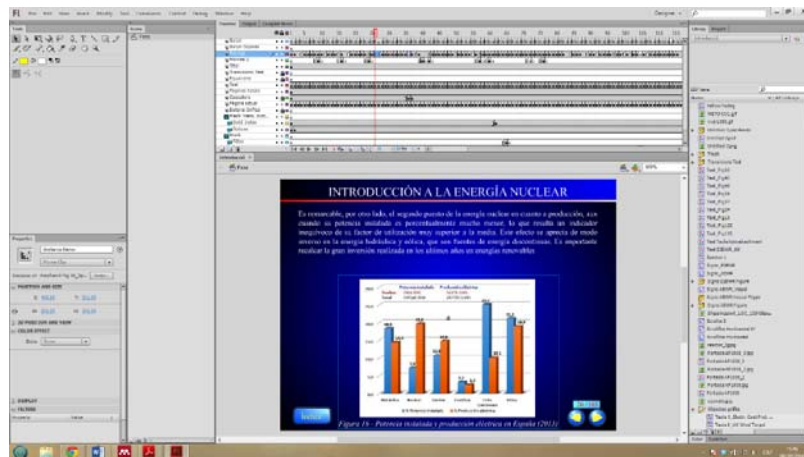


Fig. 4 Adobe Flash Professional

Para la realización de este proyecto se ha utilizado la versión de prueba para estudiantes del programa Adobe Flash Professional. Este programa permite editar los archivos flash antes de compilar, que tienen como extensión .fla y, a su vez, permiten su compilado en archivos .swf que serán reproducidos por el Adobe Flash Player.

La Multimedia es una presentación interactiva de diferentes diapositivas o fotogramas, y el Adobe Flash Professional permite la edición de cada uno de estos fotogramas. Permite editar el texto, añadir imágenes, animaciones, videos y transiciones interactivas ya que permite la implementación del código Actionscript [1]

5.2.2. Estructura y funcionamiento del programa

La versión actual de la Multimedia, antes de la realización de este proyecto y que a partir de este momento será llamada versión base de la Multimedia, está formada por 4 idiomas: castellano, inglés, francés y ruso, y cada idioma consta de 13 capítulos, una introducción y menús e índices interactivos.

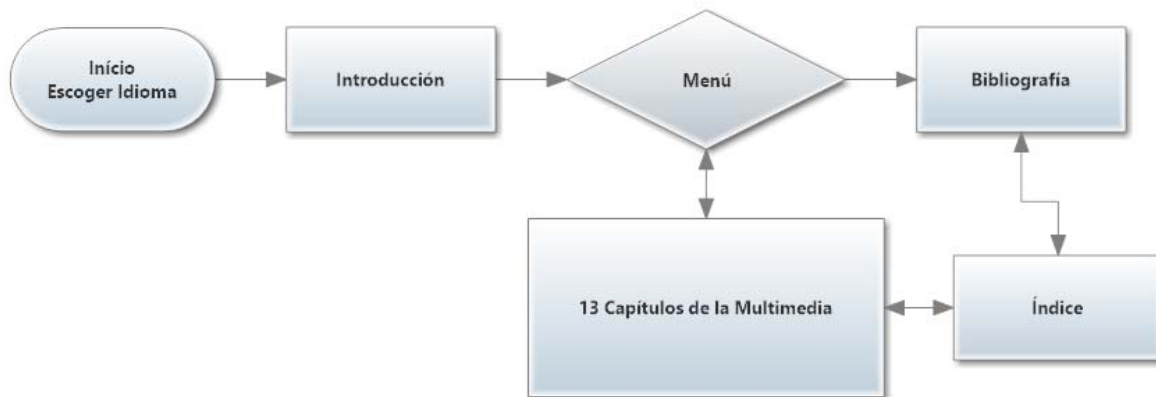


Fig. 5 Esquema básico del funcionamiento de la Multimedia

Este diagrama (Fig. 5) muestra un esquema básico del funcionamiento de la Multimedia y de la navegación del usuario por dentro del programa, empezando con la elección del idioma y escogiendo después, en el menú el contenido que el usuario pretende visualizar. El usuario puede cambiar el contenido que desea visualizar mediante un índice interactivo o mediante el menú, una vez haya finalizado el capítulo de la Multimedia.

La versión base está estructurada en 4 carpetas, una para cada idioma de la Multimedia y un archivo ejecutable principal (.exe) llamado "Start". Cada carpeta consta del mismo número de archivos: 28 archivos .swf en los que está todo el contenido interactivo y docente de la Multimedia, es decir, los 13 capítulos y los distintos menús interactivos; 4 videos y un archivo ejecutable llamado "Multimedia.exe".

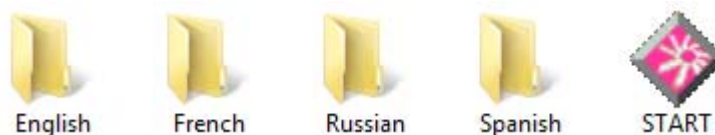


Fig. 6 Estructura de la Multimedia

La Multimedia se ejecuta mediante el archivo "Start.exe". En ese momento el usuario debe escoger entre uno de los 4 idiomas. Una vez escogido el idioma, el programa ejecuta el

archivo “Multimedia.exe” perteneciente a la carpeta del idioma escogido y el anterior ejecutable se cierra. Este nuevo ejecutable, “Multimedia.exe”, es el encargado de cargar en el programa los otros archivos .swf de la carpeta según el usuario vaya navegando por la Multimedia. De este modo, si el usuario decide ver las diapositivas del capítulo número tres, el programa se encargará de cargar el archivo .swf perteneciente a ese capítulo.

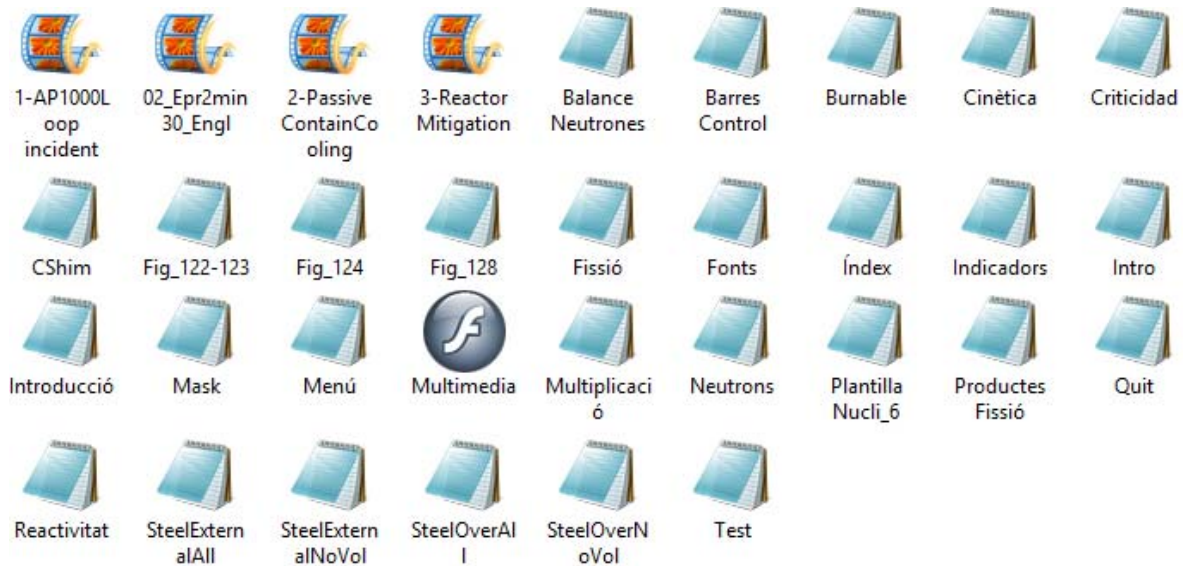


Fig. 7 Estructura de la carpeta Spanish

A su vez los archivos “.swf” están compuestos de sub apartados llamados escenas. Estos sub apartados sirven para separar diapositivas con distinto formato. Solo los archivos que presentan diapositivas con formatos distintos, presentan más de una escena.

5.2.3. Estructura del código fuente

La estructura de los archivos que configuran el código fuente es similar a la estructura del programa ya que cada archivo ejecutable o .swf tiene su respectivo archivo de flash (.fla) editable, que, una vez completado su programación se compila para obtener el archivo .swf o .exe que formara parte de la estructura final del programa

De este modo, tenemos una estructura igual de 4 carpetas i un archivo Start.fla en la carpeta principal y en cada carpeta un archivo .fla para cada archivo perteneciente a la estructura del programa.



Fig. 8 Estructura del código fuente de la Multimedia

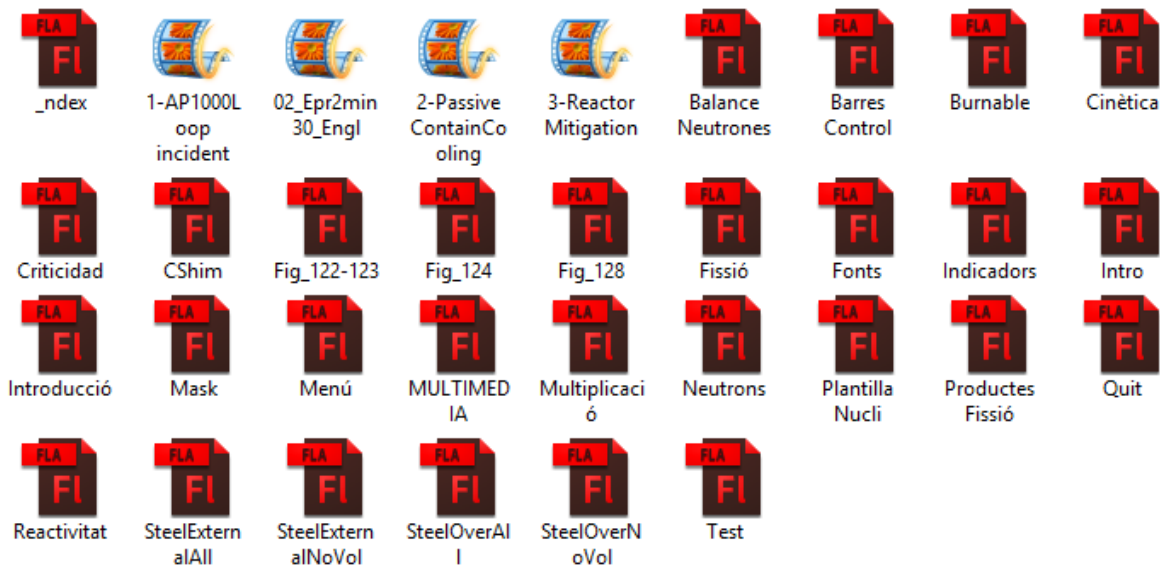


Fig. 9 Estructura del código fuente de la carpeta Spanish

6. Análisis del código fuente

6.1. Comprobación del código fuente

La primera fase que se realiza del proyecto es la comprobación del código fuente. En ella se establece que la versión base del código fuente es compilable y la funcionalidad del programa es la correcta, asegurándose así, que es un buen punto de partida para la realización del proyecto.

En el caso de la Multimedia, se ha realizado un compilado de los archivos y una comprobación de la funcionalidad del programa. La compilación de archivos ha sido satisfactoria pero el programa no tenía la funcionalidad deseada.

En primer lugar, el programa “Start.exe” no ejecutaba el archivo “Multimedia.exe” pertenecientes a la carpeta del idioma escogido, de modo que el programa no podía arrancar. A partir de este error han surgido más errores que se han ido subsanando para obtener una depuración completa del programa.

6.2. Depuración del código fuente

El proceso de depuración del código fuente se ha realizado subsanando primero los errores principales que afectaban a la funcionalidad de todo el programa hasta llegar hasta los errores más simples.

6.2.1. Arranque del programa. Mensaje “Check Availability”

El primer error del código fuente que se depuró fue el del arranque del programa. Al ejecutar el archivo Start.exe el programa se inicia sin ningún error, pero al seleccionar un idioma surge el primer problema. El programa es incapaz de cargar el ejecutable “Multimedia.exe” situado en la carpeta del idioma seleccionado y aparece un mensaje que dice “Check Availability”, que en castellano significa, compruebe disponibilidad.

Comprobando el código fuente se descubrió que existía un condicional que se ejecutaba si no existía un archivo llamado “Test.swf” o si existía y no tenía un tamaño determinado; y si el programa no encontraba ese archivo se mostraba el mensaje de “Check Availability”. Es decir, el programa buscaba este archivo como prueba de que existían los archivos de la Multimedia en ese idioma y, además, este archivo debía tener un tamaño determinado. El problema era que el tamaño del archivo “Test.swf” era distinto que el de la condición del

condicional. Se ha comprobado cual era el tamaño del archivo y se ha subsanado el problema cambiando la condición del condicional con el tamaño correcto.



Fig. 10 Error al seleccionar idioma

6.2.2. Arranque del programa. Carga del archivo “Multimedia.exe”

Una vez solucionado este error, se ha comprobado que aún solucionado este error al seleccionar el idioma, el programa se cierra. Al apretar el idioma, el programa se debería cerrar, pero, a la vez, se debería abrir el ejecutable “Multimedia.exe” perteneciente a la carpeta del idioma seleccionado y esto no sucede. La función existente en el código no se ejecuta.

El ejecutable “Multimedia.exe” era el encargado de cargar todos los archivos .swf pertenecientes a su carpeta, y, al no ejecutarse, el programa se cerraba.

```
fscommand("exec", "English\\Multimedia.exe");
```

 (LC 1)

En la línea de código 1 (LC 1) se puede ver el comando que no se ejecuta. Para que este se ejecute correctamente, los ejecutables “Multimedia.exe” debía estar en la misma carpeta llamada fscommand [2] [1].

Como solución, se ha optado por cambiar el formato del programa y que el archivo Start.exe sea el encargado de cargar los archivos del programa, en vez de ejecutar el archivo Multimedia.exe; y que esté cargue todos los archivos que constituyen la Multimedia. Esto ha supuesto un cambio estructural del programa; ahora todos los archivos de la Multimedia están en una carpeta distinta a la del archivo ejecutable donde eran cargados.

```
loadMovieNum("Intro.swf", 6);
```

 (LC 2)

```
loadMovieNum("Spanish/Intro.swf", 6);
```

 (LC 3)

Esta línea de código (LC 2) es el comando por el cual se substituye el comando anterior (LC 1). Nótese que es distinto al que usaba el archivo “Multimedia.exe” (LC 3) ya que ahora los archivos a cargar, como es el caso de “Intro.swf”, no se encuentran en la misma carpeta que el ejecutable.

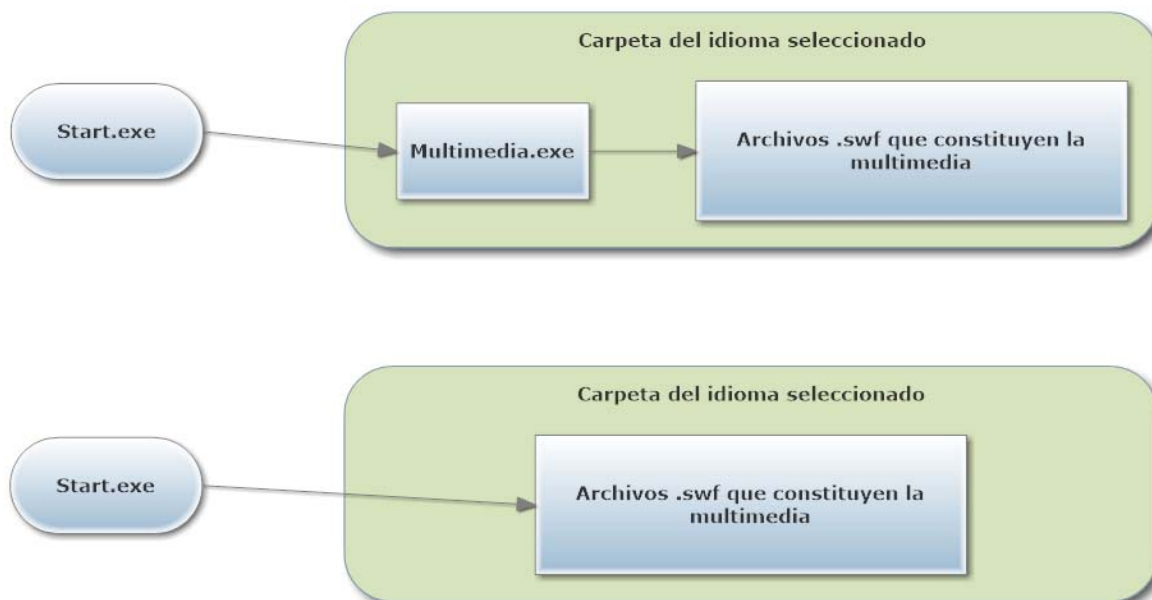


Fig. 11 Diagrama del cambio de funcionamiento de la Multimedia

En este diagrama (Fig. 11), se puede comprobar el cambio efectuado en el funcionamiento de la multimedia. Se ha eliminado el archivo “Multimedia.exe” y la carga de los archivos de la multimedia es realizada por el archivo “Start.exe”.

6.2.3. Cambios de las rutas de los archivos en la carga

La ruta de los archivos permite señalar la localización de los archivos. Es una forma de referenciar los archivos dentro de un directorio o de un sistema de archivos.

Como se ha explicado anteriormente, en la versión base del código fuente, para cargar un archivo se usa el comando de la línea de código 2 (LC 2), en el que se puede ver en verde la ruta del archivo. Esta ruta coincide con el nombre del archivo porque el ejecutable donde se van a cargar los archivos, “Multimedia.exe”, se encuentra en el mismo directorio que el archivo “Intro.swf” y los demás archivos .swf. En la figura 11, se puede ver que, en la nueva versión de la Multimedia, el programa que ejecuta la carga de los archivos .swf es ahora el “Start.exe”, y este se encuentra en un directorio superior al de los archivos que debe cargar. En esta nueva versión, el comando para cargar los archivos es el indicado en la línea de código 3 (LC 3), donde se puede ver en verde la ruta del archivo: “Spanish/Intro.swf”.

Esto supone que todos los comandos de carga de archivos deben ser cambiados y actualizados al nuevo formato de la Multimedia. A raíz de este cambio de formato, se han cambiado más de mil líneas de código pertenecientes al menú y a los índices en los cuatro idiomas.

Un cambio similar ha sufrido los archivos de video sobre el funcionamiento del reactor AP1000 y el reactor EPR. Estos estaban situados en cada una de las carpetas de los distintos idiomas la Multimedia, donde estaba el archivo proyector de la versión base, "Multimedia.exe". Al ser ahora el archivo proyector el "Start.exe", se han movido todos los archivos de video al directorio superior, junto a las carpetas de los idiomas, esto ha supuesto una disminución del tamaño de la Multimedia, al haber estar los videos una vez solamente en la carpeta superior en vez de en cada carpeta.

6.2.4. Otros cambios derivados de la nueva estructura

A raíz de los cambios efectuados en la estructura de la multimedia, se han tenido que hacer diversas modificaciones para mantener la funcionalidad de diversas acciones.

6.2.4.1. Mensaje de cerrar el programa al apretar la tecla "Q"

Una de las funciones que se han modificado ha sido la función que permitía cerrar el programa. Al acceder al menú, después de haber escogido el idioma y de haber visto la introducción, el programa muestra un mensaje donde explica cómo cerrar la Multimedia. El mensaje explica al usuario que si quiere cerrar el programa debe apretar la tecla "Q". Si se aprieta la tecla "Q" durante cualquier momento en el que se esté navegando por la Multimedia, aparece un mensaje en el que el programa pregunta al usuario si realmente quiere salir, con dos respuestas: un botón para sí y un botón para no.



Fig. 12 Mensaje para salir al apretar la tecla "Q"

En relación al código fuente, al apretar la tecla “Q”, el programa carga el archivo “Quit.swf” que muestra en pantalla el mensaje preguntándole al usuario si quiere salir. En la versión base el archivo era cargado por el programa “Multimedia.exe”, el cual estaba en la misma carpeta. El comando de carga era parecido a la línea de código 2 (LC 2), pero en la nueva versión, el encargado de cargar los archivos “Quit.swf” es el ejecutable “Start.exe”.

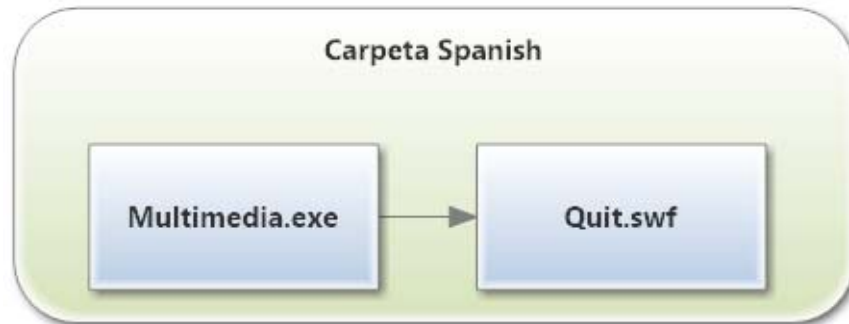


Fig. 12 Diagrama de la ejecución del archivo Quit.swf en la versión base

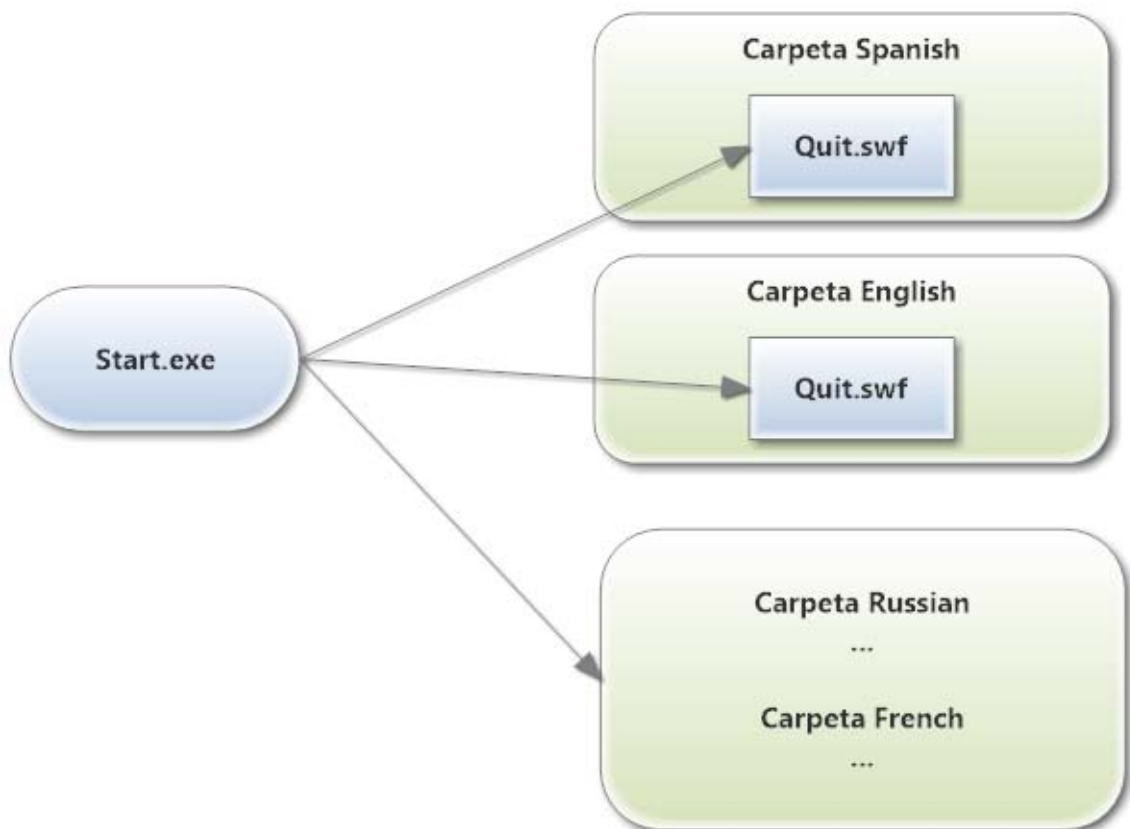


Fig. 13 Diagrama de la ejecución del archivo Quit.swf en la nueva versión

En las figuras 13 y 14 se puede ver el cambio en la ejecución del archivo “Quit.swf”. En la nueva versión es ejecutado por el ejecutable “Start.exe”, que esta fuera de las 4 carpetas donde residen los archivos de la Multimedia en cada idioma.

A raíz de este cambio, el código fuente tiene que ser depurado. Para que el programa ejecute una función al apretar una tecla, esta función debe estar implementada en el código de un botón del programa [2]. En este caso, se ha creado un botón fuera del marco y sin función al presionarlo; y en él se ha implementado la función de carga del archivo "Quit.swf".



Fig. 15 Creación del botón fuera del marco

En la figura 15 se puede observar la disposición del botón creado. Este se sitúa fuera del marco, a la izquierda.

Para cargar el archivo se usa un comando similar a la línea de código 3 (LC 3), pero se tuvo que crear un condicional para discriminar que archivo debe abrirse según el idioma. Se crea una variable que adquiriría un valor según el idioma que el usuario escoja y en el código se incluye un condicional para cada comando de modo que cuando el usuario apretara la tecla "Q", se ejecutara el comando que cumpliera la condición de que la variable tenga el valor del idioma seleccionado.

6.2.4.2. Asignación de la variable para la apertura de los capítulos según el índice

La multimedia permite al usuario acceder a un índice de contenidos de cada capítulo para hacer más rápida la transición y la navegación por la multimedia.

El índice está estructurado en dos partes visualmente idénticas, pero con funcionamiento distinto y un índice global de los trece temas. Estas dos primeras partes constan de las mismas diapositivas en las que hay los mismos botones para cada capítulo.

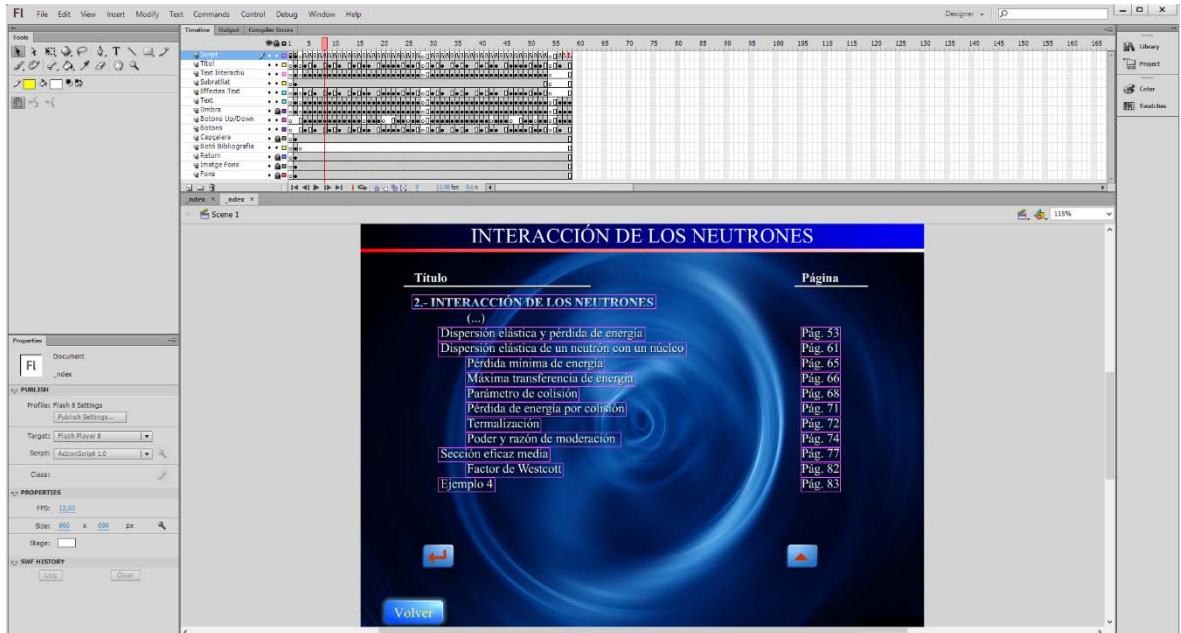


Fig. 16 Estructura del índice

En la figura 16 se puede ver la estructura del índice del tema dos. Se puede observar que todos los textos están enmarcados, esto es así porque encima de cada texto se ha colocado un botón transparente que, al apretarlo, se ejecuta la serie de comandos para mostrar en pantalla el contenido deseado.

El funcionamiento del índice es el siguiente. Cuando el usuario aprieta el botón del índice en cualquier diapositiva de cualquier capítulo de la multimedia, el programa re direcciona al usuario a una diapositiva como la de la figura 16. Esta diapositiva forma parte del grupo que se llamará índice 1. El funcionamiento de este índice es el de poder navegar dentro del capítulo y poder escoger cualquier contenido de ese capítulo. Al estar el archivo del capítulo cargado ya en la Multimedia, porque ya se viene del mismo capítulo, este índice se limita a acceder a contenido de ese archivo previamente abierto. Si el usuario quiere acceder a contenido de otro capítulo, puede hacerlo apretando el botón abajo del contenido de los capítulos en el índice. Al apretarlo, el usuario accede al índice global de la Multimedia, que le permite navegar por todos los capítulos y acceder a cualquier contenido que desee de cualquier capítulo.

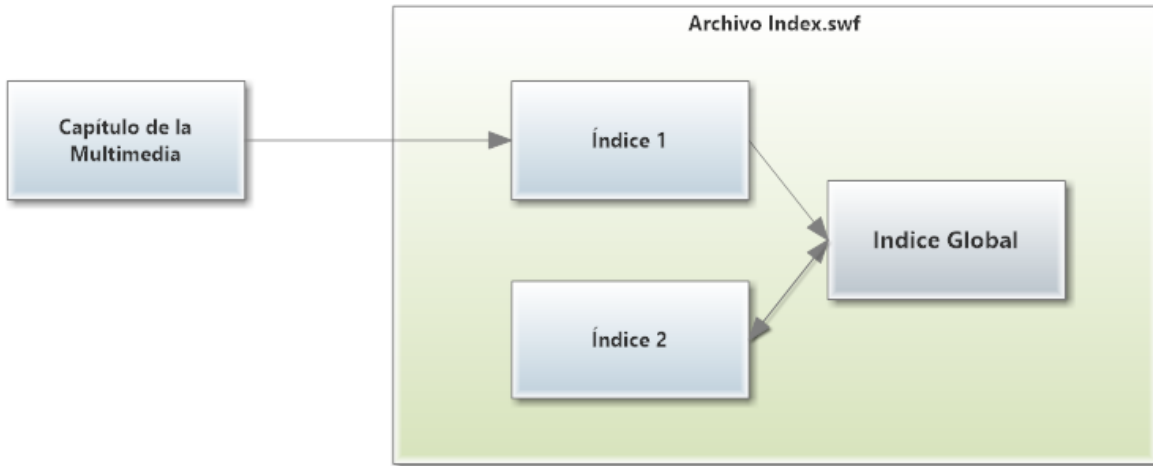


Fig. 17 Diagrama de funcionamiento y la estructura de la Multimedia

En la figura 17 se puede ver la estructura del índice global con todos los capítulos de la Multimedia. Si el usuario aprieta cualquiera de los botones de los capítulos accede al que se llamara Índice 2, que visualmente es idéntico al índice 1. Este Índice 2 se diferencia del índice 1 en que a través de este índice se accede a contenidos no cargados en la Multimedia.

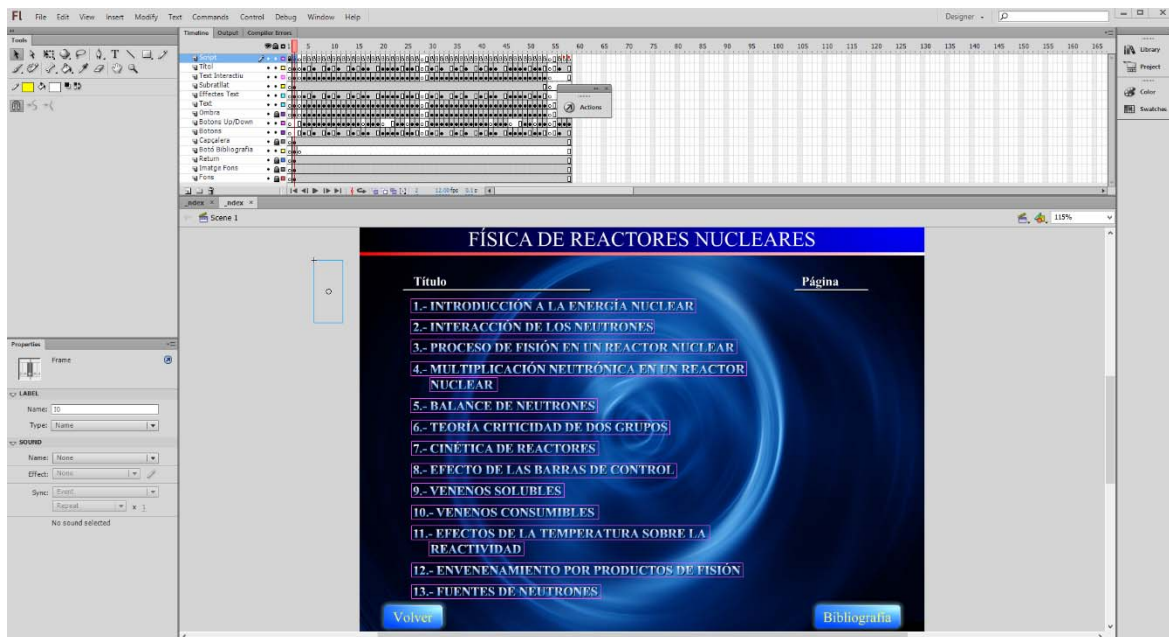


Fig. 18 Estructura del índice global

En la figura 18 se puede observar la estructura y el funcionamiento del índice. Se accede al índice 1, a partir de una diapositiva de un capítulo de la Multimedia. Es importante recalcar que en el índice 1 solo se puede acceder a las diapositivas que pertenecen al capítulo de la Multimedia que se estaba viendo por pantalla, es decir, no se puede navegar por todo este

Índice, sino que solo por las diapositivas relativas al capítulo del cual se procede. Si el usuario quiere acceder a contenido de otros capítulos de la Multimedia, lo puede hacer mediante el índice global de la Multimedia. A partir de este índice global, se accede, si se aprieta cualquier botón perteneciente a un capítulo de la Multimedia, al índice 2, donde se le muestra al usuario el contenido de ese capítulo escogido en el mismo formato que en el índice 1. Al apretar el contenido que se quiere ver, el programa carga el archivo .swf perteneciente a ese capítulo con el comando de la línea de código 2 (LC 2).

Para acceder directamente al contenido deseado, el programa asigna a una variable un valor que corresponde al número de la diapositiva donde está el contenido que el usuario desea ver. Al cargarse el archivo del capítulo que el usuario desea ver, el programa lee esta variable y muestra directamente el contenido de la diapositiva deseada.

Esta asignación no se realizaba de forma correcta [2] y al cargarse el archivo, siempre se mostraba la primera diapositiva del capítulo cargado.

```
_level0/variables:N = "27"; (LC 4)
```

```
_level0.N=7; (LC 5)
```

Se ha substituido la asignación de la variable de la versión base (LC 4) por la correspondiente a la línea de código 5 (LC 5). De este modo, se asigna el valor de la diapositiva correspondiente al contenido escogido por el usuario en el índice.

Al cargarse el archivo correspondiente al capítulo del contenido deseado, esta variable "N" del nivel 0 es cargada en una variable propia dentro nivel en el que está cargado el capítulo. En este caso el nivel en el que se cargan los archivos de los capítulos es el 4.

El primer documento que se abre en el Flash Player es cargado en nivel 0, el archivo proyector. A partir de aquí, se debe asignar a cada archivo adicional cargado un número de nivel. En Actionscript, cuando se quiere usar una referencia absoluta para referirse a un documento cargado, se usa la forma `_levelX`, siendo X el número del nivel en que el archivo está cargado.[2]

```
loadMovieNum("French/Neutrons.swf", 4); (LC 6)
```

En la línea de código 6 (LC 6) se muestra el comando de carga de los archivos pertenecientes a los capítulos de la Multimedia. Se puede observar la ruta de carga del archivo, "French/Neutrons.swf" va seguida del número cuatro. Este número designa el nivel en el que se carga el archivo.

Una vez se carga un archivo de la Multimedia, este archivo mira el valor de la variable "N" del nivel 0. Si el usuario proviene del menú, este valor será 0 y se iniciará el capítulo desde la primera diapositiva.

Solo si el usuario proviene del índice, la variable "N" del nivel 0 tendrá asignado un valor, que se le asigna en el momento en que el usuario aprieta el botón del índice del contenido que desea ver en pantalla. En ese momento la variable "N", tal y como se muestra en la línea de código 5 (LC 5), adquiere el valor de la diapositiva en la que está el contenido deseado. Acto seguido se ejecuta el comando de la línea de código 6 (LC 6), y se carga el archivo del capítulo de la Multimedia.

Ahora la variable "N" del nivel 0 tiene un valor asignado distinto a 0 y se ejecuta una serie una serie de comando para mostrar por pantalla el contenido deseado. Estos comandos han tenido que ser cambiados porque usaban la asignación de la línea de código 4 (LC 4) y han sido substituidos por la línea de código 5 (LC 5)

```

N = _level0/variables:N;
if (N<36) {
    gotoAndStop("Fons", N);
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N==36) {
    gotoAndStop("Exercicis", "36");
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N>36&&N<47) {
    gotoAndStop("Fons 2", N-36);
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N==47) {
    gotoAndStop("Nucli", "47");
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N>47&&N<57) {
    gotoAndStop("Fons 3", N-47);
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N==57) {
    gotoAndStop("Exercicis 2", "57");
    _level0/variables:N = "0";
} else if (N>57) {
    gotoAndStop("Fons 4", N-57);
    _level0/variables:N = "0";
}

```

Fig. 19 Serie de comandos para mostrar el contenido deseado de la versión base

```
N = _level0.N;
if (N<36) {
    gotoAndStop("Fons", N);
    _level0.N=0;
} else if (N==36) {
    gotoAndStop("Exercicis", "36");
    _level0.N=0;
} else if (N>36&&N<47) {
    gotoAndStop("Fons 2", N-36);
    _level0.N=0;
} else if (N==47) {
    gotoAndStop("Nucli", "47");
    _level0.N=0;
} else if (N>47&&N<57) {
    gotoAndStop("Fons 3", N-47);
    _level0.N=0;
} else if (N==57) {
    gotoAndStop("Exercicis 2", "57");
    _level0.N=0;
} else if (N>57) {
    gotoAndStop("Fons 4", N-57);
    _level0.N=0;
}
```

Fig. 20 Nueva serie de comandos para mostrar el contenido deseado

Comparando las figuras 19 y 20 se pueden ver los cambios realizados en la asignación de la variable "N" para mostrar el contenido deseado por el usuario. Esta asignación va acompañada de unos condicionales para discriminar la orden y saber a qué escena pertenece la diapositiva, ya que dependiendo de la escena la orden de mostrar el contenido varia. El comando gotoAndStop, seguido de las escena y el numero de la diapositiva, muestra por pantalla el contenido de dicha diapositiva [2]

7. Actualización del contenido de la Multimedia

7.1. Análisis de la versión base

La siguiente fase del proyecto consiste en la actualización de los datos de las tablas y gráficos presentes en el capítulo primero.

Primeramente, se ha realiza un análisis del contenido del primer capítulo de la Multimedia para comprobar cuáles son los datos que han de ser actualizados. Se identifican 28 figuras que requieren una actualización de sus datos, entre ellas destacan un gráfico de incremento de la producción nuclear anual en España, un gráfico de la evolución del subministro de energía primaria anual mundial o un gráfico de la contribución de la energía nuclear en cada país de Europa.

7.2. Actualización de los datos el primer capítulo

Para la actualización de los datos existentes en el primer capítulo de la Multimedia se usan datos procedentes de publicaciones de entidades como son la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el Foro de la Industria Nuclear Española, la Asociación Española de la Industria Eléctrica, la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós (ANAV) y el Power Reactor Information System (PRIS) de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA).

7.2.1. Relación de actualizaciones realizadas

A continuación, se presenta la relación de todos los gráficos y tablas cuyos datos fueron actualizados:

- Gráfico de la evolución mundial del subministro de energía primaria total [3].
- Comparativa del subministro mundial de energía primaria total [3].
- Comparativa del subministro de energía primaria total (OCDE) [3].
- Evolución mundial del consumo final total [3].
- Comparativa del consumo mundial de energía final total [3].
- Comparativa del consumo de energía final total (OCDE)[3].
- Evolución mundial de la generación eléctrica [3].
- Comparativa de la generación de la energía mundial [3].
- Predicción de la distribución de energía primaria mundial [3].
- Contribución de la energía nuclear en Europa (2011) [4].
- Potencia instalada y producción eléctrica en España (2013) [5], [6], [7].

- Evolución de la potencia eléctrica instalada en España [8].
- Evolución de la producción eléctrica en España [8].
- Evolución del Incremento de consumo eléctrico en España [6].
- Evolución de la potencia del parque nuclear en España [6], [8].
- Evolución de la producción nuclear en España [6], [8].
- Evolución del factor de disponibilidad nuclear en España [6], [8].
- Evolución del número medio de paradas instantáneas en España [6], [8].
- Potencia Instalada y producción eléctrica en Catalunya (2013) [9].
- Evolución mundial de las de las emisiones de CO₂ [3].
- Comparativa de emisiones mundiales de CO₂ [3].
- Evolución histórica del precio del petróleo [3].
- Evolución histórica del precio del gas natural [3].
- Contribución a la producción eléctrica total por países (año 2013) [4].
- Numero de reactores en operación [4].
- Situación geográfica de los reactores nucleares en el mundo (2012) [4].
- Resumen mundial de la energía nuclear por países [4].
- Evolución del factor de disponibilidad media mundial [4].

Cada gráfico se presenta en una diapositiva acompañada de un texto explicativo que hace referencia a la figura de la diapositiva, sea gráfico o tabla. Estos textos fueron cambiados para hacer referencia a los nuevos datos presentados.

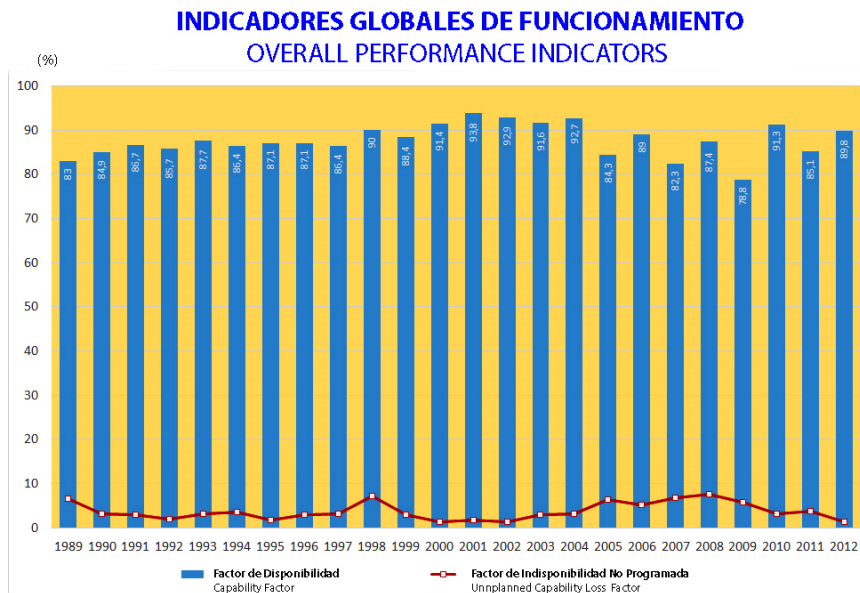


Fig. 21 Gráfico de la evolución del factor de disponibilidad en España

En la figura 21, se puede ver el nuevo gráfico de la evolución del factor de disponibilidad nuclear, acompañado de la evolución del factor de indisponibilidad nuclear en España. Este gráfico, como muchos otros, se elaboró a partir de datos publicados en tablas [5], [6], [7], [8], [9], y otros fueron directamente incorporados [3].

7.2.2. Incorporación de nuevas diapositivas

Para completar la actualización de la Multimedia, se incorporan nuevas diapositivas para ampliar el contenido docente del primer capítulo. Se añade una diapositiva sobre el proyecto del nuevo almacén temporal centralizado (ATC) en Villar de Cañas con una animación de su funcionamiento que fue suministrada por la empresa de tratamiento de residuos nucleares ENRESA, que es la empresa con la licencia para el proyecto del almacén.

También se añade una diapositiva sobre los reactores nucleares comercializados por la agencia nuclear rusa Rosatom, la coreana Korean Electric Power Corporation (KEPCO) y la compañía japonesa GE Hitachi Nuclear Energy.

8. Implementación de cuestionarios de autoevaluación

La siguiente parte del proyecto consiste en la implementación de unos cuestionarios de autoevaluación que permitan al usuario evaluar sus conocimientos sobre el contenido de la Multimedia.

8.1. Descripción y contenido de los cuestionarios de autoevaluación

La autoevaluación de los contenidos de la Multimedia se realiza a partir de dos bloques de cuestionarios sobre los temas uno a cinco y seis a trece respectivamente. Estos cuestionarios han sido realizados por el Catedrático de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Catalunya PhD Javier Dies y han sido probados en diversos cursos impartidos por el profesor Dies. Los cuestionarios son en formato test multirrespuesta y constan de catorce y quince preguntas respectivamente.

Estos cuestionarios permiten a los usuarios probar los conocimientos que han obtenido mediante el uso de la Multimedia a través de cuestiones sobre los conceptos más importantes respecto al proceso de fisión en un reactor nuclear, el efecto de las barras de control, el concepto de criticidad en un reactor, los efectos de la temperatura sobre la reactividad y la cinética de un reactor.

Una vez realizado el cuestionario, el usuario podrá comprobar la puntuación obtenida, teniendo en cuenta que cada respuesta acertada suma un punto, cada respuesta fallida resta medio punto y que es necesaria la mitad de la puntuación total para obtener el aprobado en el test. A su vez, el usuario puede, una vez finalizado el test, repasar el resultado de cada una de las preguntas para ver que contenidos de la Multimedia necesitan revisión.

Para realizar los cuestionarios, el usuario dispone de cuarenta y cinco minutos y es necesario que responda todas las cuestiones antes de proceder a su corrección. Las preguntas se pueden contestar en el orden que el usuario desee, ya que el programa nos permite navegar por las cuestiones y responder en cualquier orden.

8.2. Articulate Studio

Para la realización de los cuestionarios se ha usado la versión de prueba del programa Articulate Studio, que incluye la herramienta Articulate Quizmaker para crear cuestionarios, encuestas y todo tipo de material con interacción del usuario.

Esta herramienta permite crear unos cuestionarios con toda la funcionalidad requerida. Una limitación de tiempo de cuarenta y cinco minutos, la posibilidad de puntuar las preguntas correctas e incorrectas de la manera deseada. Incluye también un menú interactivo que permite al usuario navegar por la pregunta y contestarlas en el orden deseado. Una vez finalizado el cuestionario, el usuario ve en pantalla el resultado obtenido y puede revisar todas las respuestas para comprobar cuáles ha acertado y cuáles no. Asimismo, el programa permite la implementación de caracteres de otros alfabetos como el cirílico o el chino e incluye la posibilidad de traducir directamente todos los botones de funcionalidad propios del programa al idioma deseado.

Los cuestionarios se han creado emulando el formato de la Multimedia: con el mismo fondo y mismo formato de fuente; y se han añadido imágenes para complementar algunas preguntas

Examen temas 1-5 04:05 / 45:00

Lista de preguntas

- 1/ Indicar la frase correcta:
- 2/ Respecto al concepto de sección eficaz, ind...
- 3/ Respecto al concepto de moderador, indica...
- 4/ Indique la combinación correcta que gener...
- 5/ ¿Cuáles son los principales núcleos fisiles, u...
- 6/ ¿Se puede fisurar un núcleo de ^{238}U ?
- 7/ El uranio natural contiene mayoritariamen...
- 8/ Después de una parada de reactor, ¿se deb...
- 9/ El isótopo ^{235}U es el que se fisura en los r...
- 10/ En el proceso de fisión se liberan unos 20...
- 11/ Siendo k el factor de multiplicación y p la ...
- 12/ ¿Qué representa el factor de utilización t ...
- 13/ Respecto al factor f , factor de utilización t...
- 14/ El hecho de que existen neutrones diferid...

En el proceso de fisión se liberan unos 200 MeV de energía. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

... se llevan unos 165 MeV de energía.

... se llevan unos 165 MeV de energía.

... se llevan nada de la energía de fisión

... se llevan unos 165 MeV de energía.

Fragmento de fisión

Fragmento de fisión

200 MeV

ENVIAR TODO < ANT SIG >

Fig. 22 Formato de los cuestionarios

En la figura 22 se puede ver el formato de los cuestionarios, con un menú interactivo que permite al usuario navegar por las preguntas, el indicador de tiempo restante y un formato similar al de la Multimedia.

8.3. Implementación de los cuestionarios en la Multimedia

Los cuestionarios se compilan en forma de un ejecutable acompañado de diversos archivos con todos los datos de los cuestionarios.



Fig. 4 Formato archivos compilados de un cuestionario

En la figura 23 se puede ver el formato de los archivos compilados de un cuestionario. Constan de un archivo ejecutable “Launch_Quiz.exe” y diversos archivos, algunos dentro de una carpeta llamada “quiz_content”, donde está todo el contenido del cuestionario.

Para implementar los cuestionarios en la Multimedia, se crean más diapositivas en el archivo “Start.exe” desde donde se ejecutan los archivos que componen los cuestionarios. Estas diapositivas se crean en el archivo “Start.exe” porque es necesario que estén en el archivo ejecutable del programa, o archivo proyector, donde se cargan los demás archivos “.swf” del programa para poder ejecutar otras aplicaciones, como es el caso de los cuestionarios [2].

Concretamente, se añaden tres diapositivas para cada idioma, a las cuales el usuario accederá dependiendo desde donde proceda. En la Multimedia se colocan cuatro puntos de acceso, o botones; se puede acceder desde el menú, el índice y desde la última diapositiva de los dos bloques lectivos que componen los dos cuestionarios, es decir, la última diapositiva del capítulo quinto y la última diapositiva del capítulo decimotercero. Si el usuario accede desde el menú o el índice, accederá a una diapositiva donde aparecen las instrucciones de los cuestionarios: el número de preguntas de cada test, la duración, el método de puntuación de las preguntas y la nota mínima para aprobar. Estas instrucciones van acompañadas de dos botones, uno para cada test, a través de los cuales el usuario puede escoger y, posteriormente, acceder a los dos cuestionarios. Si el usuario proviene de la última diapositiva del capítulo quinto de la Multimedia, accede a una diapositiva similar, pero con instrucciones específicas para el cuestionario del primer bloque lectivo y solo un botón para acceder a este cuestionario. A la última diapositiva añadida, se accede desde la última diapositiva del capítulo decimotercero. Esta diapositiva contiene instrucciones para el cuestionario del segundo bloque lectivo y un botón para acceder al cuestionario.

```
fscommand("exec", "Spanish.bat");
```

(LC 7)

Para la ejecución de los cuestionarios se usa la línea de código 7 (LC 7). Este comando tiene la condición de que los archivos que se quieran ejecutar han de estar dentro de una carpeta llamada "fscommand" [2]. En esta carpeta se colocan las dos versiones de los cuestionarios en cada idioma compilados, pero deben de separarse en carpetas, ya que, al compilar los cuestionarios, los archivos resultantes tienen siempre el mismo nombre de archivo y estos no puede cambiarse (ver figura 23). De este modo, los archivos a ejecutar, el archivo "Launch_Quiz.exe" de cada cuestionario ya no se encuentra en la carpeta fscommand sino dentro de una subcarpeta dentro de esa carpeta. Para subsanar este problema, se crea un archivo de texto con comandos ".bat" para cada cuestionario. La Multimedia ejecuta estos archivos según que cuestionario se quiera ejecutar y estos re-direccionan la acción y ejecutan el archivo "Launch_Quiz.exe" de la carpeta deseada, accediendo así al cuestionario deseado.

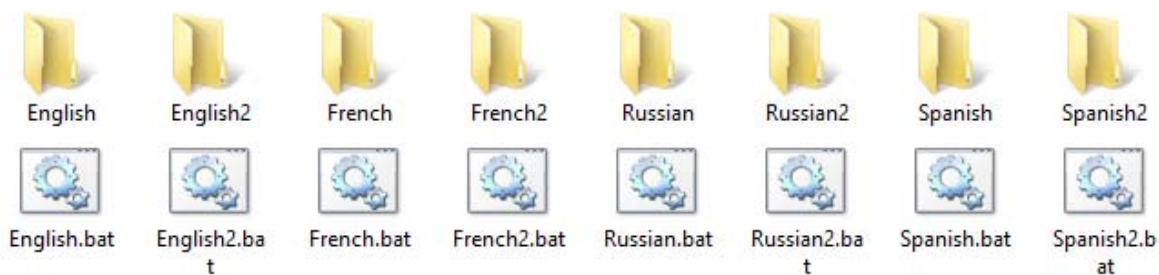


Fig. 5 Contenido de la carpeta fscommand

En la figura 24 se puede comprobar el contenido de la carpeta fscommand, con una carpeta para cada cuestionario y un archivo bat para re-direccionar la acción de ejecución del cuestionario.

```
start Spanish\Launch_Quiz.exe
```

(LC 8)

Este es el comando (LC 8) usado para la redirección de la orden de ejecución. El archivo ".bat" se ejecuta, realiza la orden del comando, en este caso abrir el cuestionario y desaparece, dejando al cuestionario solo y accesible para el usuario.

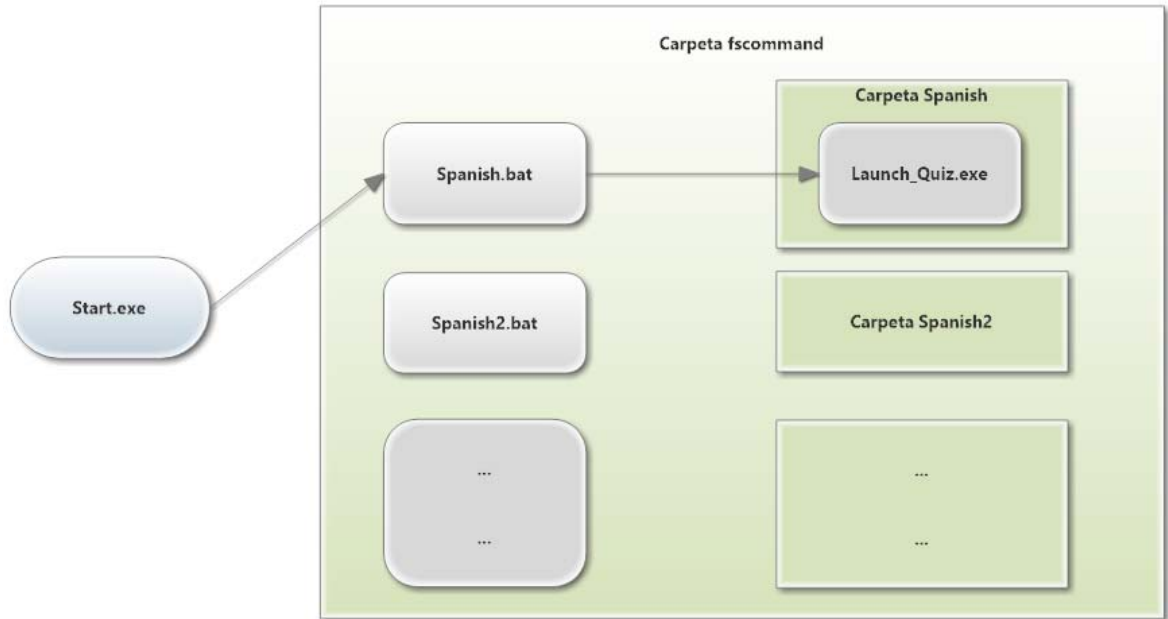


Fig. 25 Esquema global de la ejecución de los cuestionarios.

Desde el archivo “Start.exe” se ejecuta el archivo “Spanish.bat” que está en la carpeta “fsccommand” y este archivo ejecuta el comando de la línea de código 8 (LC 8) y ejecuta el archivo “Launch_Quiz.exe” perteneciente a la carpeta con el mismo nombre que el archivo “:bat”, permitiendo así al usuario acceder al cuestionario.

Cuando se ejecuta el cuestionario, este aparece en una ventana encima de la Multimedia, tal y como se puede observar en la figura 26. El usuario puede completar entonces el cuestionario y, una vez finalizado y revisado, al cerrar la ventana, puede seguir navegando por la Multimedia sin ningún problema.

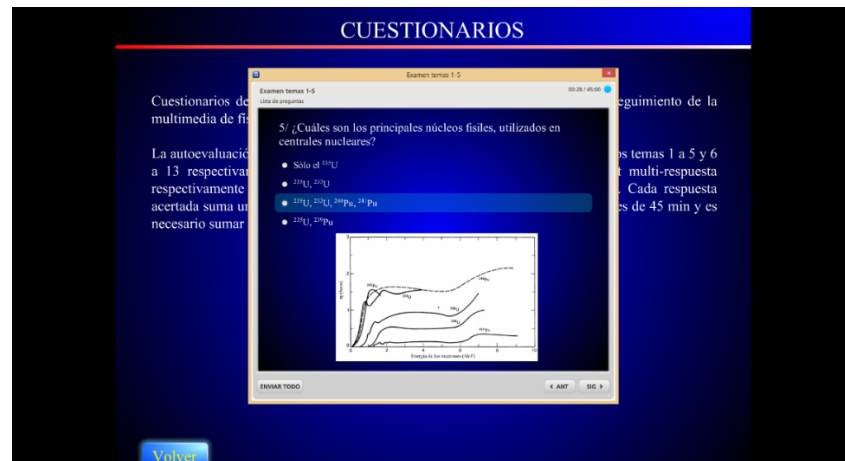


Fig. 26 Implementación del cuestionario en la Multimedia

9. Incorporación de la versión china de la Multimedia

9.1. Traducción de la Multimedia al chino

La última etapa de este proyecto consiste en la implementación de una versión en chino de la Multimedia. Con esta versión se pretende incrementar el espectro de alcance de la docencia en física de reactores nucleares que actualmente tiene la Multimedia.

La traducción fue realizada por el alumno chino del European Master in Innovation in Nuclear Energy (EMINE) Jie Zheng. Durante todo el proceso de traducción se le ha dado soporte para que pudiera traducir todos los textos y las animaciones presentes en la Multimedia. Se le ha ayudado a comprender el funcionamiento del programa Adobe Flash para poder traducir todo el contenido al chino, ya que para acceder a poder cambiar todos los textos existentes en las animaciones y gráficos es necesario comprender como funciona el programa Adobe Flash y sobretodo de qué modo están estructurados internamente los archivos Flash de la Multimedia.

El resultado ha sido la completa traducción de todo el contenido docente de la Multimedia al chino, incluidas todas las animaciones y gráficos en formato Flash; y los cuestionarios de autoevaluación.

9.2. Implementación de la traducción en chino a la Multimedia

Una vez traducido todo el contenido, se incorporan todos los archivos a la Multimedia. En la pantalla de inicio se añade un botón para acceder a todo el contenido en chino junto con los botones para acceder al contenido en otros idiomas. Asimismo, se ha tenido que cambiar algunas partes del código fuente, ya que hay que cambiar las rutas de acceso a los archivos que están dentro de una carpeta con el nombre de “Chinese”, del mismo modo a como se explica en el apartado 5.2.3.

A su vez, se realizan los dos cuestionarios con el software Articulate Studio con el mismo formato que los anteriores realizados en los otros cuatro idiomas. Se incorporan tres diapositivas explicativas del funcionamiento de los cuestionarios con el mismo formato desarrollado en el apartado 7.3, incorporando dos carpetas, una para cada cuestionario, dentro de la carpeta “fsccommand” con un archivo “.bat” para cada cuestionario para hacer de puente.

El resultado ha sido la completa implementación de la versión en chino en la Multimedia con el mismo formato que los otros cuatro idiomas y con las mismas características.

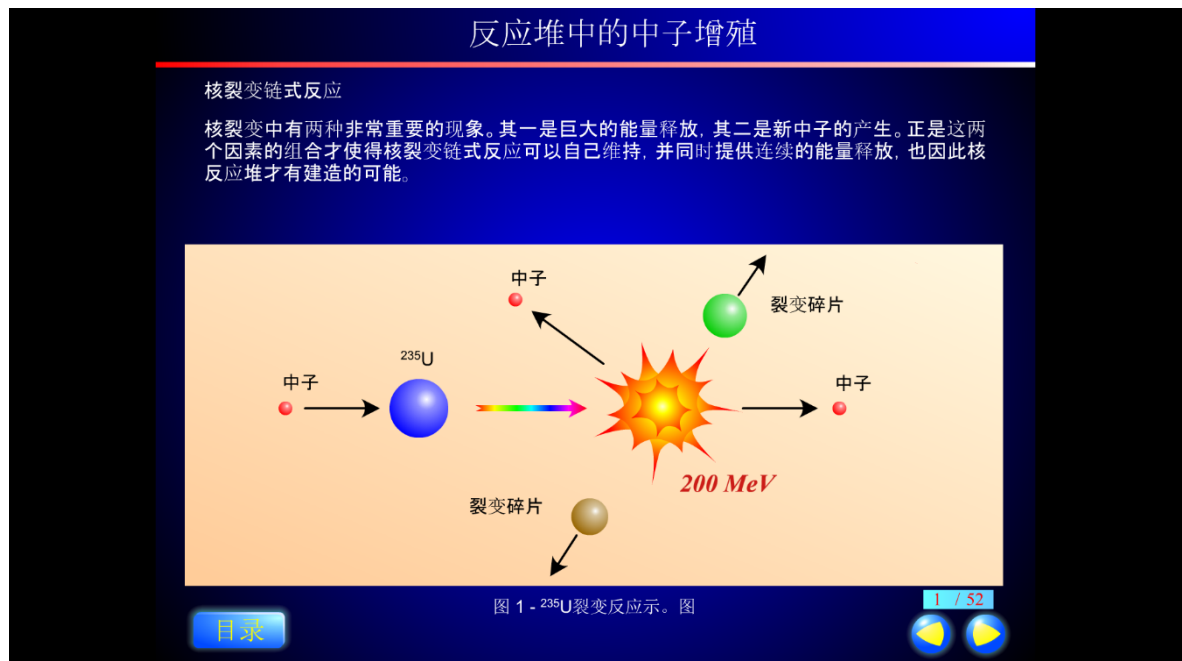


Fig. 27 Diapositiva en chino de la Multimedia (I)

9.3. Depurado errores versión en chino

Una vez implementada la versión en chino se procede al proceso de depurado de la versión. Este proceso consiste básicamente en repasar todas las animaciones y contenido interactivo de la Multimedia y comprobar que ha sido traducido y que el formato de estos no ha sido alterado.

Se han encontrado distintas animaciones que no han sido completamente traducidas, como por ejemplo los botones del menú. Al apretarlos estos deberían cambiar de color a amarillo. El texto aparece en amarillo, pero está en inglés y no ha sido traducido. Errores como este, debidos a la falta de un conocimiento completo sobre el software Adobe Flash y sus animaciones por capas por parte del traductor, han sido recurrentes durante el depurado del programa.

También se tienen que repasar todas las diapositivas, ya que debido al cambio de idioma y de fuentes, había textos sobrepuestos encima de otros y formulas también encima de otros textos.

Asimismo, este depurado sirve para comprobar que la implementación de la versión en chino ha sido correcta y que todos los botones cumplen su función.

Finalmente, un profesor de la Tshinghua University de Pekín, ha realizado una revisión del programa para revisar posibles errores en la traducción e incorporando todos los comentarios sugeridos por dicho profesor.

El resultado de este proceso es la completa implementación de un idioma más, el chino, en la Multimedia de física de reactores nucleares.

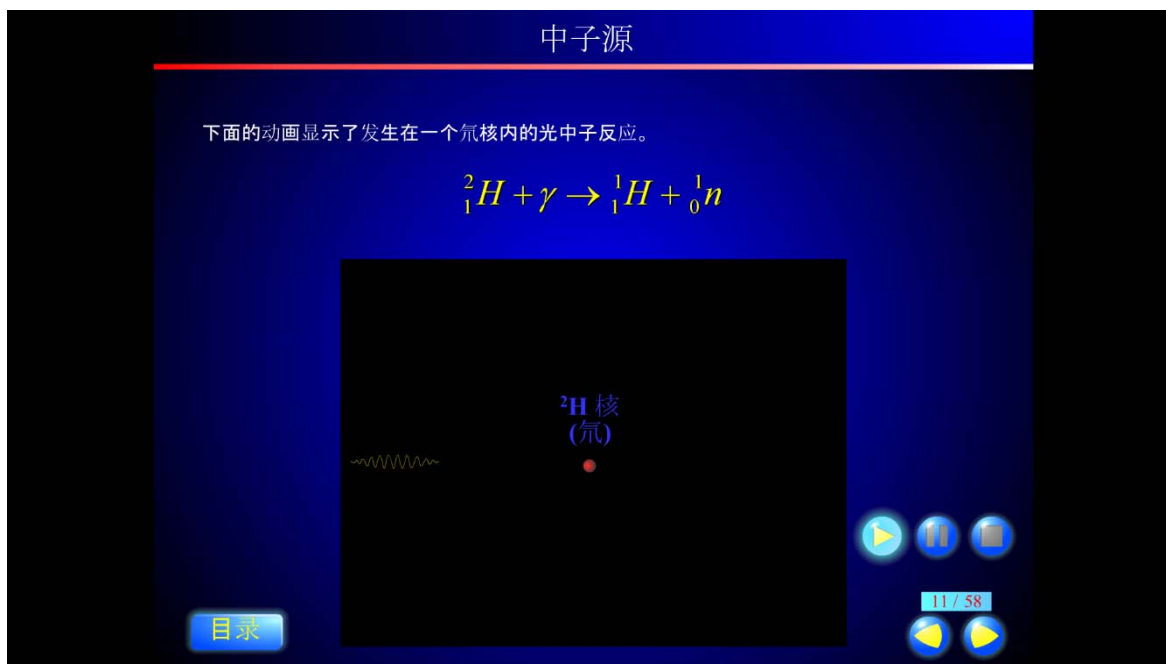


Fig. 28 Diapositiva en chino de la Multimedia (II)

10. Análisis final de la nueva versión de la Multimedia de física de reactores nucleares

10.1. Estructura de los archivos de la versión 5.0

Durante la realización de este proyecto, la Multimedia de Física de Reactores Nucleares ha sufrido muchos cambios de estructura y funcionamiento, así como cambios, también, en su contenido.

Esta nueva versión ha sido llamada versión 5.0, evolución de la anterior versión, la 4.3, que durante todo el proyecto ha sido nombrada como versión base de la Multimedia.

La versión 5.0 tiene una estructura similar a la versión anterior: con un archivo llamado "Start.exe" para la ejecución del programa y una carpeta para cada idioma. Esta nueva versión añade otra carpeta llamada "fscommand" donde residen los archivos de los cuestionarios a ejecutar por la Multimedia (ver apartado 7.3). También añade una carpeta para el idioma chino y en todas las carpetas se ha eliminado el archivo "Multimedia.exe" ya que todos los archivos que componen la Multimedia ahora son ejecutados directamente desde el archivo proyector "Start.exe" (ver apartado 5.2).

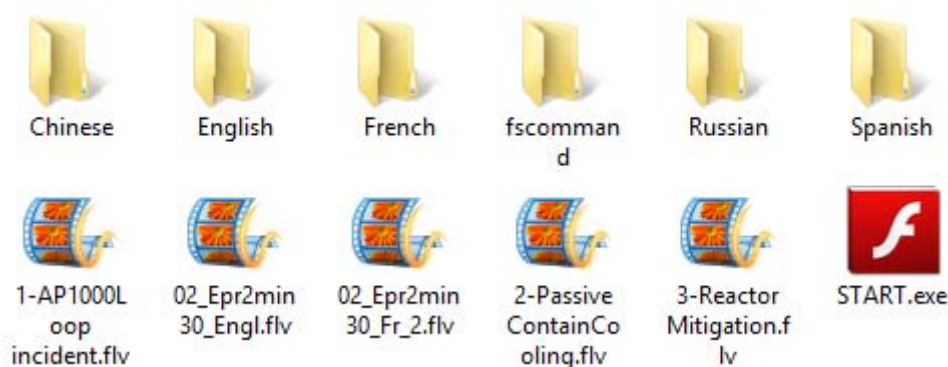


Fig. 29 Estructura final de los archivos de la versión 5.0

10.2. Características de la nueva versión

10.2.1. Actualización del primer capítulo

Se han actualizado los datos de las tablas y gráficos del primer capítulo de la Multimedia. Estos gráficos y tablas hacen referencia a la evolución de distintos indicadores mundiales y estatales de consumo de energía primaria, el consumo de energía total y la generación

eléctrica, mostrando el impacto de la energía nuclear en estos factores a lo largo de los últimos cincuenta años. También se han actualizado los datos referentes a factores de producción intrínsecos de la industria nuclear como la evolución de la potencia instalada en España o la evolución del factor de disponibilidad a nivel mundial y estatal, así como también datos referentes a la ubicación todas las centrales del mundo (ver apartado 6.1 para referencia sobre los cambios realizados).

Todos estos datos han sido extraídos de los boletines oficiales de distintas organizaciones mundiales y estatales dedicados al mundo de la producción de energía y sobre todo a la energía nuclear. [3], [6], [8], [4]

10.2.2. Cuestionarios de autoevaluación

Otra nueva característica de la versión 5.0 son los cuestionarios de autoevaluación. Con esta nueva herramienta se pretende que el usuario pueda probar sus conocimientos adquiridos mediante el uso de la Multimedia de física de reactores. Al ser distribuida online por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) dentro del marco del programa de "Open Learning Management System" de la plataforma "Cyber Learning Platform for Nuclear Education and Training" (CLP4NET), la Multimedia es usada tanto para impartir clases en distintos cursos como por usuarios que pretenden profundizar en el campo de la energía nuclear de forma autodidacta. Esta nueva característica permitirá a todos los usuarios evaluar sus conocimientos, ya sea de cara al examen final de un curso, o como autoevaluación propia impartida por un usuario independiente.

Concretamente se trata de dos cuestionarios, realizados por el PhD. Javier Dies, que abarcan todo el contenido de los trece temas de la Multimedia; del primer tema al quinto, el primer cuestionario y del sexto al decimotercero el segundo cuestionario.

10.2.3. Traducción de la Multimedia al chino

La última nueva característica que presenta la versión 5.0 es la traducción de todo el contenido de la Multimedia al idioma chino. En la diapositiva inicial donde el usuario puede escoger el idioma en el que desea ver la Multimedia, aparece la posibilidad de acceder a todo el contenido actualizado de la Multimedia traducido al chino, incluida la nueva característica de los cuestionarios de autoevaluación.

Esta nueva característica permite aumentar el espectro de alcance de la Multimedia abarcando un gran nuevo número de posibles usuarios en un país con mucha industria nuclear.

10.2.4. Video explicativo del contenido de la Multimedia

Para resumir todo el contenido de la Multimedia y presentarlo de forma más accesible a los usuarios, se ha realizado un video explicativo del contenido de la Multimedia en el que se muestran sus características. El formato de video permite mostrar al usuario todas las características de carácter interactivo que presenta la Multimedia, de modo que el usuario se pueda hacer una idea mejor de su contenido global de la que se podría hacer sólo a través de formato escrito.

El video se crea mediante el uso de la versión de prueba del programa Camtasia. Este programa permite editar videos y permite hacer grabaciones de la pantalla. Mediante estas grabaciones se ha podido mostrar al usuario el funcionamiento del programa.

Anteriormente ya existía un video explicativo del programa, y para crear el nuevo video se sigue el patrón de estructura del video anterior. Primero se muestran una secuencia de diapositivas en las que se explica el contenido global de la Multimedia: el nombre de los profesores y entidades creadores, los idiomas en los que esta traducido, número global de diapositivas. A continuación, se hace un resumen del contenido de cada capítulo, se explican las características adicionales que presenta el programa como son los cuestionarios y se detallan los usos que tiene actualmente la Multimedia en cursos de carácter formativo.

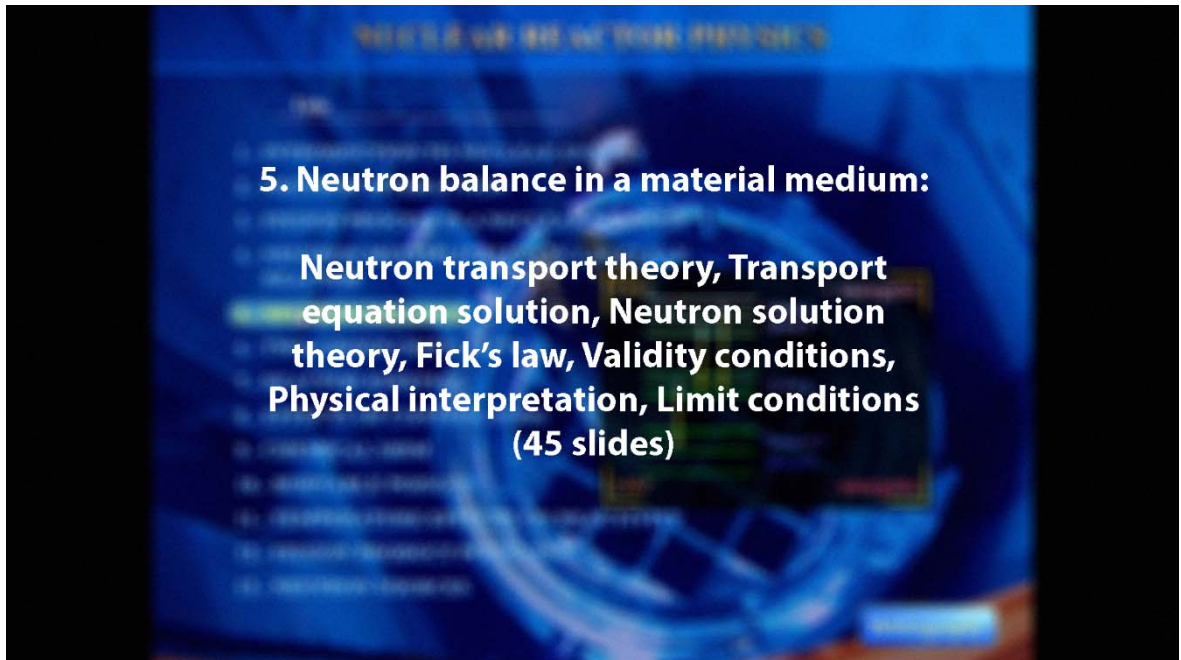


Fig. 30 Fotograma del video explicativo (I)

En la figura 30 se puede ver un fotograma del video donde se explica el contenido del capítulo cinco de la Multimedia.

A continuación, se muestra el contenido interactivo de la Multimedia con diversas grabaciones del funcionamiento de las animaciones y de los cuestionarios para ayudar al usuario a comprender el funcionamiento del programa.

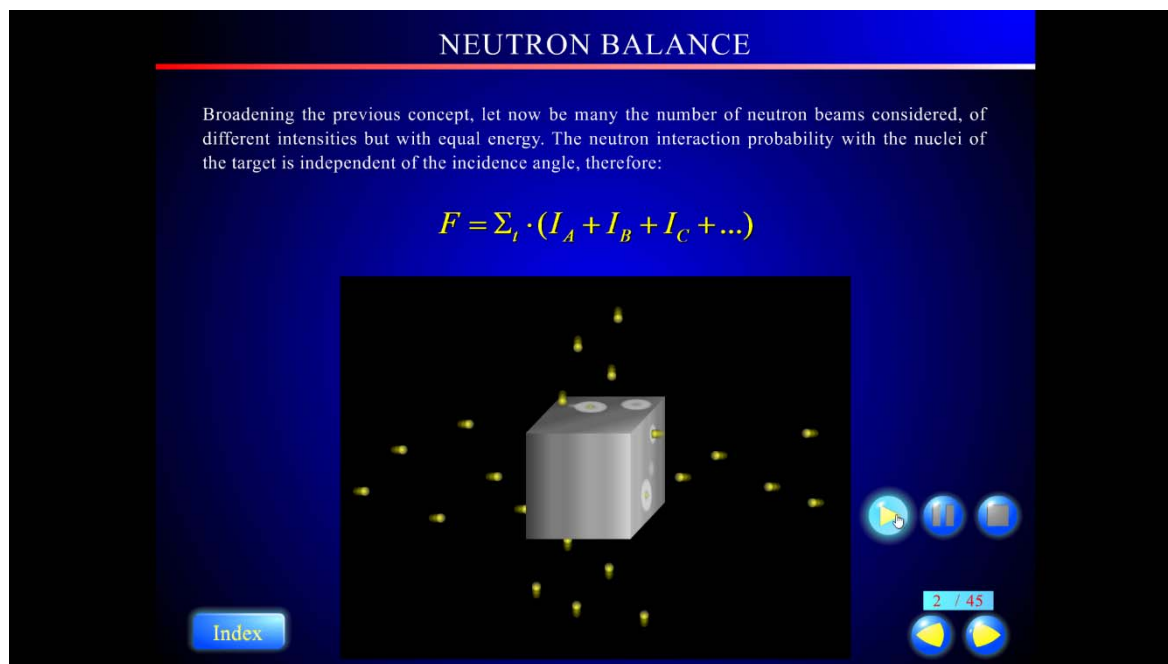


Fig. 31 Fotograma del video explicativo (II)

En la figura 31 se puede ver un fotograma del video en el que se muestra el funcionamiento de un video animado de la Multimedia.

El video es utilizado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) para complementar la explicación de la Multimedia ofrecida en su plataforma web. Desde donde es posible descargarse la Multimedia gratuitamente. También está colgado en el canal de YouTube de la European Nuclear Education Network agencia colaboradora en la producción del programa y de la cual el PhD Javier Dies es el vicepresidente.

10.3. Funcionamiento de la versión 5.0

El funcionamiento de la versión 5.0 es el mismo que el de la versión base, sólo se le han añadido distintas funcionalidades distintas como los cuestionarios y la versión en chino. Que añaden y no alteran las funcionalidades del programa.

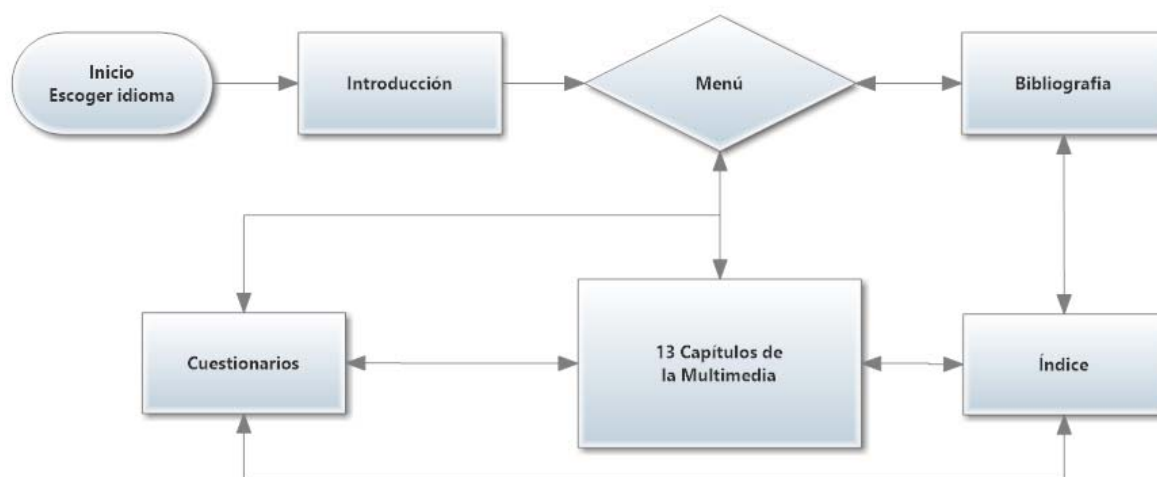


Fig. 32 Estructura final del funcionamiento de la Multimedia versión 5.0

En la figura 32 se puede ver un esquema de la estructura del funcionamiento de la versión 5.0. En esta nueva versión, y como en las anteriores, el usuario empieza escogiendo el idioma, en esta versión existe una opción más, y accede a las diapositivas de la introducción de la Multimedia, donde se especifican los nombres de los creadores y contribuidores, ya sea en carácter de desarrollador o de traductor, hasta llegar al menú.

El menú es un índice interactivo desde el cual el usuario puede acceder a todo el contenido de la Multimedia. Permite acceder a todos los capítulos, a la bibliografía y a los cuestionarios.

Los trece capítulos de la Multimedia no están interconectados entre ellos y para acceder de un capítulo a otro es necesario pasar por el Menú, en el caso de que se esté en la última diapositiva del capítulo el usuario, al apretar la tecla de siguiente, el usuario es redirigido al menú desde donde vuelve a poder acceder a todos los contenidos; o pulsando el botón del índice. El índice permite acceder de forma más específica al contenido de cada capítulo, ya que cada capítulo está subdividido en distintos apartados. El índice permite también acceder a la bibliografía y a los cuestionarios del mismo modo que el menú. Finalmente, a los cuestionarios también se puede acceder desde la última diapositiva de los capítulos cuatro, cinco y trece, siendo el capítulo cuatro y cinco, el final del primer bloque temático de los cuestionarios y el trece el final del segundo. Desde los cuestionarios el usuario tiene la opción de volver al apartado de la Multimedia del que provenía, pulsando el botón volver.

Conclusiones

Este proyecto ha permitido la obtención de una nueva versión de la Multimedia de física de reactores nucleares. Esta versión presenta tres novedades principales respecto a la versión anterior: una actualización de los datos del primer capítulo, la presencia de cuestionarios de autoevaluación y la implementación de la versión el chino.

La primera parte del proyecto, la depuración del programa, ha sido la más problemática en términos de realización, ya que requería de soluciones para los problemas de funcionamiento de la Multimedia. Esta primera parte, deja una Multimedia operativa y accesible a un cambio en la estructura externa, al solucionarse los problemas en su código fuente permitiendo así poder compilar el programa después de cambiar cualquier característica de la Multimedia.

Se ha cambiado toda la estructura del programa, siendo ahora el "Start.exe" el único archivo proyectador usado, donde se cargan todos los demás archivos ".swf" que contienen todo el contenido de la Multimedia. Esto ha provocado un cambio de todas las rutas de carga de los archivos, añadiendo ahora la carpeta del idioma seleccionado al estar el archivo proyectador en una carpeta superior. Después de estos cambios, ya era posible realizar cambios en el contenido de la Multimedia, al tener una versión funcional.

El primer cambio realizado ha sido la actualización de los datos del primer capítulo. Se han actualizado los datos de 28 gráficos y se han añadido tres diapositivas más. Una con información sobre la construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) con una animación facilitada por la compañía ENRESA, empresa con la licencia para el proyecto. Se ha añadido otra diapositiva sobre tres de los reactores nucleares: el VVER comercializado por la compañía rusa ROSATOM, el reactor APR-1400 comercializado por la empresa coreana Korean Electric Power Corporation (KEPCO) y el reactor ABWR comercializado por la compañía japonesa GE Hitachi Nuclear Energy. Finalmente se ha añadido otra diapositiva con un ejercicio planteado por el profesor Javier Dies.

El segundo cambio realizado ha sido la implementación de dos cuestionarios de autoevaluación. Estos dos cuestionarios han sido realizados por el profesor Javier Dies y han sido usados en numerosos cursos de formación en ingeniería nuclear. Los cuestionarios abarcan todo el contenido docente de la Multimedia: el primero del primer capítulo al quinto y el segundo del sexto capítulo al decimotercero. Los cuestionarios son en formato test multirrespuesta y el usuario tiene cuarenta y cinco minutos para finalizarlos. Mediante su uso el usuario podrá probar sus conocimientos adquiridos usando la Multimedia.

Finalmente, el tercer cambio realizado ha sido añadir una versión traducida al chino. Todo el contenido de la Multimedia ahora está disponible también en chino incluido los dos últimos cambios realizados, la actualización y los cuestionarios.

Se puede ver que el resultado de este proyecto no es sólo una nueva versión de la Multimedia, sino también una versión funcional y depurada que permitirá a la Multimedia seguir evolucionando hacia versiones con nuevas características al haberse solucionado la problemática de una estructura interna con errores que impedían cualquier avance de la Multimedia.

Propuestas de futuro de la Multimedia

Después de la finalización de este proyecto, existen muchas vías de mejora de la Multimedia.

1. Implementación de la Multimedia en formato HTML 5

El HTML 5 (HyperText Markup Language 5) es la quinta revisión del lenguaje básico de la World Wide Web, HTML. Este nuevo lenguaje de programación está siendo implementado en la mayoría de páginas web actualmente por su mayor compatibilidad con dispositivos móviles. Dos de las compañías más grandes del mundo: Apple y Microsoft, se están alejando del uso del Flash, el sistema operativo iOS de Apple no lo soporta y la última versión del Internet Explorer de Windows 8 tampoco. El HTML 5 evita la necesidad de usar complementos del navegador. Es frecuente que los navegadores requieran ciertos complementos que amplíen las funciones de las páginas web para ver contenidos interactivos, videos y elementos similares. Un ejemplo conocido es Adobe Flash Player, un complemento que carga animaciones multimedia interactivas y se usa, por ejemplo, para ver videos. Esto se traduce en que los navegadores necesitan elementos creados por terceras partes, o desarrolladores externos, hecho que provoca grandes reticencias a las grandes empresas como Apple o Windows, ya que no pueden controlar la procedencia o la seguridad de estas aplicaciones[10].

En cuanto a la Multimedia, implementarla en formato HTML 5 significaría simplificar mucho la estructura interna del programa. Permitiría, por ejemplo, tener todo el texto que compone la Multimedia en un archivo de texto aparte, facilitando mucho la traducción, ya que no serían necesarios conocimientos sobre el Adobe Flash para realizarla [10].

2. Desarrollo de la Multimedia para móviles y tabletas

A raíz del cambio anterior, el formato HTML 5 permitiría a la Multimedia ser adaptada para su uso en tabletas y móviles con sistemas operativos iOS y Android. Este avance significaría la adaptación de la Multimedia al mundo de las nuevas tecnologías móviles, permitiendo a

los usuarios disponer del contenido de la Multimedia de forma más rápida y directa sin necesidad de un ordenador. Esto permitiría a los usuarios trabajar también a dos niveles, con un ordenador y con el dispositivo móvil con la Multimedia como fuente de información.

3. Traducción a nuevos idiomas

La Multimedia es distribuida por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) que tiene como idiomas oficiales: el inglés, el español, el chino, el francés, el ruso y el árabe. Actualmente el único idioma oficial que no está presente es el árabe y países de habla árabe, como los Emiratos Árabes, están llevando un proceso de expansión energética, sobretodo en el campo de la energía nuclear. Concretamente se están construyendo 3 reactores APR-1400 en los Emiratos Árabes. Actualmente, se ha iniciado un proceso equivalente al seguido con el chino para hacer la versión en árabe, en el momento de entregar este proyecto podemos decir que la versión en árabe esta traducida el 95% e implementada en la Multimedia en el 60%.

Otro posible idioma al que traducir la Multimedia sería el japonés. Actualmente Japón tiene 48 reactores en operación y en 2010, antes del accidente de la central de Fukushima-Daiichi, el 29,21% de la energía eléctrica era generado por las centrales nucleares de Japón.

Por lo tanto, sería importante para la Multimedia su traducción al árabe y al japonés, que permitiría ampliar el espectro de alcance hacia unos países con una cultura nuclear muy desarrollada, como es el caso de Japón; o en expansión como es el caso de los Emiratos Árabes.

Presupuesto

Los costes para la realización del proyecto se clasifican en tres tipos:

1. Material de oficina
2. Gastos generales
3. Personal

Material de oficina

El material de oficina tiene en cuenta todos los gastos relacionados con el lugar de trabajo que son necesarios para el desarrollo del proyecto. En estos gastos se encuentran las partidas correspondientes a las impresiones, encuadernación y CD's necesarios para su entrega y presentación; las licencias de los programas informáticos utilizados; las amortizaciones del ordenador, impresora e inmuebles; y un concepto de otros que incluye gastos varios como bolígrafos, carpeta en la que deben presentarse los documentos, etc. Nótese que se incluye el precio de las licencias de los programas. Durante la realización de este proyecto se han usado las versiones de prueba pero, si se quisiera realizar un proyecto similar en la industria, se deberían de obtener dichas licencias, es por eso que se incluyen en el presupuesto.

Material de oficina			
Concepto	Unidades	€/Unidad	Coste Parcial (€)
Impresión y encuadernación PFC	2	75	150,00 €
CD's	5	2	10,00 €
Licencia Flash Professional	1	199,99	199,99 €
Licencia Microsoft Office	1	80	80,00 €
Licencia Articulate Studio	1	1138,81	1138,81 €
Licencia Camtasia	1	137	137,00 €
Amortización PC			150,00 €
Amortización Impresora			20,00 €
Amortización Inmuebles			30,00 €
Otros			50,00 €
		Subtotal 1	1965,80 €

Tabla 1 Presupuesto de la partida de Material de oficina

Gastos generales

Los gastos generales corresponden a los gastos en electricidad y agua debidos al lugar de trabajo.

Gastos generales	
Concepto	Coste Parcial (€)
Electricidad y Agua	100,00 €
Subtotal 2	100,00 €

Tabla 2 Presupuesto de la partida de Gastos generales

Personal

El proyecto ha tenido una duración de 12 meses. El primer mes se han dedicado a la formación y documentación acerca del software Adobe Flash. Los siguientes siete meses se han dedicado al desarrollo del proyecto. Se han dedicado tres meses al análisis completo de la Multimedia y al depurado de su código fuente; un mes a la actualización de los datos del primer capítulo; dos meses a la implementación del cuestionario y un mes para el ensamblaje de la versión en chino. Por último, la redacción del proyecto según la normativa que aplica ha tenido una duración de dos meses. El número de horas trabajadas ha sido alrededor de las 1750 horas, teniendo en cuenta el trabajo del proyectista y el del traductor. El proyectista aproximadamente ha trabajado los primeros cinco meses a media jornada (20h/semana) y los siete restantes a jornada completa (40h/semana). El traductor ha trabajado tres meses a media jornada. La remuneración se ha basado en la ORDEN ITC/540/2010 [11], contabilizando a los dos trabajadores como Técnicos Juniors.

Personal			
Concepto	Horas	€/hora	Coste Parcial (€)
Técnico Júnior (Proyectista)	1500	32,17	48270,00 €
Técnico Júnior (Traductor)	250	32,17	8042,50 €
Subtotal 3			56312,50 €

Tabla 3 Presupuesto de la partida de personal

Presupuesto total

Finalmente, se presenta el resumen del presupuesto total en el cual se incluyen todas las partidas mencionadas anteriormente y los impuestos que aplican actualmente.

PRESUPUESTO TOTAL	
Partida	Coste (€)
Material de oficina	1965,80 €
Gastos Generales	100,00 €
Personal	56312,50 €
TOTAL	58378,30 €
TOTAL (IVA, 21%)	70637,74 €

Tabla 4 Presupuesto Total

Impacto ambiental

El proyecto está directamente relacionado con la docencia en ingeniería nuclear. La Multimedia es usada para formar ingenieros nucleares y operarios de centrales nucleares a partir de contenido visual e interactivo para facilitar la comprensión de todos los conceptos.

La mejor asimilación de los conceptos por parte de los ingenieros y operarios, supondrá una disminución del riesgo en operación de las centrales nucleares. Asimismo, supone una expansión de la docencia en energía nuclear, una tecnología sin emisiones de gases y respetuosa con el medio ambiente

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer al tutor del proyecto, Javier Dies, la confianza depositada, el hecho de brindarme la oportunidad de trabajar en un proyecto de estas características y la tutorización recibida durante este proyecto.

En segundo lugar, deseo agradecer profundamente la estrecha colaboración recibida a lo largo del proyecto de Roger García y Pedro Díaz. Sus consejos y sugerencias han servido de ayuda para solucionar distintos problemas de índole más creativa, sobretodo en el caso del depurado.

Finalmente agradecer a los compañeros del Nuclear Engineering Research Group (NERG) por su colaboración en momentos puntuales durante la realización del proyecto.

Bibliografía

- [1] A. S. INCORPORATED, *ADOBE® FLASH® PROFESSIONAL Ayuda y tutoriales*. 2013.
- [2] A. S. INCORPORATED, *Programación con ADOBE ACTIONSCRIPT 3.0*. 2008.
- [3] I. International Energy Agency, “2013 Key World Energy Statistics,” vol. 20131727, Dec. 2013.
- [4] I. International Atomic Energy Agency, “Nuclear Power Reactors,” 2014.
- [5] U. Eléctrica, Asociación Española de la Industria, “PRODUCCIÓN DIARIA DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS 2013 (Daily Generation of the Spanish NPPs . Year 2013),” 2013.
- [6] F. Nuclear, “Energía 2013,” 2013.
- [7] U. Asociación Española de la Industria Eléctrica, “Avance Estadístico,” 2013.
- [8] U. Asociación Española de la Industria Eléctrica, “LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS EN 2013,” 2013.
- [9] I. Institut Català d’Energia, “Balanz energia eléctrica 2010-2013,” 2013.
- [10] Adam Freeman, *The Definitive Guide to HTML 5* .
- [11] M. D. E. Industria and T. Y. Comercio, “Boletín oficial del estado,” vol. 2013, pp. 2007–2013, 2013.
- [12] A. Poch, *Apuntes de Física Moderna* .
- [13] E. O. G. E. SALVAT, “Fisión.”
- [14] “Imagen instalación PWR.” [Online]. Available: http://www.hellfirez.de/web/referate/inhalte/Physik_Energie.htm.
- [15] Central Nuclear, “Definición de Escenarios en Otros Modos de la Central Nuclear,” 2002.
- [16] “ENUSA,” (*Empresa Nacional del Uranio S.A.*). [Online]. Available: http://www.enusa.es/pdf/MAEF_2007_CSI.pdf.

A. Conceptos básicos

A.1 Energía nuclear y radiactividad

La **energía nuclear** es la energía que se libera espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares. En estas reacciones, los núcleos sufren transformaciones inducidas por la interacción de partículas nucleares de todo tipo (neutrones, protones, alfa, núcleos pesados, etc.) dando lugar a nuevos nucleidos, generalmente inestables, y por lo tanto radiactivos, y a la emisión de partículas nucleares.

La **radiactividad** es la propiedad de algunos elementos químicos inestables a emitir radiaciones muy energéticas capaces de ionizar y excitar la materia. La emisión de **radiaciones ionizantes** es una característica de muchos átomos, llamados **radiactivos**, en cuyo núcleo el número de neutrones es escaso o excesivo, lo que los hace inestables. La emisión de radiaciones puede ser de cuatro tipos diferentes: alfa (α), con capacidad limitada de penetración en la materia, pero con mucha intensidad energética; beta (β), algo más penetrante pero menos intensa; gamma (γ), muy penetrante; y neutrónica, también muy penetrante.

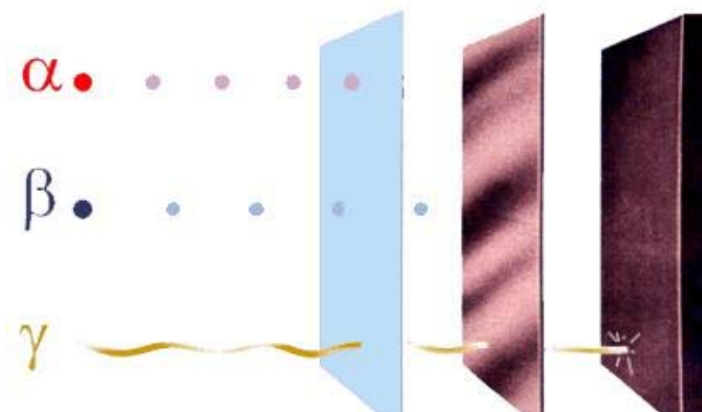


Fig B.1. Poder de penetración de los tipos de radiación. Fuente: [12]

La intensidad con la que se desintegra una sustancia radiactiva se denomina **Actividad** y expresa el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo, teniendo como unidad derivada del sistema internacional el Becquerel (Bq). También es posible utilizar otra unidad de actividad, el Curio (Ci), nombrada así en homenaje a los físicos y químicos Pierre y Marie Curie. 1 Curio equivale a $3.7 \cdot 10^{10}$ Becquerels.

La **dosis equivalente** es una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos. Su unidad de medida del sistema internacional es el Sievert (Sv). Antiguamente se utilizaba como unidad de dosis equivalente el rem (Roentgen Equivalent Man) y la conversión entre una y otra unidad es 1 Sievert igual a 100 rem.

La exposición a la radiación debe mantenerse a un mínimo dado que sus efectos son acumulativos. Por esta razón, se establecen límites de dosis anuales para el público y para trabajadores que puedan estar expuestos profesionalmente. En España, el límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mili Sievert (mSv) por año oficial y el límite de dosis efectiva para trabajadores expertos será de 100 mSv durante todo el período consecutivo de cinco años oficiales, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

Las reacciones nucleares se clasifican en reacciones de fisión nuclear y reacciones de fusión nuclear. El proceso más investigado y desarrollado para la obtención de energía aprovechable a partir de la energía nuclear de forma masiva es la fisión nuclear.

La **fisión nuclear** es una reacción en la cual al hacer incidir neutrones sobre un núcleo pesado (normalmente Uranio y Plutonio), éste se divide en dos núcleos, generalmente radiactivos y con masa aleatoria, emitiendo dos o tres neutrones y liberando una gran cantidad de energía. Esta energía se emite tanto en forma de radiación gamma como de energía cinética de los fragmentos de fisión que calentarán la materia que se encuentre alrededor del espacio donde se produzca la fisión.

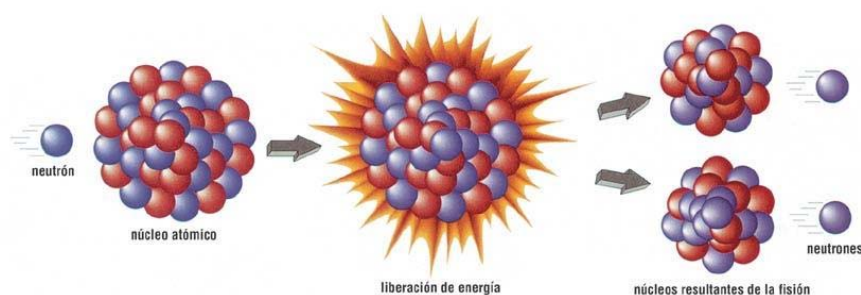


Fig B.2. Poder de penetración de los tipos de radiación. Fuente: [13]

Además, los neutrones emitidos pueden ocasionar nuevas fisiones al interactuar con nuevos núcleos fisionables que emitirán nuevos neutrones y así sucesivamente. A este efecto multiplicador se le conoce con el nombre de **reacción en cadena**.

La reacción en cadena es representada por el **factor de multiplicación** (K_{eff}), definido como la relación entre el número de fisiones (o de neutrones) de una generación dada y el número de fisiones (o de neutrones) de la generación anterior.

Por **reactividad** (ρ) se entiende la capacidad del reactor de multiplicar la población neutrónica, y numéricamente se define como:

$$\rho = \frac{K_{eff} - 1}{K_{eff}} \quad (B.1)$$

Por lo tanto, la reacción en cadena se extingue si el factor de multiplicación (K_{eff}) resulta inferior a uno y la reactividad (ρ) menor que cero. Es decir que la población neutrónica disminuye y el reactor es **subcrítico**. En cambio, si K_{eff} es igual a la unidad y ρ , igual que cero, la reacción en cadena se mantiene. Por tanto, el reactor se encuentra en estado **crítico** y la población neutrónica se mantiene constante. El término crítico se refiere a un estado de equilibrio dinámico en la reacción de fisión en cadena; en él no existe aumento de la potencia, temperatura y densidad de neutrones en el tiempo. Finalmente, si K_{eff} es superior a la unidad y ρ , mayor que cero, la reacción en cadena se propaga, encontrándose el reactor en estado **supercrítico**. En esta situación, la población neutrónica se incrementa.

Para poder controlar la reactividad en los reactores de agua a presión se emplea **boro** diluido en el agua (entre otras formas de controlar la reactividad) ya que éste posee una elevada capacidad de absorción de neutrones, disminuyendo de esta forma la población neutrónica y extinguiendo la reacción en cadena.

Sin embargo, una vez parado el reactor, gran cantidad de calor continúa siendo liberado en el combustible debido a la presencia de productos de fisión que se desintegran (calor de decaimiento o de desintegración). Dicho calor es denominado **calor o potencia residual** y es necesario evacuarlo refrigerando ininterrumpidamente para evitar daño en los elementos combustibles.

A.2 Descripción de una central nuclear PWR

La aplicación principal de la energía nuclear es la producción de electricidad en las centrales nucleares. Por tanto, en este apartado se describe brevemente el funcionamiento de una central nuclear de agua a presión o *Pressurized Water Reactor* (PWR) dado que es el tipo de central sobre la que se basa el estudio realizado. Se pretende que con la siguiente descripción el lector no especializado en energía nuclear se familiarice con los conceptos básicos de funcionamiento de la central.

A.2.1 Descripción de la central

Un central nuclear es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear, que se caracteriza por el empleo de materiales fisionables que mediante reacciones nucleares proporcionan calor. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional de vapor o de Rankine para mover un alternador y producir energía eléctrica.

El tipo de reactor estudiado emplea dióxido de Uranio (UO_2) enriquecido como combustible y es refrigerado y moderado por agua ligera a alta presión (de aquí el nombre de *Pressurized Water Reactor*) y en fase líquida. Consta de tres circuitos hidráulicamente separados: primario, secundario y terciario.

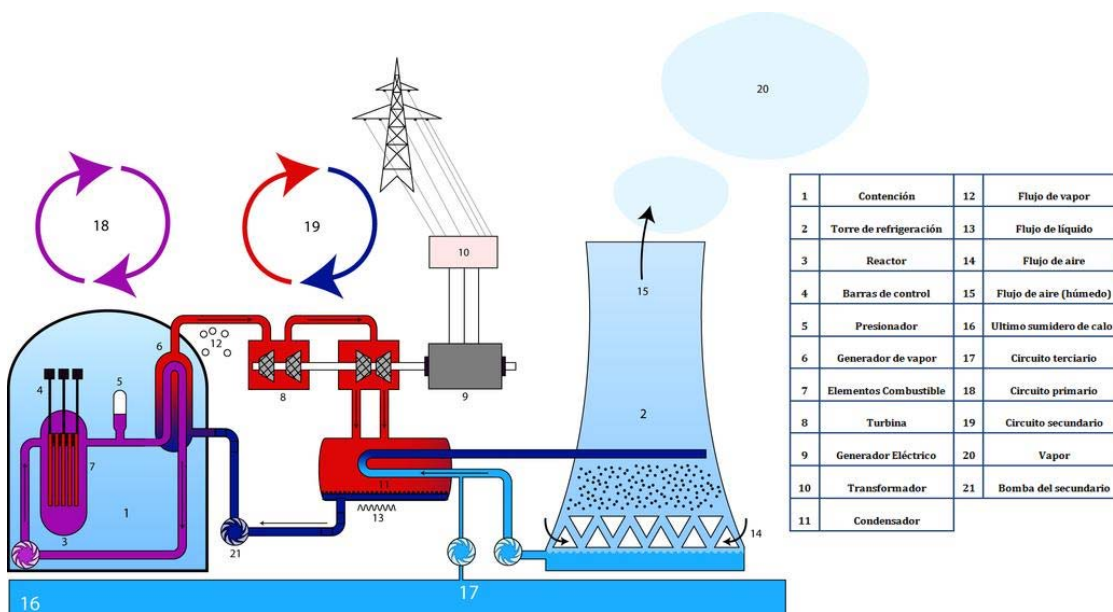


Fig B.3. Diseño de una central nuclear de agua a presión (PWR). Fuente: [14]

El primario consta de entre 1 y 4 lazos en paralelo que contienen el agua que atraviesa el núcleo. Un presionador mantiene el agua del primario a alta presión, para conseguir alcanzar altas temperaturas sin que hierva. El agua del circuito primario, impulsada por bombas centrífugas, atraviesa el núcleo y extrae el calor generado, cediéndolo después en uno o varios intercambiadores o generadores de vapor al agua a menor presión del circuito secundario. Esta presión menor permite que el agua del secundario alcance la saturación y hierva en el lado de carcasa del generador de vapor, produciendo un vapor que se conduce a través de unas líneas hasta unas turbinas donde se expande haciéndolas girar a gran velocidad. Las turbinas hacen girar a su vez a un generador eléctrico. Al salir de la turbina, el vapor se condensa en el condensador y es bombeado de nuevo al generador de vapor. El condensador intercambia calor con el circuito terciario que es el que evacua el calor de la

central al último sumidero, normalmente el mar o el río. En el caso en que el caudal de circuito terciario sea insuficiente, es posible la instalación de una torre de refrigeración para rebajar la temperatura del agua de refrigeración utilizada evitando un calentamiento excesivo del agua.

A.2.2 Modos de operación

Los estados operacionales de planta, o Modos de Operación, son distintas formas de funcionamiento de la central bajo una combinación de reactividad del núcleo, nivel de potencia térmica nominal y temperatura media del refrigerante del reactor. En la Central-Nuclear estudiada se definen 6 modos:

Modo	Descripción	K_{eff}	% Potencia térmica nominal*	Tª media del refrigerante
1	OPERACIÓN A POTENCIA	≥ 0.99	$> 5\%$	$\geq 175^{\circ}\text{C}$
2	ARRANQUE	≥ 0.99	$\leq 5\%$	$\geq 175^{\circ}\text{C}$
3	ESPERA CALIENTE	< 0.99	0	$\geq 175^{\circ}\text{C}$
4	PARADA CALIENTE	< 0.99	0	$175^{\circ}\text{C} > T > 93^{\circ}\text{C}$
5	PARADA FRÍA	< 0.99	0	$\leq 93^{\circ}\text{C}$
6	RECARGA**	≤ 0.95	0	$\leq 60^{\circ}\text{C}$

* Sin contar la potencia residual.

** La tapa de la vasija se encuentra desatornillada o retirada y combustible en la vasija.

Tabla B.1. Modos de operación de la Central-Nuclear. Fuente: [15]

Para cada Modo de Operación, la planta puede presentar distintas características o configuraciones específicas que permiten subdividir dicho modo en diversos Estados Operacionales de Planta (EOPs).

A.3 Ciclo del combustible nuclear

Actualmente, la energía nuclear produce cerca del 14% de la energía eléctrica mundial, mediante aproximadamente 440 reactores nucleares distribuidos en 30 países. La potencia eléctrica instalada de todas las centrales del mundo es de 372 GW_e y la gran mayoría de estos reactores son térmicos y de agua ligera. La energía nuclear utiliza el Uranio como combustible principal. El proceso que sigue el Uranio desde su extracción en las minas hasta su gestión final como residuo se puede separar en tres pasos básicos: la fabricación del elemento combustible, la explotación del combustible en el reactor y la gestión final del elemento combustible.

A.3.1 Fabricación del Elemento de Combustible

La fabricación del combustible nuclear tarda unos dos años e incluye los siguientes procesos:

En primer lugar, se procede a la extracción del mineral de Uranio. Éste se obtiene de excavaciones subterráneas o a cielo abierto, y se lava en el mismo lugar donde se excava. Luego, el mineral se procesa para reducir el material a un tamaño uniforme de partícula, convirtiéndolo en un polvo seco que se llama *yellow cake*, cuya composición es de entre un 75-85% de U_3O_8 , siendo así más fácil su transporte. Las principales minas de Uranio en activo se encuentran en Canadá, Australia, Níger, Kazakstán y República Checa. Las actividades realizadas en las minas son la prospección, la explotación y la gestión de la mina después de su explotación.

En segundo lugar, seguido de la extracción del mineral de Uranio, se encuentra la primera conversión. El *yellow cake* de U_3O_8 es una sal de Uranio, normalmente diuranato amónico o peróxido de Uranio, de naturaleza sólida, que no permite el enriquecimiento en el isótopo fisionable del Uranio, el U-235. Las tecnologías actuales de enriquecimiento requieren que el Uranio se encuentre en forma gaseosa, y para ello, el *yellow cake* se convierte en hexafluoruro de Uranio (UF_6). Éste presenta la particularidad de estar en estado gaseoso a bajas temperaturas ($60^\circ C$) lo que evita el consumo de más energía en un proceso que, ya de por sí, consume mucha.

El tercer proceso es el mismo enriquecimiento del Uranio. Inicialmente, el Uranio natural contiene una composición de U-235 (fisionable) de 0,71%, y debe ser enriquecido hasta entre un 2% y un 5% para que pueda utilizarse como combustible en un reactor nuclear térmico. La difusión gaseosa y el centrifugado de gas son las tecnologías de enriquecimiento usadas habitualmente, que aprovechan el hecho que el U-235 sea un poco más ligero que el U-238.

En cuarto lugar, se encuentra la segunda conversión. El UF_6 se convierte en óxido de Uranio (UO_2), debido a que es un compuesto más estable químicamente y que permite la formación de pastillas.

Finalmente, se produce la fabricación de los elementos combustibles. El óxido de Uranio es un polvo negro y fino, de apariencia metálica, que se manufactura para conseguir una geometría y unas densidades que permitan la producción mantenida de la fisión controlada de los átomos de U-235. Para ello se lo somete a una serie de operaciones metalúrgicas para alcanzar la forma adecuada al tipo de combustible que se quiere fabricar, disponiéndose dentro de unos tubos de circonio (vainas de combustible o *fuel rods*). Una

vez preparadas, estas vainas se agrupan en ensamblajes especiales que constituyen los elementos combustibles que se utilizaran en el reactor.

A.3.2 Explotación del combustible en el reactor

Durante entre unos 3 y 5 años aproximadamente, el conjunto combustible es sometido, debido a las reacciones nucleares en el interior del reactor, a temperaturas y presiones elevadas, así como a un campo intenso de radiación, sometiendo a los materiales a condiciones de gran dureza que han de ser convenientemente gestionadas y controladas. El elemento combustible suele ser utilizado en varios ciclos de la central, normalmente dispuesto en diferentes posiciones del reactor, para ver así optimizado su grado de quemado, o *burn-up*.

A.3.3 Gestión final del Elemento de Combustible

La gestión final del elemento combustible no está aún bien definida o decidida por los distintos países que disponen o han dispuesto de centrales nucleares. Sin embargo, el primer proceso necesario por cualquier central es el almacenamiento del combustible gastado en piscinas, centralizadas o en la propia central, durante un cierto tiempo. De esta forma se permite que decaiga gran parte de la radiactividad del combustible, así como la continua refrigeración de la elevada carga térmica que lleva asociada. Una vez conseguidos unos valores adecuados de radioactividad, los elementos combustibles podrían abandonar la central bien para ser tratados como residuos de alta actividad, o bien para su reprocesado para fabricar nuevo combustible.

La disposición final de los residuos de alta actividad, es decir, del combustible nuclear gastado, se espera poder realizar en almacenes geológicos, los cuales están actualmente en proceso de investigación y desarrollo. Mientras se produce esta investigación, el combustible nuclear gastado que ya ha estado un tiempo suficiente en las piscinas de combustible, puede disponerse durante un largo periodo de tiempo en un Almacén Temporal Centralizado. En el mundo ya hay ejemplos de dichos almacenes en funcionamiento. En aquellos países o regiones que no disponen de un Almacén Temporal Centralizado, las propias Centrales construyen en su emplazamiento un Almacén Temporal Individualizado siempre que sea necesario (en caso de saturación de Piscina de Combustible Gastado, por ejemplo).

A.4 Tipos de Elementos de Combustible en las centrales nucleares PWR españolas

Dado que Centrales-Nucleares españolas utilizan ECs suministrados por la empresa pública ENUSA (Empresa Nacional de Uranio S.A.), a continuación se hace una breve descripción de los tipos de ECs que fabrica para reactores de agua a presión (PWR).

Los ECs que fabrica bajo la licencia de Westinghouse para reactores PWR tienen los siguientes componentes principales:

- **Vaina de combustible:** Formada por un tubo de ZIRLO (aleación de Zircaloy) o de zircaloy, tapones de zircaloy, muelle de acero inoxidable y pastillas de óxido de Uranio (UO_2). También pueden incorporar pastillas de UO_2 con gadolinia (óxido de gadolinio).
- **Tubos guía:** Tubos de ZIRLO o zircaloy.
- **Rejillas:** de Inconel y ZIRLO o zircaloy.
- **Cabezales:** Dos cabezales, uno superior y otro inferior, de acero inoxidable.

Los elementos combustibles que fabrica ENUSA en estos momentos son cuatro: 17x17 MAEF, RFA 900, RFA 1300 y 17x17 MAEF-XLR.

- **17x17 MAEF:** Consiste en un haz de 264 barras combustibles dispuestas en una red cuadrada de 17x17 posiciones sustentadas por 12 rejillas. Tal y como se muestra en la figura B.4, de las 12 rejillas, 2 son extremas, seis intermedias, tres mezcladores intermedios y una protectora. Las rejillas, junto con 24 tubos guía, un tubo de instrumentación y dos cabezales en los extremos forman el esqueleto estructural del tubo combustible.
- **RFA 900:** Combustible similar al 17x17 MAEF, pero suministrado a centrales de la compañía *Electricité de France*, en Francia. Presenta pequeñas diferencias en los materiales de sus componentes y en el diseño de los tubos guía, que incorporan un tubo amortiguador en su interior.
- **RFA 1300:** Este tipo de combustible se destina a centrales de la compañía *Electricité de France*, en Francia y de *Electrabel*, en Bélgica. Ambos tipos de combustible comparten las características generales del MAEF, pero se diferencian

en la longitud total del elemento combustible y en la incorporación de un tubo amortiguador en el interior de los tubos guía. Además, el diseño MAEF-XLR para Bélgica incorpora espárragos guía en el cabezal superior para posibilitar la recarga rápida de combustible.

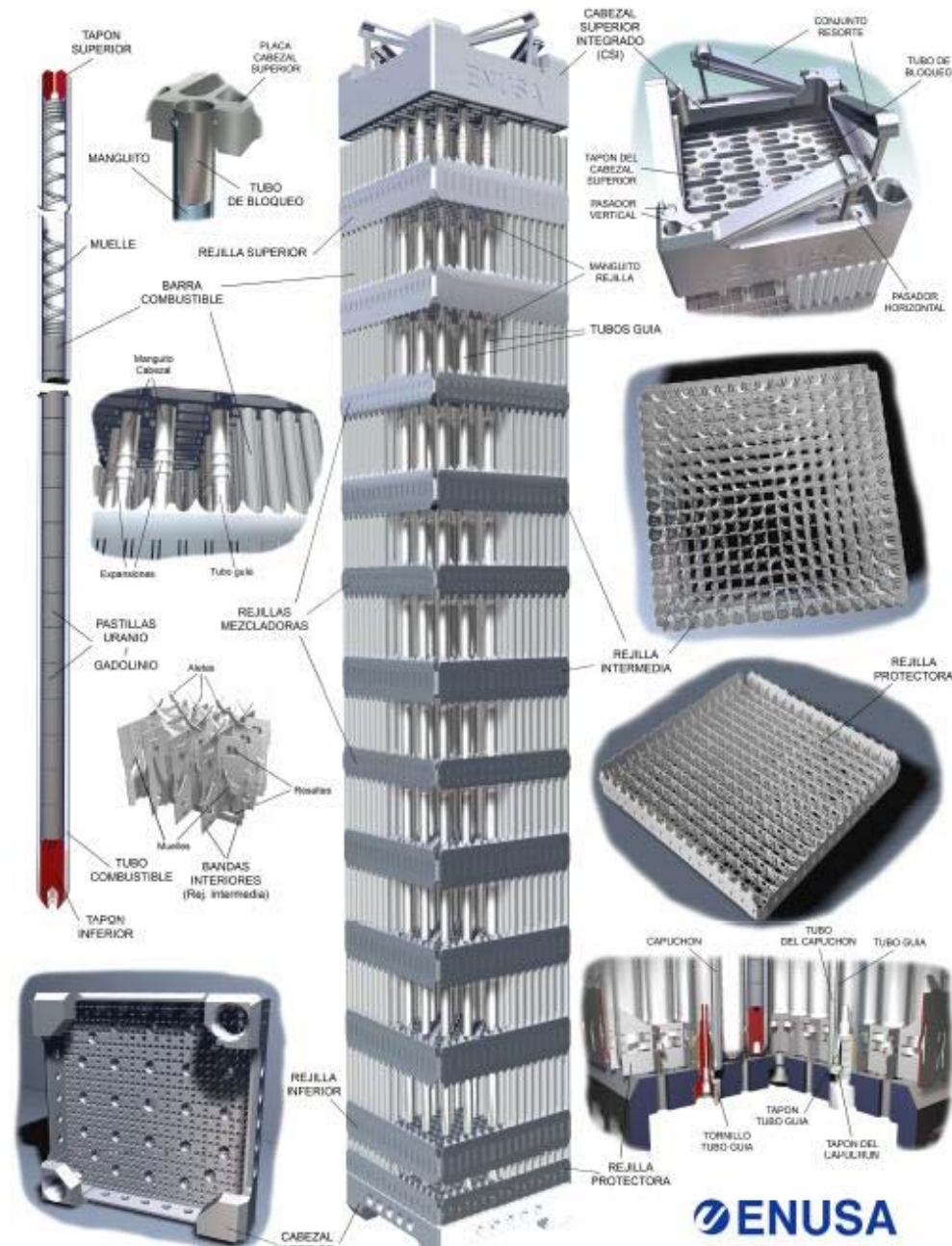


Fig. B.4. Elemento de Combustible tipo 17x17 MAEF. Fuente: [16]