

GECYRE, LA BASE DE DATOS PARA LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y RESIDUOS ESPECIALES DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS

ROSA GONZÁLEZ GANDAL (NATURGY - INGENIERÍA NUCLEAR),
 ÁLVARO FENOY CRUZ (NATURGY - INGENIERÍA NUCLEAR),
 MIGUEL Á. RODRÍGUEZ GÓMEZ (NATURGY - INGENIERÍA NUCLEAR),
 ALEJANDRO ALONSO APERTE (NEXUS5) y
 JOSÉ MARÍA GÓMEZ PALOMINO (ENRESA)

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En 2011, Naturgy Ingeniería Nuclear S.L., con el soporte de la empresa de servicios informáticos NEXUS5, comenzó la andadura del proyecto de diseño y desarrollo de Gecyre, nombre de la base de datos para la gestión del combustible gastado (CG) y residuos especiales¹ (RE) de las centrales nucleares (CC.NN.) españolas.

Este desarrollo nació por la necesidad de la Empresa Nacional de Residuos, Enresa, de disponer de forma centralizada toda la información necesaria para la gestión del GC y RE y para lo cual se creó un grupo de trabajo con representantes de Unesa (actualmente Foro Nuclear). Además, esta base de datos tiene por objeto cumplir con los requerimientos del Consejo de Seguridad Nuclear reflejados en:

- Guía de Seguridad GS9.3 “*Contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos de las instalaciones nucleares*”, en la que se indica que los titulares de las centrales nucleares deberán disponer de una base de datos, actualizada al final de cada ciclo, conteniendo las características generales del combustible gastado generado, tanto los referidos a los aspectos constitutivos como los que se definen su utilización en el núcleo, en concreto:
 - Características físicas y estructurales que tipifican los diferentes diseños.
 - Enriquecimiento inicial, ciclos en los que ha operado y quemado de descarga.
 - Cantidades generadas (en número de elementos combustibles y toneladas de uranio) y las previsiones de generación futuras basadas en la estrategia de ciclos en vigor.

- Instrucción Técnica sobre el control e inventario de residuos de alta actividad y combustible gastado almacenados en piscina, para cada planta, en las que se indica el contenido de la base de datos de combustible gastado y residuos de alta actividad que debe incluir, entre otras, la localización y ubicación de los elementos combustibles y de los residuos de alta actividad, la historia de irradiación, el estado físico final y las referencias y trazabilidad de los datos físicos y químicos.

El principal reto para construir esta base de datos, además de albergar el inventario con toda la información del combustible y resto de componentes asociados, consistía y aún consiste, en resolver el conjunto de casuísticas y particularidades existentes en todas las centrales de una forma integral y normalizada. Como es bien sabido, las centrales nucleares españolas tienen tecnologías diferentes, ya sean PWR o BWR, de diferentes tecnólogos (Westinghouse, General Electric o KWU-Siemens) y, además, la experiencia operativa puede variar notablemente de unas a otras.

Por tanto, la base de datos debía contemplar esta variabilidad y resolver de manera estructural coherente, desde el punto de vista de ingeniería, tanto el tipo de objetos, como la estructura de entidades y campos y sus relaciones de manera jerárquica y funcional por reactor, así como transversal con coherencia entre todos ellos. Esto permite asegurar e ir mejorando la consistencia, trazabilidad, y gestión de datos en Gecyre de acuerdo con la experiencia operativa y avances de requisitos. Desde la sustitución de un canal, a las distintas reparaciones de elementos, la utilización de barras de acero, o la reutilización de barras de control, entre otros, los procesos y resultados de la gestión en las plantas deben ser contemplados y bien recogidos en la base, así como presentados en la aplicación. De manera evolutiva en el tiempo también ha sido necesario resolver la caracterización del combustible y su condición para el acondicionamiento y gestión posterior. Basándose en los tipos de inspección y

¹Se consideran residuos especiales aquellos residuos que no puede ser gestionados en el C.A. El Cabril.

los posibles defectos y severidades encontrados en las mismas, se desarrolla un modelo de datos que permita asignar estas caracterizaciones por elemento y de acuerdo con la casuística del tipo de reactor.

Como resultado de todo lo anterior, la base de datos se encuentra en constante evolución y adaptación a la normativa y los avances en este campo, adaptando su modelo de datos, logrando así facilitar la gestión integral de combustible gastado y los residuos especiales de las CC.NN. españolas.

En 2014, tras el diseño y desarrollo de los distintos procesos que definen la gestión del CG y RE y que contempla los contenidos necesarios para llevar a cabo la gestión posterior, llegó el periodo de pruebas y, posteriormente, la puesta en funcionamiento de Gecyre. Desde entonces, Naturgy Ingeniería Nuclear realiza las revisiones funcionales requeridas por las solicitudes de Enresa y derivadas de las necesidades y acuerdos del sector de cara a afrontar los retos que se van presentando. Asimismo, realiza las actualizaciones, periódicas y de mantenimiento y gestiona su hospedaje.

ARQUITECTURA

El conjunto funcional de la aplicación y base de datos Gecyre se sustenta en tres componentes principales:

- 1) Una base de datos capaz de almacenar la información objetivo. El diseño conceptual y el diccionario de datos definen el contenido de la base de datos y la manera en que se encuentra organizada dicha información. Esta base de datos se encuentra desarrollada en lenguaje SQL.
- 2) Un protocolo de comunicación de información entre CC.NN. y Enresa. Para ello se dispone de una especificación común para la emisión y recolección de información desde los sistemas de información de los reactores hasta Enresa de forma segura, mediante un fichero de intercambio XML.
- 3) La interfaz de usuario. Consistente en una aplicación desarrollada para mostrar y resolver los flujos de información requeridos y resolver la interacción con los usuarios, elaboración de consultas y emisión de informes. Es autosuficiente y se encuentra implantada de forma similar a cualquier aplicación de Windows, con acceso cifrado de usuario por escritorio remoto.

CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS

La base de datos se estructura en tres partes que son definición, caracterización y ubicación:

Definición

En la primera parte se describen las características del reactor (Figura 1), las características geométricas y físicas de los diferentes tipos de elementos combustibles que se presentan en una central nuclear; así como de los componentes que lo forman: rejillas, tubos guía, tubos de instrumentación, canales, cabezales, etc.

En esta parte también se definen los distintos tipos de residuos especiales donde se incluye la información de las características físicas y geométricas de las barras de control, venenos consumibles, fuentes neutrónicas, dispositivos tapón, y otro tipo de aditamentos o componentes que se consideren residuos especiales y que se encuentran alma-

Figura 1. Datos generales de un reactor.

cenados en las piscinas de combustible o en un ATI en su correspondiente contenedor.

Los datos relacionados con la operación del reactor en cada uno de sus ciclos tienen el objetivo de permitir la caracterización radiológica posterior del combustible gastado y los residuos especiales asociados en el reloj de tiempo por ciclo. Los datos relativos al reactor se pueden clasificar en dos: características generales del reactor y la información de operación de los ciclos.

Cabe resaltar la información específica que se recoge sobre **Combustible nuclear gastado**, que incluye la descripción de las tipologías de EC existentes en cada reactor, basadas en (Figura 2):

- Diseño mecánico, donde se presentan los datos de carácter geométrico, como el código el diseño mecánico, así como características físicas (dimensiones, masas y materiales constituyentes). También incluye las características de material fisil, venenos neutrónicos incorporados en barra (diseño nuclear), y referencias a los planos de fabricación.

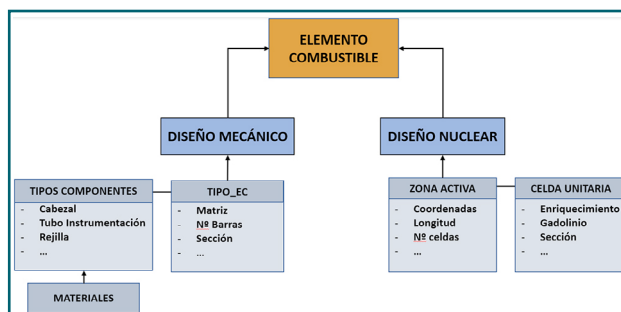


Figura 2. Esquema de la modelización del Elemento de Combustible.

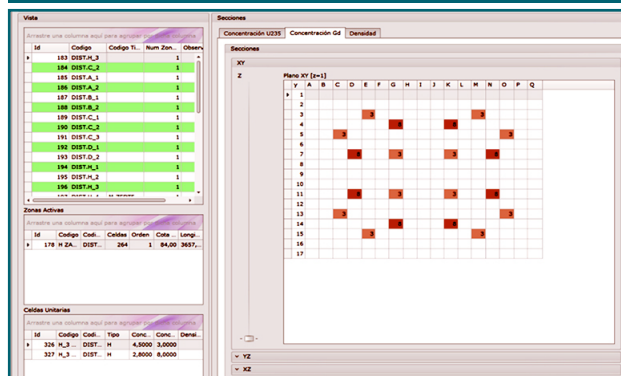


Figura 3. Visualización en Gecyre de la concentración del Gd en el plano XY.

- Diseño nuclear, que recoge las características del tipo de EC desde el punto de vista de los posibles enriquecimientos variables o presencia de venenos neutrónicos en barra, etc.: código de diseño nuclear, número y tipo de células en la región activa, enriquecimiento en U-235, concentración de Gd_2O_3 , densidad nominal, etc. En la Figura 3 se muestra su visualización en la aplicación.

Por otra parte, también se recoge la información de los residuos especiales asociada al diseño y caracterización geométrica específica de cada uno de los componentes constituyentes del EC por separado. Se contemplan así en cada categoría todos los tipos de dicho componente en cuestión, existentes en la casuística de elementos de la planta correspondiente. Se diferencian tres tipos de componentes, en relación con su función en operación:

- Dispositivos insertables, cuyo histórico de irradiación queda asociado a los EC con que se ubican en reactor en operación o se almacenan luego en cualquier ubicación: barras de control, fuentes neutrónicas, venenos neutrónicos, y dispositivos de taponamiento.
- Restos de componentes aislados de EC (también asociados en su histórico a los EC de origen), como barras de metal, cabezales superiores, rejillas, tubo de instrumentación, canales de combustible, etc.
- Otros residuos especiales. Componentes no incluidos en el anterior tipo como cortinas absorbentes combustibles, partes estructurales de reactores, etc.

Caracterización

La segunda parte de la base de datos se corresponde con la caracterización, en la cual se reflejan los históricos de irradiación de todos los elementos combustibles y residuos especiales definidos. Se incluyen las cantidades de material nuclear antes y después de la irradiación, sus quemados, así como el perfil axial de quemado en el caso de los elementos combustibles, y sus posiciones en el núcleo. También se incluye la información sobre las inspecciones realizadas en los elementos combustibles, información de los ciclos y otros.

Las entidades principales son:

- Inspecciones. Muestra el conjunto de inspecciones registradas en la central correspondiente a lo largo de su historia.
- Inspecciones EC. Esta categoría presenta de manera desglosada el listado de EC y características de cada inspección realizada sobre los mismos, correspondiendo a las inspecciones de la entidad anterior.
- EC: Estados tipificados. Esta tabla que refleja el Modelo de Fallos, que incluye el código de fallo y su Tipología Severidad

Ubicación

En la última parte se incluyen las características de los almacenamientos de los elementos combustibles y de los residuos especiales, esto es su ubicación o localización en la instalación, en coordenadas de la piscina de combustible y de los almacenamientos temporales individualizados (ATI).

En relación los contenedores, se recoge la tipología de disponible para los mismos en la instalación, que contiene las características básicas que definen cada tipo de contenedor, atendiendo a su capacidad dada por licencia para el

número de EC caracterizados de la manera correspondiente para su carga (no dañados, o con posiciones posibles para dañados con las condiciones que apliquen), así como la posibilidad de acoger componentes *insert* junto al combustible, u otros residuos especiales si fuera el caso.

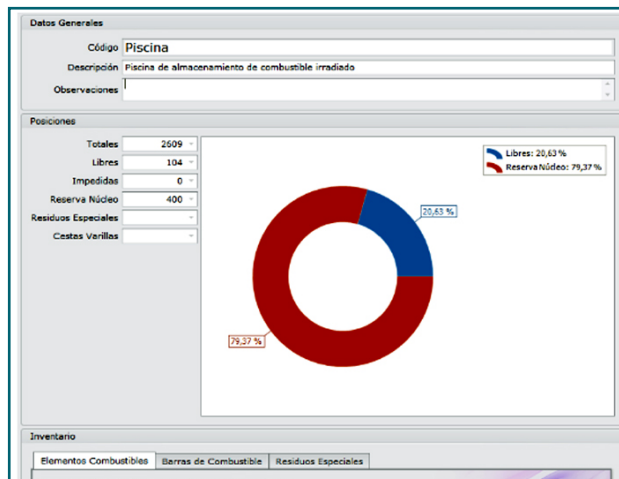


Figura 4. Estado de una piscina de combustible gastado.

TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN

La información y su actualización periódica, es transmitida desde las centrales a Gecyre a través del fichero de intercambio normalizado en formato XML. Este fichero es el canal por el que fluyen los datos desde las bases de datos de las centrales nucleares a Enresa.

El modelo de transmisión de la información escogido cumple con dos objetivos muy importantes para garantizar la **fiabilidad** y **calidad** de los datos:

- Las CC.NN. son las responsables de los datos que se incorporan en el fichero XML.
- La carga de los datos en Gecyre se hace de manera automática por selección del fichero a cargar, minimizando así la intervención humana.

Para la definición de dicho fichero XML se ha elaborado una especificación técnica la cual se ha distribuido a las centra-

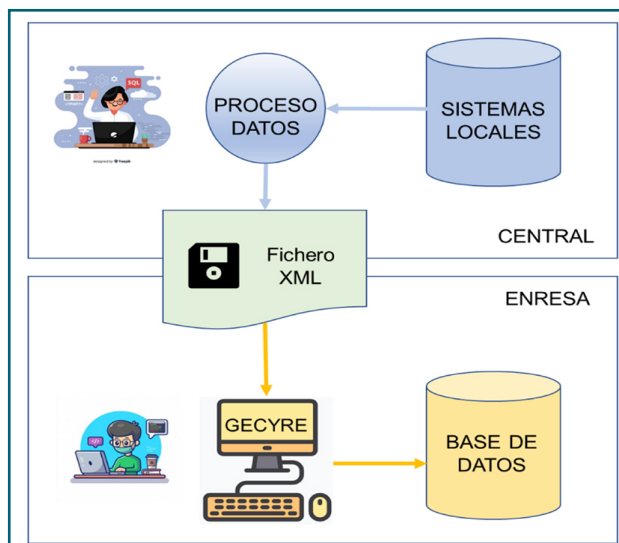


Figura 5. Esquema de transmisión de información.

les nucleares y en la que se establece la estructura de los datos a utilizar en el intercambio de información entre las centrales y Gecyre, es decir, se detallan las pautas para generar un fichero de intercambio de datos formalmente válido para la aplicación.

La actualización de Gecyre se realiza después de la recarga de cada reactor, mediante el envío del fichero XML desde la central a Enresa, que lo carga en la base de datos a través de la aplicación.

INTERFAZ

La interfaz con el usuario es una aplicación desarrollada en C# bajo NET framework. La función principal de la aplicación es mostrar toda la información disponible, estructurada en forma de grafos y tablas más amigables para el usuario. La aplicación también permite realizar consultas y generar informes, así como la exportación de datos para su posterior tratamiento. Asimismo, permite cargar los ficheros XML conteniendo la información del combustible gastado enviado por las centrales nucleares.

La aplicación no permite la edición de la información disponible en la base de datos asociada, ya que se trata una aplicación de consulta. Cualquier modificación específica queda sujeta a priori a modificaciones de datos derivadas del contenido de los archivos XML por parte de las CC.NN. emisoras.

En la Figura 6 se muestran los elementos fundamentales de la pantalla principal de la aplicación con sus funcionalidades.

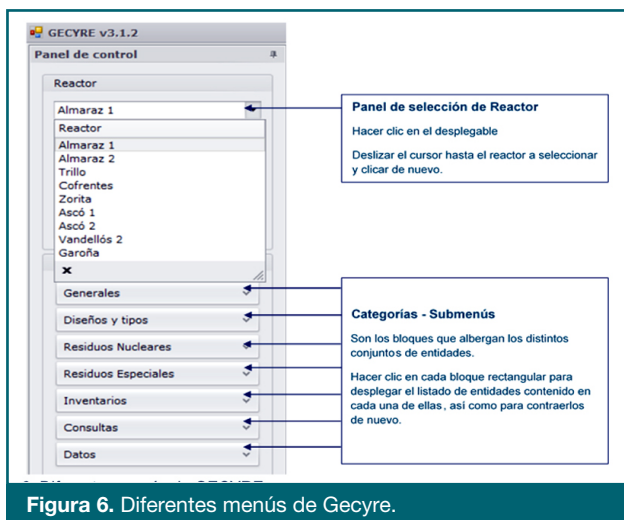


Figura 6. Diferentes menús de Gecyre.

Una de las capacidades más relevantes de la aplicación es la posibilidad de mostrar la información de forma totalizadora, con objeto de obtener resúmenes de cantidades por componentes contenidas en la base de datos tanto para elementos de combustible como para los residuos especiales.

En estas entidades y mediante algunas representaciones gráficas asociadas, se ofrece un acercamiento a la información accesible en la aplicación que permite tener visión transversal, de amplitud y detalle a la vez, con acceso asi-

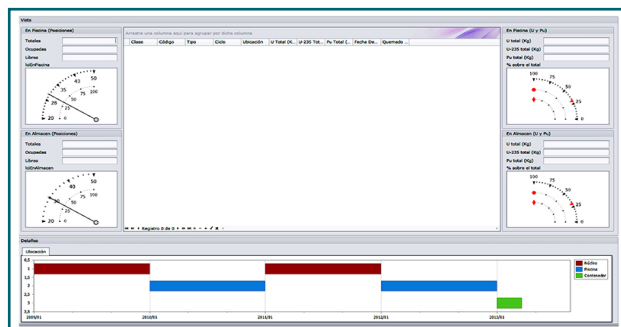


Figura 7. Inventario por elementos de combustible.

mismo a las funciones de tratamiento de datos habituales en la banda superior.

Así, por ejemplo, la opción **Inventario x EC** (Figura 7), presenta todos los elementos de combustible informados en la instalación, así como un inventario completo de resumen e indicadores gráficos, incluyendo información práctica como los ciclos operados, su ubicación actual, fecha de descarga o quemado acumulado. En torno a esta tabla se presentan indicadores gráficos que resumen totalizadores de elementos, ocupación y cantidades globales de U y Pu, en piscina y en almacenes.

Otra parte importante accesible mediante la interfaz es el bloque de Consultas en el que se han diseñado algunas de las consultas predefinidas expresamente y que se presentan a modo de informes de datos, de interés para la gestión, y con objeto de relacionar algunos de los aspectos esenciales para la caracterización y futura gestión. Algunas de las consultas predefinidas hasta la fecha son:

- EC por estados de caracterización.
- Perfiles de quemado.
- Quemado vs enriquecimiento.
- Quemado vs año descarga.

CONCLUSIONES

Gecyre representa el paso definitivo en el trabajo realizado durante años para definir y completar progresivamente entre Enresa y las centrales nucleares la información necesaria para cubrir la futura gestión de los elementos combustibles y de los residuos especiales resultante de la operación de éstas. Gecyre es una aplicación segura y fiable pero también flexible y viva que sigue en constante desarrollo y actualización, en la que se van incorporando los avances tecnológicos y cambios de enfoque u objetivos prácticos en los datos disponibles sobre sistemas de almacenamiento y caracterización.

Gecyre lleva operativa desde su entrada en producción en 2014 y desde entonces se ha avanzado mucho en la carga y actualización de los datos de las diferentes plantas, sus casuísticas específicas y los datos de detalle asociados, convirtiéndose así en un vínculo de comunicación eficaz entre los operadores y Enresa, resultando un elemento estratégico muy útil para la toma de decisiones en los retos que presenta el escenario de la gestión de CG y RE en el marco nacional, y que cubre asimismo los requerimientos legislativos demandados por el CSN. ■