



## **EMPLEO DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROCESOS DE INVENTARIO FÍSICO DE CENTRALES NUCLEARES - EMPLOYMENT OF THE BIM METHODOLOGY FOR PHYSICAL INVENTORY PROCESSES IN NUCLEAR POWER PLANTS**

**de Paz Sierra, Jesús; Ballester Muñoz, Francisco; Rico Arenal, Jokin**

- (1) Universidad de Cantabria [jesus.depaz@unican.es](mailto:jesus.depaz@unican.es).
- (2) Universidad de Cantabria [francisco.ballester@unican.es](mailto:francisco.ballester@unican.es)
- (3) Universidad de Cantabria [Jokin.rico@unican.es](mailto:Jokin.rico@unican.es)

### **RESUMEN**

La implantación de la metodología BIM está aumentando exponencialmente en proyectos de nueva construcción. Sin embargo, existen algunos sectores como el nuclear, donde no se emplea debido a la antigüedad de su diseño.

Las centrales nucleares generan un elevado nivel de información. Esta información está asociada al gran número de componentes, instalaciones y elementos físicos. Además, hay que sumar una información muy importante, la información radiológica, que pertenece a cada uno de los elementos situados en la central.

Para mejorar el proceso de inventario físico y procesos asociados a este, se está desarrollando un modelo 3D parametrizado BIM que ha comenzado con el edificio del reactor.

Se deberá modelar los edificios dividiendo cada planta en zonas que presentan diferentes características radiológicas. Del mismo modo se deberán modelar todos los elementos pertenecientes a una zona incluyendo toda la información requerida para poder realizar de forma eficiente el inventario físico.

El estudio muestra una clara mejora de la eficiencia dado que con un modelo BIM es posible realizar una búsqueda de cada uno de los elementos incluidos en una zona, facilitando significativamente el inventario físico, procesos de planificación de toma de muestras, control de dosificación, planificación de actividades, entre otras actividades.

***Palabras clave:*** BIM, Inventario, Nuclear, Paramétrico, Planificación



BIM International Conference

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València  
Valencia, 19 y 20 de mayo 2017*

## **ABSTRACT**

The implementation of the BIM methodology is increasing exponentially in new construction projects. However, there are some sectors such as nuclear, where it is not used due to the high age of the plants.

Nuclear power plants (NPP) generate a high level of information. This information is associated with the large number of components, installations and physical elements. Furthermore, a very relevant information, the radiological information, must be added. This information is different for each element located in the NPP.

To improve the physical inventory process and associated processes, a BIM parameterized 3D model is being developed. It has started with the reactor building.

Its structure has been modelled and each plant has been divided into zones with different radiological characteristics. In addition, all the elements belonging to a zone have been modelled and all the information required has been included in order to develop a physical inventory productively.

The results show a clear improvement in efficiency since using this model it is possible to perform a search of all the elements included in a specific zone. This significantly facilitates the physical inventory, sampling planning processes, dosing control, planning of activities, among other activities.

**Keywords:** *BIM, Inventory, Nuclear, Parametric, Planning*

## 1 INTRODUCCIÓN

El sector energético presenta una gran importancia en la actualidad fundamentalmente debido a la gran demanda de electricidad que requiere realizar cualquier tipo de actividad.

Dentro del sector energético se encuentra el sector nuclear que por ahora genera energía mediante un proceso de fisión nuclear y genera alrededor de un 11,5% de la electricidad mundial. [1]

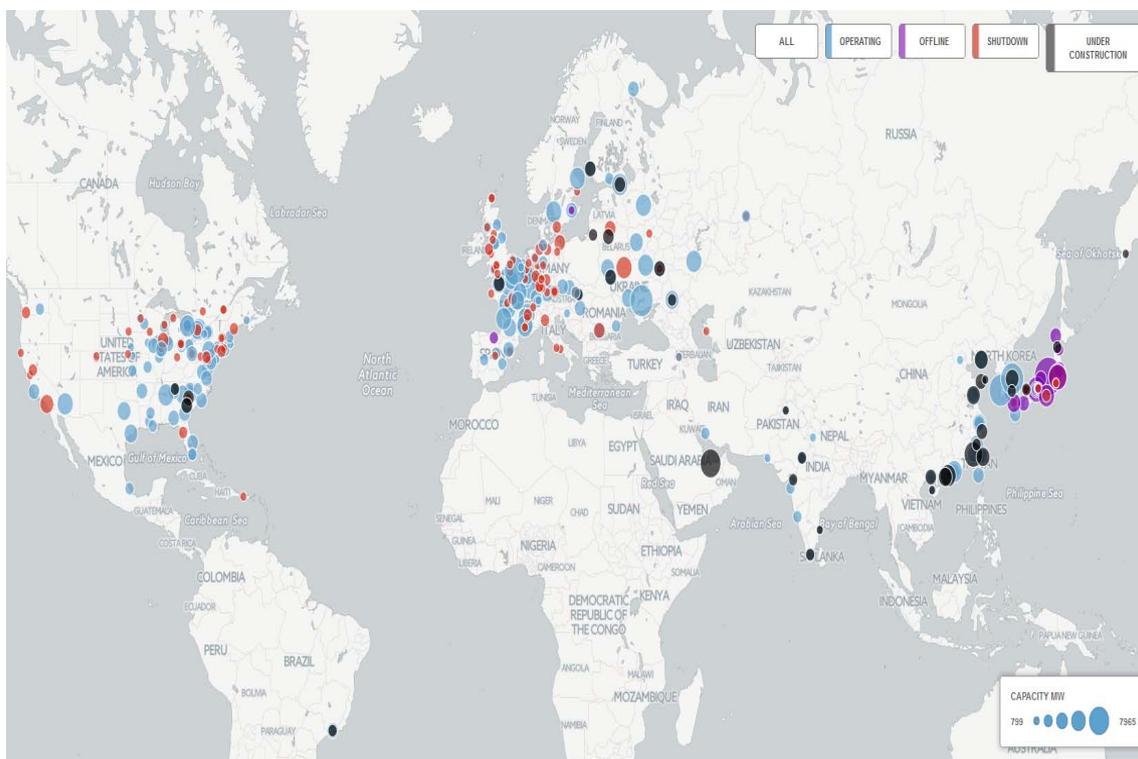


Fig 1. Reactores nucleares en el mundo, CarbonBrief, 2016 [2]

Cada país presenta diferentes políticas de futuro en relación a esta fuente de energía. Algunos como China, India, Rusia, Corea del Sur, Finlandia o Francia han apostado por su expansión diseñando un total de 61 centrales que se encuentran en construcción. [3]

Por otro lado, existe una evolución tecnológica y computacional la cual en el sector energético nuclear se ha venido implementando de forma paulatina y gracias a la cual se ha podido apreciar una mejoría y una facilitación en los diferentes procesos a llevar a cabo. En el caso de la central de José Cabrera, se han llegado a desarrollar modelados 3D de forma que se pudiesen realizar planificaciones, visualización, control y seguimiento de actividades, detectando interferencias entre elementos en fases de desmantelamiento [4]

BIM International Conference

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València  
Valencia, 19 y 20 de mayo 2017*

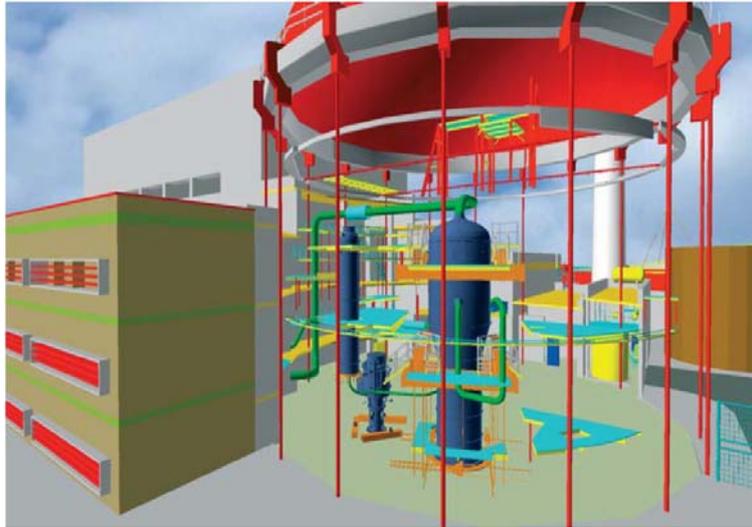


Fig 2. Maqueta virtual 3D de la central José Cabrera, revista Estratos, 2011 [4]

Sin embargo, aunque la metodología BIM se encuentra en auge, y se han realizado pequeños estudios concretos dentro de una zona acotada de una central nuclear [5][6][7], no existe ningún proyecto completo hasta el momento, guiado por esta metodología, para una central nuclear en operación.

El objeto del presente artículo es estudiar los procesos a seguir para desarrollar un modelo 3D BIM completo en unas instalaciones de este tipo de forma que se podrían reducir los plazos y costes asociados al realizar actividades de forma más eficiente en fases de operación, mantenimiento y desmantelamiento.

La aplicación de este estudio puede verse reflejada en la central nuclear de José Cabrera, donde si el tiempo invertido en el desarrollo de los modelos 3D se hubieran destinado a la generación de modelos BIM, estos podrían haber sido útiles para muchos más procesos tareas y actividades en la fase de desmantelamiento.

El estudio realizado contempla los procesos que se deben seguir para la elaboración de un modelo BIM de una central nuclear construida, que contenga toda la información necesaria para facilitar y hacer más eficientes los diferentes procesos requeridos a lo largo de su ciclo de vida, desde la operación y mantenimiento hasta el desmantelamiento.

El desarrollo de este estudio generará una nueva ventana de negocio dado que el know-how adquirido podrá facilitar el desarrollo de nuevos proyectos dentro de este sector que hasta ahora permanecía ajeno a esta metodología.



## 2 CONTENIDO

Durante el proceso de desmantelamiento de la central nuclear de José Cabrera (2003-2019), primer desmantelamiento completo de una central nuclear en España [8], se realizaron una serie de actividades, las cuales, disponiendo de un modelo BIM se podrían haber realizado en un menor tiempo y por lo tanto habrían supuesto una reducción de costes.

Aunque en este caso en concreto, la central se encuentra en una fase de desmantelamiento, en cualquier otra fase sería necesaria la realización de un proceso conocido como la **caracterización radiológica** [9] que consiste en realizar una serie de toma de muestras, mediciones y ensayos, que permitan fijar un estado radiológico real de cómo se encuentra la central y cada uno de los elementos que contiene.

La caracterización radiológica se realiza en varias ocasiones durante todo el ciclo de vida de una central nuclear, presentando en la fase de desmantelamiento un carácter obligatorio para poder conseguir la autorización de desmantelamiento necesaria para comenzar los trabajos.

Es por esto que el enfoque principal de este estudio se ha centrado en la mejora de los procesos para realizar la caracterización radiológica de forma que la solicitud de autorización de desmantelamiento pueda enviarse lo antes posible gracias a una reducción de tiempos motivada por el modelo 3D BIM.

### 2.1 Caracterización Radiológica

La realización de una caracterización radiológica requiere de la preparación de un **plan de toma de muestras** donde se debe decidir el número de muestras a realizar y los puntos y lugares donde se deben tomar. Para ello se deben tener en cuenta todos los datos de cada uno de los elementos que se encuentran ubicados dentro de la central nuclear.

Por lo tanto, es necesario realizar un proceso conocido como **inventario físico** que consta de una identificación de todos los elementos con sus medidas, pesos, materiales y demás características.

Este proceso, sin la utilización de un modelo BIM, requiere de un análisis manual dentro de las bases de datos, de planos, documentos, características técnicas de cada elemento, etc. así como una serie de trabajos de campo para la identificación de muros, tanques, válvulas, motores, tuberías, de las cuales no se disponga de la suficiente información en las bases de datos. Además, en algunos casos donde los valores sean de difícil obtención se realizan estimaciones de pesos, volúmenes y otras características.

La disposición de un modelo BIM de la central nuclear facilitaría el proceso de realización de un inventario físico dado que tanto la información como el cálculo de determinadas características se obtendrían de forma más cómoda. Pudiendo reducir los plazos y el personal destinado a estas actividades.



BIM International Conference

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València  
Valencia, 19 y 20 de mayo 2017*

Posteriormente a la realización del inventario físico, la información pasa por un software que, mediante una serie de cálculos, proporciona los puntos donde se deben hacer las muestras y ensayos. El modelo BIM también puede ayudar en este proceso ya que se puede planificar de forma más exacta el tiempo de exposición de los operarios durante la toma de muestras además de permitir a los mismos visualizar los puntos donde se debe tomar las muestras antes de situarse en el interior del emplazamiento.

Finalmente, ese mismo software junto con los valores radiológicos obtenidos de las muestras analizadas, proporciona una clasificación radiológica para cada elemento de la central. Este valor retornará al modelo BIM de forma que el modelo siempre se encuentre actualizado y se pueda hacer una trazabilidad del estado radiológico de la central.

El estudio realizado ha estimado una serie de condiciones de contorno para la elaboración del modelo BIM en base a la calidad de la información de la que se puede disponer dentro de una instalación de este tipo que presenta cierta antigüedad.

## **2.2 Planificación de los trabajos**

El primer paso que se debe realizar es definir correctamente el alcance de los trabajos y la planificación de los mismos.

El alcance se debe definir en base a la calidad de la información y por ello es necesario realizar un **BEP** (BIM EXECUTION PLAN) en el que queden recogidas las bases del trabajo identificando de forma exhaustiva lo que se va a modelar y con qué nivel de desarrollo, y lo que no se va a modelar.

Para poder llevar a cabo un inventario físico de forma eficiente es necesario disponer del modelo de los edificios, del modelo de las instalaciones y equipos de las mismas y de modelos de elementos de gran tamaño como escaleras, tramex, etc. con un nivel tanto gráfico como de información (LOD) alto. Sin embargo, para el resto de elementos como soportes, luminarias, etc. se pueden agrupar y organizar en paquetes por zona e incluir modelos genéricos que contengan un nivel de información elevado. De esta forma el modelo BIM podrá servir por un lado para gestionar toda la información necesaria y por otro lado para planificar los trabajos a realizar gracias a la visualización gráfica de la mayoría de los elementos importantes.

Dentro del BEP también deberán quedar reflejados los parámetros necesarios que permitan una buena gestión de los activos y ayuden a la realización de actividades, no solo en el desmantelamiento sino también en fases de operación y mantenimiento.

A continuación, se proponen una serie de parámetros, para cada una de las especialidades. Teniendo en cuenta que en los edificios además de las propiedades de los elementos que lo componen (paramentos, suelos y techos), se debe prestar especial atención a facilitar posteriormente, la búsqueda por zona de los distintos equipos e instalaciones.

EDIFICIOS	ELEMENTOS DE GRAN TAMAÑO	INSTALACIONES	RESTO DE ELEMENTOS
Cota de ubicación	Cota de ubicación	Cota de ubicación	Cota de ubicación
Código de la zona	Código de la zona	Código de la zona	Código de la zona
Código de paramento	Código del elemento	Código del elemento	Código del elemento
Tipo de paramento	Tipo de elemento	Tipo de elemento	Tipo de elemento
Material de paramento	Material	Material	Material
Espesor total	Superficie	Densidad material	Superficie
Espesor Impactado o contaminado	Volumen	Diámetro exterior	Volumen
Superficie	Densidad material	Espesor	Peso
Volumen	Peso	Espesor de recubrimiento	Caracterización radiológica
Densidad material	Caracterización radiológica	Material de recubrimiento	
Peso		Densidad material de recubrimiento	
Caracterización radiológica		Tipo de fluido que transporta o contiene	
		Superficie	
		Volumen	
		Peso	
		Caracterización radiológica	

Fig 3. Parámetros propuestos para cada especialidad, Propia, 2017

Otro punto importante a definir antes de comenzar los trabajos es la planificación y el equipo de trabajo adecuado para desarrollar los trabajos de forma eficiente. Un número muy elevado de personas dentro del equipo puede resultar contraproducente a la hora de trabajar en un entorno colaborativo.

El equipo propuesto será de 12 personas que deberán dividirse en cada una de las disciplinas.

Para el desarrollo de los edificios se ha considerado la posibilidad de destinar  $\frac{1}{4}$  del equipo siguiendo un criterio de modelado de los edificios diseñado en función de la importancia del edificio y al del número de instalaciones que contiene en su interior.

Para las instalaciones se ha considerado destinar  $\frac{3}{4}$  del equipo. Las instalaciones presentan distintos tipos de sistemas por lo que, para no interferir en los trabajos se deberán repartir las tareas a desarrollar por sistema. A continuación, se muestra una planificación estimada para poder llevar a cabo los trabajos con el equipo descrito en aproximadamente 6 meses.

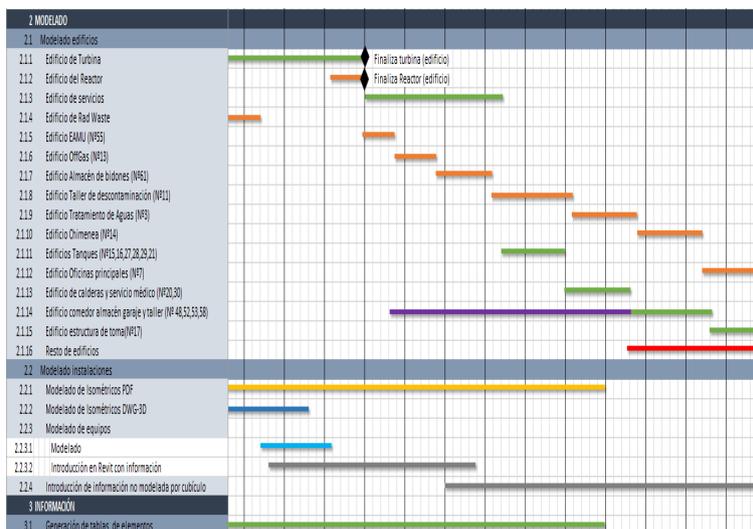


Fig 4. Diagrama Gantt de la planificación propuesta para realizar los trabajos, Propia, 2017

### 2.3 Modelado de los edificios

La primera fase de modelado recae en los edificios, necesarios para poder introducir de forma coherente las instalaciones.

Se ha priorizando en la planificación en la elaboración de los edificios del reactor y de turbina, fundamentalmente debido a que albergan la mayor parte de las instalaciones. De esta forma a medida que se avanza en el modelado de edificios se pueden realizar las fases previas del modelado de instalaciones sin generar retrasos en ninguna de las actividades.

Para la fase de modelado se han valorado las distintas opciones disponibles entre las que destacan sistemas de escaneo 3D y modelado 3D con fotogrametría. Sin embargo, dada la gran cantidad de instalaciones que se pueden encontrar en el interior de los edificios existen numerosos puntos ciegos y habitaciones que hacen que el coste del escaneo, dada la magnitud de cada uno de los edificios, sea demasiado elevado. Adicionalmente esto se requiere de un post-procesado de las nubes de puntos generadas para definir el modelo BIM. Lo mismo sucede con la fotogrametría. Si bien, se pueden utilizar estos sistemas en casos concretos donde se requiera un mayor detalle de los elementos estructurales.

El estudio determinó, que era más viable la realización de un modelado partiendo de los planos de construcción fundamentalmente debido a que La ventaja de este tipo de instalaciones es que los edificios presentan pocas modificaciones de diseño con respecto a los planos constructivos. Además, en caso de realización de alguna modificación esta se añade a los planos pertinentes por lo que se puede modelar en base a planos actualizados. Adicionalmente el estudio recomienda la realización de una serie de visitas a la central de forma que el equipo de trabajo se familiarice con el entorno.

Durante el proceso de modelado, uno de los requisitos necesarios para realizar de forma correcta la caracterización radiológica es que cada edificio debe estar subdividido en **plantas** y cada planta en **zonas**. Cada una de las zonas va a presentar unas características radiológicas diferentes por lo que deben quedar completamente diferenciadas mediante una codificación única. Por otro lado, dentro de una zona, es importante hacer una distinción de cada uno de los paramentos los cuales deben adquirir también un código único que permita identificar en qué zona se encuentra y cuál es el paramento.

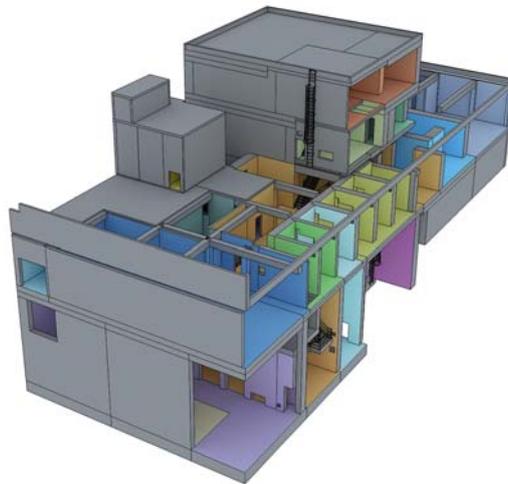


Fig 5. Modelo 3D BIM de un edificio de una central nuclear con sus zonas, Propia, 2017.

La ventaja de disponer el modelo 3D BIM es que una vez codificados los paramentos, los distintos valores necesarios como el área, el espesor, la zona donde se encuentran, el código del paramento, la longitud, el material, la densidad, la masa, etc. se obtienen de forma directa o mediante cálculos sencillos.

Este proceso llevado a cabo sin el modelo 3D requeriría de un análisis de los planos, cálculos de distancias, áreas, volúmenes, pesos y todo esto sumado a un trabajo de campo que implicaría un mayor tiempo y por lo tanto un mayor coste. Además, el modelo 3D no solo ayuda en este proceso de obtención de valores, sino que proporciona resultados más exactos de las distintas mediciones.

## 2.4 Modelado de las instalaciones

El desarrollo de las instalaciones se debe ir realizando en paralelo al modelado de los edificios tal y como está representado en la planificación. Este proceso presenta una serie de fases previas debidas a la calidad de la información de la que se parte, que permite el avance de los edificios de forma que para cuando se van modelando las instalaciones se dispone del edificio y sus zonas para facilitar que cada uno de los elementos de las instalaciones tenga asignado además de su código de componente un código que indique la zona en la que se encuentra.

Al igual que para los edificios se valoraron las opciones de escáneres 3D y fotogrametría, detectando prácticamente las mismas problemáticas de zonas oscuras y posterior tratado de datos. Por lo tanto, en este caso la información de partida puede proceder de varias fuentes distintas.

La primera fuente de información, y la más común debido a la antigüedad de las instalaciones suele estar presente en planos isométricos de las instalaciones. Estos planos pueden estar realizados a mano o bien digitalmente si se han realizado modificaciones y se han actualizado. Los planos isométricos presentan toda la información necesaria para realizar el modelo ya que contienen además de las distintas cotas y distancias, los materiales, pesos, diámetros, espesores y características de cada uno de los elementos que aparecen como válvulas, motores, tanques, tuberías, codos, reductores, etc.

Otra fuente de información puede proceder de modelos 3D realizados de algún sistema que se ha modificado recientemente. En este caso, dependiendo del software de modelado es posible realizar o no una exportación mediante el formato IFC del modelo 3D a un software BIM. Adicionalmente se deberá realizar una revisión de la información que se proporciona en estos modelos dado que se podría requerir ser completada con información adicional.

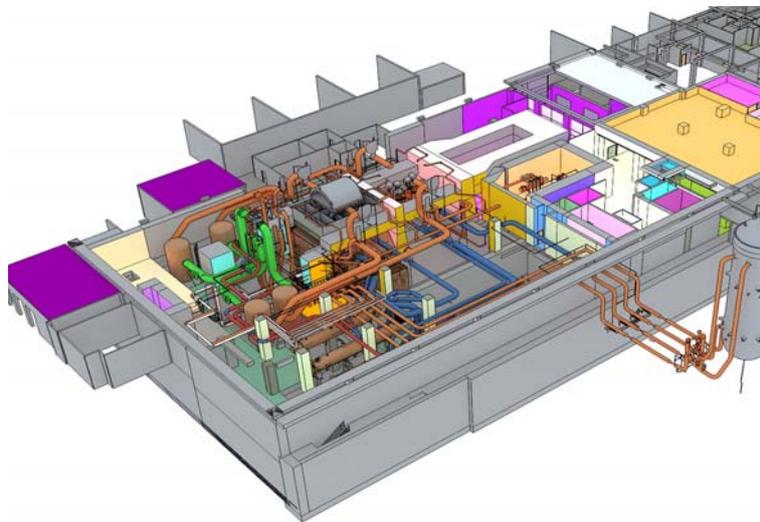


Fig 6. Modelo 3D BIM de instalaciones y equipos dentro de un edificio de una central nuclear, Propia, 2017.

Este proceso llevado a cabo sin el modelo 3D requeriría de un análisis de los isométricos o de los modelos 3D además de todos los planos de planta de los edificios para conseguir ubicar los isométricos en las zonas correspondientes, proceso que en el modelo 3D es prácticamente automático. Además, el modelo 3D, al integrar el modelo del edificio con el de las tuberías, permite revisar que los isométricos son correctos detectando posibles longitudes erróneas que generen interferencias. En caso de no disponer el modelo BIM, esta revisión requeriría de un gran tiempo para su realización.



## **2.5 Modelado de equipos de las instalaciones**

Otra parte importante se refiere a los distintos equipos de las instalaciones. En función de su tamaño presentan mayor importancia y presentan mayor información por lo que en el BEP se debe definir correctamente el nivel de detalle y de desarrollo (LOD) de cada uno de los elementos a modelar y cómo se realizará ese modelado.

Algunos podrán ser modelados de forma genérica como las bombas y motores, a los cuales se les asociará la información encontrada en sus fichas técnicas. Sin embargo, existirán otro tipo de elementos como los tanques los cuales podrán ser modelados de forma exacta a los reales obteniendo desde el modelo información adicional como la superficie exterior que normalmente no se encuentra definida dentro de sus fichas técnicas.

Estos equipos se pueden modelar o bien partiendo de los planos de las especificaciones técnicas del elemento o bien, en caso de ser necesario se pueden implementar procesos de fotogrametría o escaneo 3D.

A medida que se van modelando los equipos se deben ir introduciendo en el modelo dado que servirán de referencia para poder comprobar que los sistemas están correctamente modelados y posicionados.

La ventaja fundamental del modelo BIM es este caso es que además de proporcionar una gran cantidad de información de cada elemento, al contener la información de la zona en la que se encuentra, es posible hacer búsquedas de los equipos situados en cada una de las zonas o buscar un equipo por su código y poder conocer la zona en la que se encuentra y visualizarla.

## **2.6 Resto de elementos**

Finalmente, existe otra parte de elementos que no serán modelados y cuya información se irá incluyendo dentro del modelo como elementos genéricos que contengan información de forma que se puedan situar en la zona donde se encuentran y de esta forma se facilite el proceso de inventario físico y caracterización radiológica.

## **3 CONCLUSIONES**

La industria nuclear se ha encontrado hasta la actualidad detrás de la curva de la evolución de las tecnologías digitales. Con los avances actuales, es el momento de adoptar estas nuevas tecnologías y metodologías de trabajo para comprobar lo que realmente puede lograrse.

Tal y como se viene observando en los últimos años los distintos gobiernos están apostando por la **metodología BIM dado que es vital para cualquier proceso de construcción**. proporcionando resultados de mayor precisión, fomentando un trabajo colaborativo y, lo que



BIM International Conference

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València  
Valencia, 19 y 20 de mayo 2017*

es más importante, generando un gasto mucho menor al reducir los desperdicios durante la fase de construcción.

Las instalaciones nucleares son unos activos a largo plazo y el mantenimiento eficaz es fundamental para asegurar que se mantengan seguras, eficientes y accesibles a lo largo de su ciclo de vida.

Por lo tanto, el BIM aplicado al proceso de construcción es solo el principio. Cuando el modelo BIM se interconecta con la gestión del ciclo de vida del producto, proporciona una solución digital completa que soporta todas las fases, ayudando a la planificación de tareas y actividades y reduciendo costes y tiempo en su desarrollo. Esto se ha demostrado con el estudio para la actividad de caracterización radiológica.

Sin embargo, este modelo debe realizarse conforme a **una buena planificación de los trabajos a realizar** y a un BEP que defina correctamente el alcance del proyecto.

Por otro lado, el **desmantelamiento** es otro proceso de gran importancia que puede ser llevado a cabo mediante la metodología BIM. Las actuales instalaciones nucleares españolas presentan una antigüedad que obligará en un futuro a ser desmanteladas. En el caso de disponer de modelos BIM el estudio indica que es posible planificar el desmantelamiento y desarrollar de forma eficiente una gestión de los residuos que se generan al poder identificar el grado de contaminación de cada elemento a desmantelar y sus dimensiones, materiales, volumen y peso. Las oportunidades para ahorrar costos y aumentar la seguridad son enormes tal y como se ha demostrado en la central de **José Cabrera** donde con un simple modelo 3D no BIM han ayudado al desarrollo de determinados procesos.

Finalmente, y no menos importante, el modelo 3D puede ser empleado para infinidad de soluciones, entre ellas, se pueden desarrollar programas de formación de operarios que realicen las actividades en un entorno de **realidad virtual**. De esta forma se reducirá el riesgo de exposición de cada operario al reducir el tiempo de trabajo en zonas controladas.

#### 4 REFERENCIAS

- [1] *Foro nuclear* <http://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/energia-nuclear-en-el-mundo>
- [2] <http://www.carbonbrief.org/mapped-the-worlds-nuclear-power-plants>
- [3] <http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/global-number-of-nuclear-reactors.aspx>
- [4] *Revista estratos, empresa nacional de residuos radiactivos N°99 verano 2011*
- [5] *In-Su Jung, Woo-Jung Kim. Direction for the Estimation of Required Resources for Nuclear Power Plant Decommissioning based on BIM via Case Study. Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Jeju, Korea, May 29-30, 2014*
- [6] *Jason Boyle, John Robison. BIM approach to a nuclear project: Seafield Maintenance Facility. TheStructuralEngineer November 2013*
- [7] *Nuclear España N°358 Enero 2015*
- [8] *Web Enresa, desmantelamiento de la cn José Cabrera*
- [9] *Web Reunionannualsne, 40 Reunión de la SNE, monograficas*