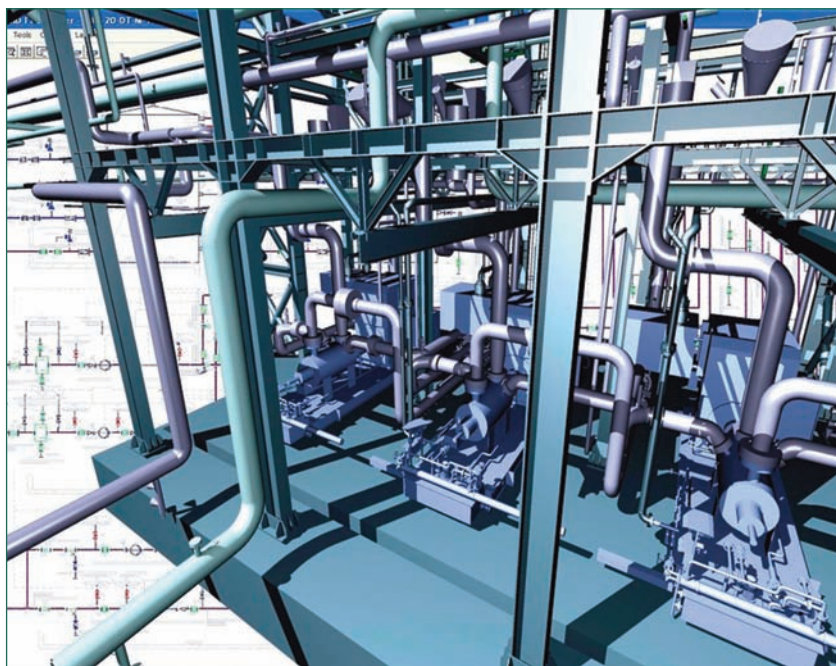


LA INGENIERÍA



**MARÍA TERESA DOMÍNGUEZ
BAUTISTA**

Directora de Proyectos Avanzados
EMPRESARIOS AGRUPADOS

INTRODUCCIÓN

En junio de 2014, la revista NUCLEAR ESPAÑA publicó un artículo firmado por Adolfo García Rodríguez titulado *La Ingeniería en el Campo Nuclear*. En él se daba una visión minuciosa sobre la evolución de la ingeniería y su contribución a la consolidación con éxito de la energía nuclear en España. Dicho artículo, que les invito a leer, plasmaba su trayectoria íntimamente unida al programa nuclear español desde los inicios en 1963, con la contratación llave en mano de la central de José Cabrera, hasta la puesta en marcha de la central de Trillo en 1988. También se indicaba la necesidad de afrontar nuevos retos, como eran en aquel momento:

- Apoyo a la explotación del parque español ya en operación.
- Participación en el diseño de la tercera generación de centrales de agua ligera, denominados Reactores Avanzados de Gen III+.
- Participación en el programa europeo de ayuda a la mejora de la seguridad de las centrales nucleares en operación en la Unión Soviética, con los programas Tacis y Phare.
- Participación en el diseño de cuarta generación de reactores nucleares (Gen IV).

- Participación en el programa de fusión.
- Participación en los estudios previos de proyectos de nueva construcción de centrales nucleares, muchos de ellos en Europa, como Finlandia, Suiza o la República Checa.

Retomando esta perspectiva, se expone en este artículo la evolución de la ingeniería, desde su misión inicial como *Architect Engineer* a las de consultoría e ingeniería de paquetes, con el fin de dar respuesta a las necesidades arriba enunciadas y a otros nuevos retos que se han planteado.

LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI

En la primera década de este siglo XXI, entre los años 2000 y 2014, se trabajó con la hipótesis de un gran renacimiento nuclear en el mundo en respuesta a un abandono de los combustibles fósiles, y un coste excesivo de las energías renovables. Este escenario ha ido evolucionando hacia otro en el que la energía nuclear mantiene su valor estratégico, pero su contribución, sobre todo en países desarrollados, se ha moderado y muchos de los proyectos de nueva construcción se han retardado o cancelado, mientras que la generación

no nuclear ha incrementado su participación en el sistema energético.

Otro cambio importante en el escenario de la ingeniería ha sido el de los modelos de contratación de proyectos. Del modelo de contratación global del proyecto por un cliente final, se ha pasado a modelos de contratación en grandes paquetes llave en mano que incluyen la ingeniería, el suministro y la construcción, denominado EPC con sus siglas en inglés. El principal objetivo de este modelo es compartir el riesgo del proyecto con los diferentes contratistas EPC del proyecto.

Estos cambios de escenario han servido como elemento dinamizador, y la función de la ingeniería se ha visto reforzada tanto en el ámbito nuclear como en el convencional. A la producción de la documentación del diseño constructivo se han añadido nuevas misiones, unas de consultoría de apoyo en etapas incipientes de los proyectos previas a su ejecución y otras para ejecución de la ingeniería de paquetes compartiendo el riesgo del proyecto.

LA MISIÓN DE LA INGENIERÍA EN DIFERENTES ETAPAS DE PROYECTOS

Las necesidades de los proyectos son distintas en cada una de las etapas de desarrollo y, en consecuencia, los objetivos de la ingeniería difieren en la etapa inicial de definición de la tecnología, en la de demostración, en la de comercialización, y finalmente, en la de construcción y explotación.

En este sentido, la ingeniería ha sufrido lo que podríamos llamar un proceso inverso de adaptación,

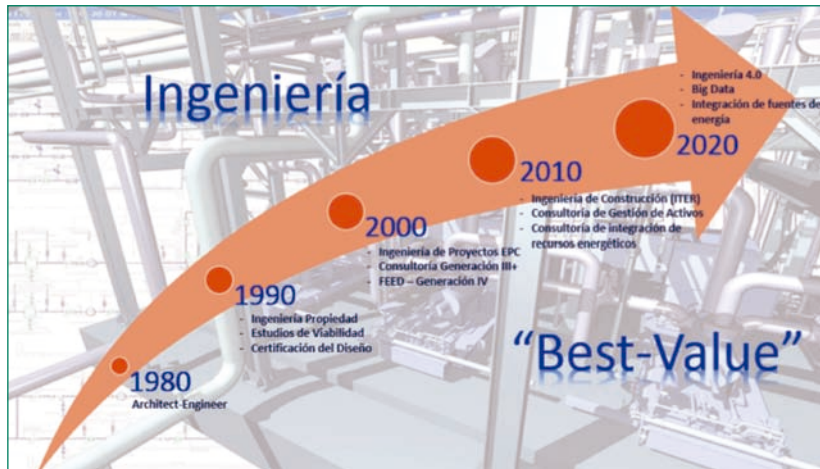


Figura 1. Evolución de la ingeniería: nuevos retos.

pasando de las funciones de *Architect-Engineer* que tuvo en la construcción de grandes proyectos de generación nuclear, hasta trabajos más de consultoría de alta cualificación necesarios en las etapas previas a la construcción.

Esta evolución como veremos a continuación ha exigido un cambio sustancial en la concepción de la ingeniería, sus métodos, herramientas y organización de los procesos (Figura 1).

Fase de desarrollo de las tecnologías

En paralelo al renacimiento nuclear del inicio de este siglo XXI de reactores de gran potencia de genera-

ción (en el rango de los 1500 MWe), se abrieron grandes retos a la energía nuclear para abordar la gestión de combustible de reactores de fisión, las aplicaciones no energéticas de la energía nuclear y la fusión nuclear.

Durante los últimos 15 años, centros de investigación e industria han trabajado para definir la hoja de ruta de su implantación. Como resultado de ello podemos decir que la fase de investigación básica está superada y hay prototipos próximos a su construcción de las tecnologías de fisión de Generación IV de refrigeración por gas, metal líquido y agua. Myrrha, Astrid, PRISM son algunos de estos proyectos en curso.

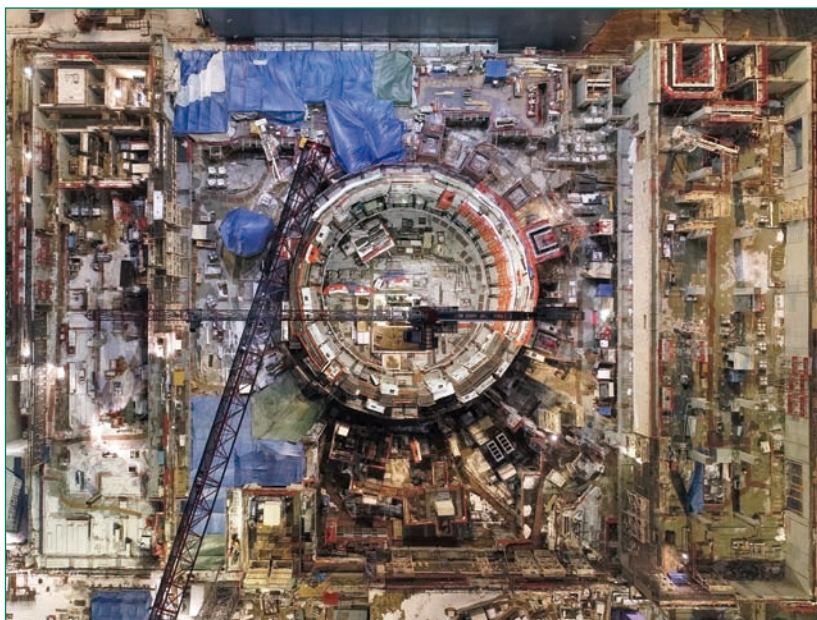


Figura 2. Proyecto ITER en Construcción (Cadarache). Contrato de Architect-Engineer para los edificios. ITER Organization/EJF Richie.

Junto al programa de fisión, ha sido muy relevante el avance en el programa de fusión, a lo que ha contribuido en gran escala la construcción de ITER y otras instalaciones de apoyo, como Dones o IFMIF, también prevista su construcción (Figura 3).

En todos estos demostradores tecnológicos la ingeniería está jugando un papel esencial para la consolidación del proyecto de ejecución en áreas como:

- Dirección y control de proyectos.
- Ingeniería básica y de detalle.
- Diseño conceptual.
- Apoyo en evaluación de costes.
- Identificación de tecnologías disponibles de referencia.
- Identificación de prototipos.
- Apoyo al desarrollo de códigos de diseño.
- Estudios de emplazamiento.
- Apoyo a la licencia.
- Desarrollo de *know-how* y herramientas de simulación (Figura 4).

Es frecuente que estos proyectos se hagan contratos denominados *Front-End Engineering and Design*, por sus siglas en inglés FEED, para el desarrollo de la ingeniería con un detalle suficiente para la consolidación de la tecnología. En algunos casos se llega a la ingeniería de detalle y construcción, como es el caso de ITER, demostrador de la tecnología de fusión en construcción en Cadarache (Francia) (Figura 2).

Los fondos para estas actividades son habitualmente de programas de ciencia y tecnología nacionales e internacionales, y la industria debe trabajar junto a centros de investigación.

Los retos que se afrontan en estos proyectos desde el punto de vista de ingeniería son:

- Falta de referencias en proyectos similares.
- Carencia de la cadena de suministros cualificada.
- Carencia de códigos de cálculo para ciertas condiciones y material.
- Dificultades en la consolidación del programa de ejecución.
- Nuevos fenómenos a considerar en el diseño.

Estos retos requieren gran experiencia en ingeniería, desarrollo de nuevas herramientas y nuevos diseños. Las plataformas de diseño 3D (Aveva PDMS, Intergraph, Catia) tienen un uso generalizado en la producción de la documentación de diseño. También es relevante el de-



Figura 3. Estudios de emplazamiento para DONES en Granada realizados por Empresarios Agrupados.



Figura 4. Herramientas de simulación de comportamiento de proyectos.

desarrollo de soluciones de ingeniería para contemplar fenómenos nuevos como son cargas electromagnéticas, comportamiento del tritio, etc.

Fase de viabilidad y comercialización de los proyectos

Tras la fase de desarrollo tecnológico, se abre una etapa para determinar su viabilidad y comercialización. En el caso de la fisión, estos estudios se realizan desde los años 60 para cada nuevo tipo de reactor y emplazamiento que se selecciona. Esta fase puede realizarse en dos modalidades para un emplazamiento definido o genérico, y tiene una duración de entre 10 y 15 años para reactores de fisión de nueva construcción.

En esta fase, la misión de la ingeniería es demostrar la viabilidad del proyecto integrando la tecnología, el marco regulador y el emplazamiento mediante actividades tales como:

- Ingeniería básica de edificios, sistemas y componentes.

- Identificación de suministradores.
- Definición de paquetes y modelos de contratación.
- Esquema de ejecución del proyecto.
- Evaluación de costes.
- Planificación global del proyecto.
- Documentación de licencia.
- Requisitos de emplazamientos.
- Estudios de apoyo a inversores y promotores.
- Estudios de licenciamiento.

Los fondos son habitualmente público/privados, y los retos de la ingeniería en ella están relacionados con la selección de soluciones de diseño compatibles con las condiciones de contorno del proyecto. Ello requiere la utilización de modelos de simulación de escenarios de funcionamiento, la selección adecuada de normativa, la adaptación al marco regulador aplicable, así como la identificación y cualificación temprana de la cadena de suministro.

En este ámbito fue muy relevante la participación de las ingenierías

españolas en el programa de Reactores Avanzados para el desarrollo de Generación III+ y, más recientemente, en el desarrollo de los reactores pequeños "SMR" por sus siglas en inglés.

Se requiere para ello grandes expertos en todas las áreas de ingeniería estructural, mecánica, eléctrica e I&C, así como un gran conocimiento de simulación, planificación, evaluación de costes y gestión de proyectos.

Fase de decisión de la inversión y ejecución del proyecto

Tras la fase de viabilidad, y a veces integrada en ella, la ingeniería juega un papel importante en estudios de consultoría en apoyo de inversores, bancos e instituciones en la toma de decisiones sobre los proyectos y de forma más amplia a organismos reguladores responsables de la planificación energética.

En esta etapa son habituales actividades como:

- Gestión de activos.
- Viabilidad del proyecto.
- Escenarios de implantación.
- Esquema de inversión.
- Análisis de riesgos.
- Plan de financiación.
- Organización del proyecto.
- Programa de actividades nivel 1.
- Ingeniería preliminar de la planta.
- Cualificación de suministradores.
- Participación nacional.
- Modelos de funcionamiento.

En estas consultorías, la ingeniería aporta un gran valor añadido en la minimización de los riesgos del proyecto proporcionando fiabilidad en su planificación, costes y esquemas de contratación. Se requiere para estos estudios máxima experiencia en la identificación de riesgos y sus mecanismos de mitigación, así como en el conocimiento del marco regulador con el que se ejecutará y explotará el proyecto.

Fase de ejecución del proyecto

Volviendo al inicio del artículo, la ingeniería en los años 80 se desarrolló para la ejecución de los proyectos, con las misiones de *Architect-Engineer* en soporte del cliente, en aquel momento las empresas eléctricas españolas que asumían todo el riesgo del proyecto.

La experiencia de algunos proyectos nucleares de nueva construcción muestra que, con las inversiones necesarias, este esquema

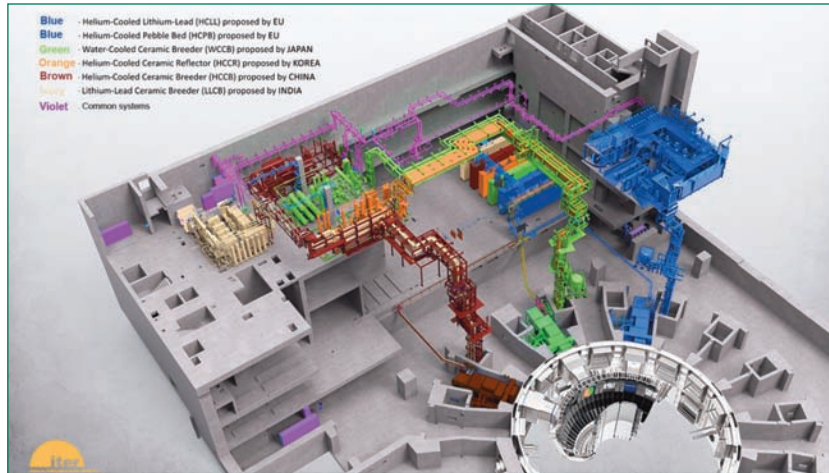


Figura 5. ITER - sistemas de refrigeración alternativos (TBM).

ya no es repetible, dejando paso a modelos de riesgo compartido entre el cliente y contratistas de grandes paquetes, esquema que se inició en proyectos convencionales y trasladado después a los proyectos nucleares.

Ello ha marcado grandes diferencias en la ingeniería de ejecución en los proyectos que ha tomado tres direcciones: la de apoyo al cliente final en el control de los contratos EPC denominada "Ingeniería de la Propiedad", la de ejecución de la ingeniería de detalle dentro de los paquetes EPC y por último, la de ingeniería previa para el cliente como apoyo a la decisión de su ejecución.

En cualquiera de estas tres vertientes de la ingeniería de ejecución se requiere, además de las capacidades habituales en las diferentes disciplinas, la implantación de herramientas sólidas de control de proyectos tales como Gestión de Riesgos, Indicadores de Gestión, *Value Engineering*, etc., necesarias para garantizar el cumplimiento de los plazos de construcción y control de costes.

RESUMEN Y PERSPECTIVAS

En este artículo se ha presentado una visión de la contribución de la ingeniería en los proyectos en todas sus fases, desde el desarrollo de las tecnologías, pasando por los estudios de viabilidad y comercialización, hasta su fase final de ejecución (Figura 5).

El paso de la misión de *Architect-Engineer*, que se asignó a la ingeniería hasta los años 80, a las misiones enunciadas en este artículo



Figura 6. Integración de fuentes de energía. Nuevo reto.

lo en su doble vertiente de consultoría e ingeniería de paquetes, ha supuesto cambios sustanciales en la organización, las herramientas y los procedimientos de ejecución de la ingeniería.

Es importante resaltar que, al éxito de esta adaptación, han contri-

buido el conocimiento, la experiencia, el rigor y los métodos adquiridos en el programa nuclear español. Sobre esa base, las ingenierías españolas están participando con éxito en las nuevas misiones aquí mencionadas compitiendo en licitaciones en el ámbito internacional.

¿Cómo es el futuro?

Es difícil arriesgarse e imaginar escenarios. Sin embargo, ya están anunciados algunos retos a afrontar como son:

- Industria 4.0/ Digitalización y Big Data (Figura 7).
- Automatización de procesos, robótica y operación remota.
- Sistemas de movilidad para la ejecución de los proyectos.
- Sistemas compatibles de gestión de información.
- Nuevos materiales y códigos de diseño.
- Traslación de métodos del ámbito nuclear al convencional.
- Sistemas híbridos de generación y transmisión.
- Soluciones integradas de tecnologías de generación.

Todos estos temas se adivinan como una nueva revolución en los proyectos y métodos de ingeniería (Figura 6).

Sin embargo, la experiencia demuestra que el mayor reto es mantener ingenieros con buena formación capaces de interpretar las nuevas tecnologías y el conocimiento para transformarlos en soluciones de diseño que aporten valor añadido a los proyectos.■



Figura 7. Hacia la Industria 4.0. Nuevo reto para la ingeniería.