

Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA): instrumento de gestión del conocimiento en el sector nuclear español

L.E. Herranz, J. C. García Cuesta, S. Falcón
y J. A. Casas

La gestión del conocimiento en el sector nuclear es indispensable para garantizar la adecuada operación y el máximo nivel de seguridad de sus instalaciones. El Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA), es una de las iniciativas nacionales de formación nuclear. Su planteamiento y evolución han permitido la adaptación al espacio europeo de educación y la asimilación de los cambios sectoriales desde 2008 en sus contenidos y metodología. Este artículo resume los aspectos más relevantes de dicha transformación, su origen y el resultado final. Asimismo, reconoce el beneficio que podría lograrse a través de una colaboración más estrecha entre las iniciativas educativas nacionales en el marco de la ingeniería nuclear.

Knowledge Management in nuclear industry is indispensable to ensure excellence in performance and safety of nuclear installations. The Master on Nuclear Engineering and Applications (MINA) is a Spanish education venture which foundations and evolution have meant an adaptation to the European Education system and to the domestic and international changes occurred in the nuclear environment. This paper summarizes the most relevant aspects of such transformation, its motivation and the final outcome. Finally, it discusses the potential benefit of a closer collaboration among the existing national education ventures in the frame of Nuclear Engineering.

INTRODUCCIÓN

La obtención del conocimiento necesario por las personas adecuadas, en el tiempo, forma y lugar oportunos, fue definido por Ackermans *et al.* (1999) como Gestión del Conocimiento (GC). Su fin último es garantizar el máximo acercamiento entre la velocidad de aprendizaje y el ritmo de cambio del mercado. Para ello, se hace imprescindible crear un entorno que permita compartir el conocimiento adquirido y su aplicación, evitando así procesos recurrentes de aprendizaje que harían ineficiente cualquier sistema. El protagonismo que durante la última década ha conseguido la GC ha sido propiciado, en buena medida, por la tremenda transformación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Éstas han supuesto cambios estructurales radicales en aspectos claves, como son: el acceso a la información, su inmediatez y las nuevas estructuras y capacidades de clasificación.

La importancia de la gestión del conocimiento se hace aún mayor en la industria nuclear (IAEA, 2012). Existe una relación directa entre la GC y la seguridad de las instalaciones. Diseño, licenciamiento, construcción, operación, mantenimiento e, incluso, desmantelamiento, han de ser actividades informadas en el riesgo y basadas en el conocimiento. La capacidad de tomar decisiones correctas y llevar a cabo acciones necesarias, exige lograr y preservar saber y experiencia (IAEA, 2011). Por tanto, la GC en la industria nuclear ha de responder a un desafío claro: disponer de recursos humanos con la base y el entrenamiento necesarios para afrontar con éxito tareas derivadas de las aplicaciones de la tecnología nuclear, bien para la producción de energía o para otros usos demandados por la sociedad como los médicos, industriales, agrícolas, etc. Para ello, se cuenta con tres pilares fundamentales:

**LUIS ENRIQUE HERRANZ,
JUAN C. GARCÍA CUESTA, SUSANA
FALCÓN**

Centro de Investigaciones Energéticas
Medioambientales y Tecnológicas
(CIEMAT)

JOSÉ A. CASAS

Universidad Autónoma de Madrid (UAM)

- Las iniciativas de formación y entrenamiento. Su planteamiento e interconexión son factores fundamentales para su éxito. Los foros de intercambio entre profesionales de la enseñanza nuclear y el reconocimiento mutuo de las ofertas docentes, son instrumentos clave para la construcción de un tejido formativo sólido y eficiente.
- El almacenamiento y estructuración de la herencia científico-técnica procedente del desarrollo de los programas nucleares existentes. Se trata de la creación de bases de datos que alberguen la información de un modo clasificado, de fácil interpretación, y cuyo acceso sea abierto.
- La movilidad de estudiantes y profesionales. La existencia de iniciativas internacionales de formación y entrenamiento permite que estudiantes de países con planes nucleares en vías de implantación, tengan la oportunidad de aprender de la experiencia acumulada en países con programas consolidados. Asimismo, la globalización ha supuesto el crecimiento de los profesionales en áreas que, aún ausentes en su país de origen, se

estén desarrollando allende las fronteras.

Sin duda alguna, el desarrollo actual de las TIC ha dado lugar a metodologías innovadoras que habilitan y potencian cada uno de estos pilares.

El Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA), título propio de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), organizado y gestionado conjuntamente con el Ciemat, configura una de las iniciativas nacionales de formación nuclear (Herranz et al., 2008). Con una trayectoria de cinco años y casi un centenar de estudiantes, MINA es más consciente que nunca del papel que juega en la GC del sector nuclear español. En este artículo, se ofrece una reflexión sobre la congruencia de su planteamiento con los objetivos fundamentales de la GC y se detallan los principales cambios que han permitido su actualización acorde con los cambios del entorno nuclear nacional e internacional en el último lustro.

INTEGRACIÓN SECTORIAL

El Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA) fue concebido con el objetivo último de crear profesionales nucleares. Por tanto, el máximo empeño ha sido poner en el mercado laboral a titulados capaces de realizar las tareas que el sector nuclear español afronta dentro y fuera de nuestras fronteras. Para ello, se hizo imprescindible desde el inicio contar con la colaboración estrecha de la industria en los múltiples aspectos de este máster.

Son varios los elementos que ilustran la integración sectorial en MINA:

- El perfil profesional. Las asignaturas fueron configuradas a partir de las necesidades manifestadas por empresas e instituciones nucleares del país, quienes también participaron en la articulación de los programas detallados de aquellas. Una descripción del procedimiento de clasificación (prioritarias, fundamentales y complementarias) y elaboración de contenidos fue detallado por Herranz et al. (2008).
- La participación docente. MINA combina la enseñanza de las bases científicas de la tecnología nuclear con la de su aplicación en la industria e ingeniería. La primera es impartida por profesores e investigadores de reconocido prestigio. La aplicación, que ocupa más del 50 % de las horas lectivas, es mayoritariamente responsabi-

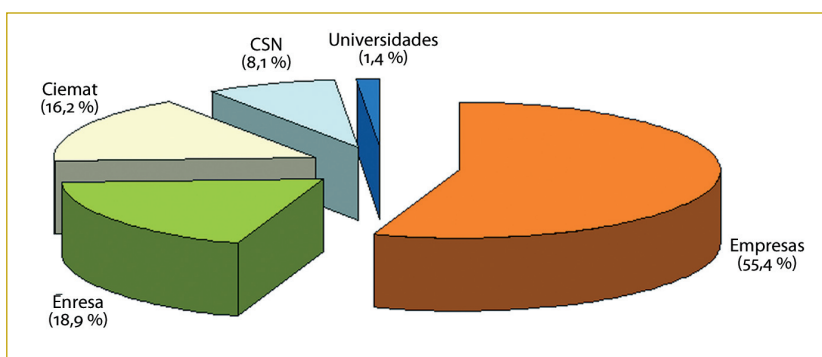


Figura 1. Dirección de proyectos fin de máster.

lidad de profesionales del sector. Este equilibrio permite acercar a los estudiantes la experiencia acumulada por la industria, sin descuidar los fundamentos en los que se sustenta.

- La dirección de proyectos. La cota de proposición y dirección de proyectos fin de máster desde el sector ha alcanzado valores superiores al 80 % en promedio (Figura 1). Estos proyectos versan, habitualmente, sobre actividades en curso en la industria, empresas e instituciones, hecho que subraya su interés. No menos importante, estos proyectos permiten el contacto directo de estudiante e industria.
- El acceso a instalaciones y eventos. Los estudiantes de MINA acceden a varias instalaciones durante el máster; ejemplos son la fábrica de combustible en Juzbado, C.N. Almaraz, el almacén de residuos de baja y media actividad en el Cabril, C.N. José Cabrera y otras. Asimismo, la Sociedad Nuclear Española abre sus puertas en la Jornada Anual de Experiencias Operativas a alumnos de másteres y cursos de postgrado relacionados con la tecnología nuclear, entre ellos MINA.
- El apoyo económico. El sector contribuye a la viabilidad económica de MINA a través de diversos mecanismos, como son las subvenciones a la matriculación o la asignación de ayudas económicas durante la realización del proyecto (Figura 2).

Desde el comienzo de su andadura, MINA ha mantenido contacto permanente con la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de fisión (CEIDEN). Actualmente, uno de los miembros del equipo MINA se halla plenamente integrado en la comisión de educación y entrenamiento de dicha plataforma. Además, al final de cada edición, MINA hace una extensa distribución en la industria e instituciones de los expedientes académicos de los alumnos que han superado las pruebas de nivel.

En resumen, MINA ejerce como un vector de la experiencia acumulada por la industria hacia una nueva generación de profesionales capaz de asimilarlos gracias a los conocimientos fundamentales adquiridos.

PROGRESIÓN TEMPORAL

Es condición *sine qua non* de cualquier instrumento del sistema de GC estar sujeto a una evaluación continua dirigida a la optimización de su eficacia y a la adaptación a las transformaciones de su entorno. Como tal, MINA estableció un sistema de garantía de calidad basado en el análisis de: encuestas individuales de asignaturas y general del máster; auto-evaluaciones de cada edición; y, finalmente, un estudio periódico de la evolución del sector. Las encuestas corresponden al alumno, se accede a través de Internet y son anónimas. Los dos últimos elementos, por el contrario, son responsabilidad del equipo

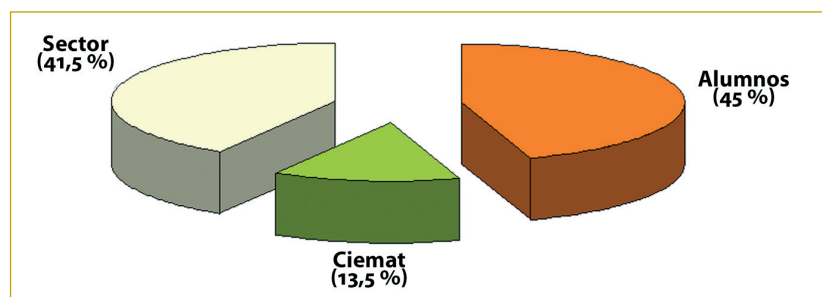


Figura 2. Cobertura de costes MINA.

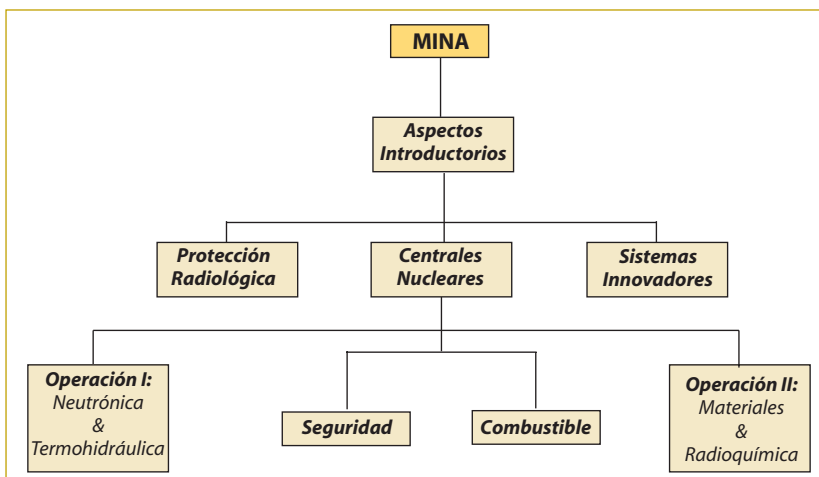


Figura 3. Estructura modular de MINA.

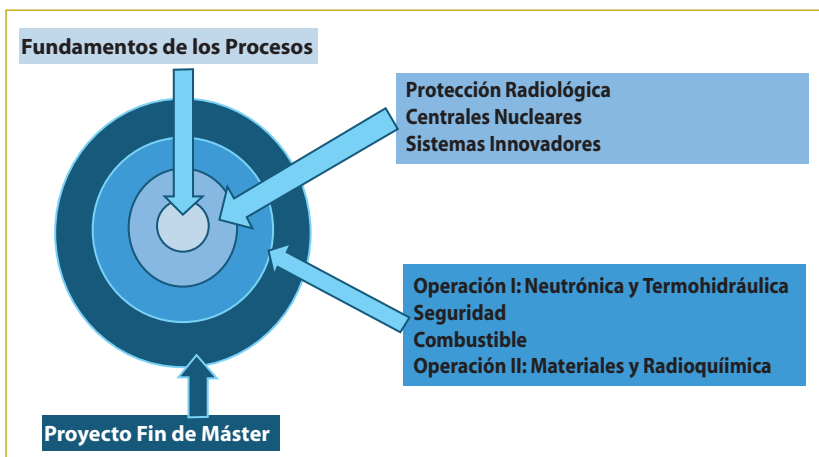


Figura 4. Esquema conceptual de la integración módulos-proyecto en MINA.

MINA y la diferencia fundamental entre ellos es el alcance temporal. A raíz del análisis de todos ellos, MINA ha sufrido transformaciones que, según su origen, pueden clasificarse en académicos y sectoriales.

Evolución académica

La evolución académica se refiere a aquellos cambios introducidos con dos fines fundamentales: acomodar MINA al Espacio Europeo de Educación (proceso de Bolonia) y facilitar al alumno la consecución del máximo rendimiento. Son numerosos los cambios implantados en MINA en este marco; por citar algunos de los más representativos:

- Estructura modular. La agrupación de asignaturas en ocho módulos de seis ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*) cada uno (150 h/módulo de las que al menos el 50 % son trabajo individual del alumno) y un módulo final de 12 ECTS para la elaboración del proyecto final de máster, tuvo lugar tras la primera edición de MINA (Figura 3). Los aspectos introductorios dan paso a tres líneas

temáticas: protección radiológica, centrales nucleares y sistemas innovadores. A partir de la segunda de ellas, se cubre el amplio espectro de disciplinas fundamentales estructuradas en cuatro módulos: neutrónica y termo-hidráulica, seguridad, combustible y materiales, y radioquímica. Tal cual se esquematiza en la Figura 4, la aplicación de los conocimientos adquiridos a través de los módulos en la fase de proyecto constituye la última fase del máster y supone la mayor proximidad del estudiante a la realidad de industria e instituciones.

- Acentuación de aspectos prácticos. A lo largo de las diversas ediciones de MINA, se han intensificado en número e importancia elementos formativos tales como las prácticas, la resolución de problemas y la preparación de trabajos. En este sentido merece especial mención la inclusión de dos sesiones en los simuladores PWR y BWR de Tecnatom.
- Celebración de talleres. En la búsqueda del *saber hacer* se han ido configurando en MINA espacios de aprendizaje en los que los estu-

diantes tienen contacto directo con herramientas analíticas de interés en el sector. Actualmente, son cuatro los talleres instaurados: MCNP (neutrónica); FRAPCON-3 (combustible); TRACE (termo-hidráulica); MELCOR (accidente severo).

- Reducción y reestructuración de las horas lectivas. Desde la primera edición de MINA se ha disminuido el número de horas de clase más de un 20 %; este hecho, unido al establecimiento de la jornada continua, permite al estudiante disponer de mayor tiempo de asimilación a través del estudio, desarrollo de ejercicios y/o elaboración de trabajos.
- Ponderación de la presión evaluadora. Sin menoscabo del nivel de exigencia, los procesos de evaluación han sido optimizados. Por un lado, se ha fomentado entre los profesores la consideración de trabajos y resolución de casos prácticos como elementos complementarios en la calificación, sin que ello conlleve la renuncia a una prueba de nivel en aquellas asignaturas cuyos contenidos son esenciales. Por otro, el número de exámenes ha disminuido por la condensación de pruebas de materias afines o por el uso de otros medios de evaluación alternativos en materias con menos de 10 h lectivas. No obstante, en aquellos casos en que el fracaso en pruebas de nivel sea superior al 25 %, la obtención del grado de máster supondrá su aprobación de tales asignaturas en segunda instancia y la realización de un ejercicio de reválida al final del máster.

A estos y otros cambios de menor calado (como la adaptación progresiva de temarios en asignaturas como neutrónica o termo-hidráulica), se ha de agregar la firma de un buen número de acuerdos de colaboración educativa con la inmensa mayoría de empresas e instituciones que participan en MINA. Este hecho ha facilitado la integración de los alumnos en las empresas e instituciones durante la fase de proyecto del máster.

Finalmente, cabe subrayar el uso intensivo y extensivo que MINA hace de recursos informáticos a través del espacio específico creado para el máster en el Aula Virtual de el Ciemat (Figura 5). Allí los alumnos pueden acceder a todos los contenidos del máster y a su programación, además de contar con foros de intercambio y debate. En casos concretos se han realizado pruebas de nivel no presenciales a través de la red.

Evolución sectorial

Desde 2008 son varios los sucesos relevantes acaecidos en el "mundo"



Figura 5. Portal web de la edición 2012-2013 de MINA.

nuclear, tanto a nivel nacional como internacional. MINA ha mantenido la atención sobre ellos y se ha ido adecuando según las evoluciones del sector.

Más allá de la necesaria adaptación, uno de los principales objetivos del análisis realizado era valorar la necesidad de MINA como instrumento dentro de la GC nuclear en España. Entre las principales motivaciones del origen de MINA estaba el denominado renacimiento nuclear. Tras la ralentización de los planes nucleares en el mundo parecía lícito, por tanto, plantearse de nuevo su sentido en el contexto actual. La conclusión ha sido rotunda: MINA sigue siendo una iniciativa de formación de profesionales nucleares pertinente y capaz.

El extraordinario dinamismo y amplio espectro de la tecnología nuclear hace que profesionales del sector de este país ejerzan su labor en lugares remotos, como Brasil, China o Corea, y no tan lejanos, como el Reino Unido; algunos alumnos MINA, de hecho, han encontrado empleo en empresas del sector con sede en Francia o en Alemania. Además, la ausencia de actividades de construcción de centrales nucleares nacionales no impide que se creen necesidades en otras áreas como el diseño y operación de otras instalaciones (como el ATC), o el propio desmantelamiento (como podría ser el caso de Santa María de Garoña). Por si estas razones no fueran suficientes, existe la circunstancia del relevo generacional que se está produciendo en España y que exige sustituir a aquéllos que han sido protagonistas del programa nuclear nacional, por "savia nueva" capaz de absorber su experiencia y mantener su buen hacer. Este hecho es indiscutible en

un país con más de 7000 MW operativos, que en 2012 fueron responsables de casi el 21 % de la producción total de electricidad en España, y cuya operación ha de continuar en los más altos niveles de seguridad durante las próximas décadas.

Por último, merece destacarse que, a pesar de la crisis económica, el promedio de estudiantes MINA que en cada edición se ha incorporado a las instituciones o empresas del sector, es del orden del 60 %. Este dato es un indicador adicional de la validez del máster para el mercado.

El análisis del contexto permitió, además, la identificación de hechos destacables con impacto potencial en MINA. A continuación se extraen hechos y repercusiones concretas en el máster:

- La decisión definitiva sobre la ubicación y puesta en marcha del Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC). La revisión de los contenidos de materias como ciclo de combustible, combustible nuclear y residuos radiactivos indicó que los conocimientos impartidos se ajustaban a las capacidades que podrían demandarse durante la construcción y operación del ATC. No obstante, el taller de combustible permitirá a los alumnos profundizar aún más en la evolución del combustible durante su almacén en seco.
- El accidente de Fukushima-Daiichi. Asignaturas como Seguridad Nuclear e Impacto Ambiental han adaptado sus temarios. La primera ha subrayado, entre otros, los sucesos externos, las piscinas de almacenamiento de combustible, el venteo filtrado de contención, las pruebas de resistencia y, en general, todo lo relativo a accidente seve-

ro; en particular, en el taller sobre accidente severo los estudiantes podrán simular las secuencias de los accidentes de TMI-2 y Fukushima-Daiichi. En Impacto Ambiental existen sesiones monográficas sobre Fukushima y se está promoviendo la inclusión en los contenidos de las técnicas de recuperación de suelos y aguas, así como la organización de un nuevo taller sobre dispersión atmosférica de la radiactividad. Los capítulos correspondientes a reactores de agua en ebullición en la asignatura de Centrales Nucleares, o a las piscinas de enfriamiento de combustible en la de Ciclo de Combustible, han sido reforzados.

- El replanteamiento nuclear. Una de las consecuencias inmediatas de Fukushima ha sido la pérdida de momento del denominado *renacimiento nuclear*, al menos durante algún tiempo. Ante la nueva coyuntura toma aún más fuerza la posibilidad de extensión de vida de centrales, incluso hasta los 80 años (OECD-NEA, 2012); los responsables de la asignatura de materiales están actualmente contemplando la posibilidad de acomodar el temario para incluir explícitamente la extensión de vida de centrales nucleares. Además, se prevé subrayar aún más el papel protagonista de los países asiáticos y los emergentes en el desarrollo nuclear, dentro de la asignatura de Aspectos Genéricos de la Energía Nuclear. A estos dos cambios ha de añadirse la introducción de los reactores modulares dentro de Sistemas Innovadores de Fisión en próximas ediciones; a diferencia de los dos primeros, este cambio no tiene conexión con el accidente de Japón, en marzo de 2011.
 - El cese de explotación de C.N. Santa María de Garoña. El desmantelamiento de instalaciones nucleares es materia específica en MINA. Los recientes acontecimientos en torno a la central burgalesa podrían subrayar su importancia y, quizás, propiciar alguna alteración del temario actualmente impartido. Además, si la situación de la central se mantuviera, en próximas ediciones MINA podría solicitar permiso para incluir a la central en sus visitas a instalaciones.
- Los cambios descritos en los párrafos anteriores han sido el resultado del análisis de "adecuación a contexto" realizado por el equipo de dirección y coordinación de MINA recientemente. Aunque algunos se han ido produciendo paulatinamente, como los directamente derivados en la asignatura de Seguridad Nuclear tras el accidente de

Fukushima, otros son propuestas realizadas a los docentes de las materias afectadas y cuya realidad será un hecho en la próxima edición de MINA.

CONSIDERACIONES FINALES

La gestión del conocimiento en el sector nuclear es indispensable para garantizar la adecuada operación y el máximo nivel de seguridad de sus instalaciones. El Máster de Ingeniería Nuclear y Aplicaciones (MINA), ha logrado convertirse en vehículo de conocimiento y experiencia mediante la incorporación del sector en su concepción y realización; como resultado, un promedio del 60% de alumnos está ejerciendo como jóvenes profesionales en industria e instituciones nucleares.

MINA es un proyecto consolidado y maduro que, sin embargo, evoluciona para conseguir la mejor adaptación al entorno académico y sectorial. Consecuencia de ello, MINA es una iniciativa formativa bien encuadrada en el espacio europeo de educación y cuyos contenidos están actualizados y articulados mediante instrumentos docentes que favorecen el aprendizaje y el entrenamiento de los futuros profesionales.

MINA coexiste en el territorio nacional con otras dos iniciativas formativas dirigidas específicamente hacia la ingeniería nuclear en las universidades politécnicas de Madrid y Cataluña. Cada una de ellas tiene peculiaridades que las distingue del resto. No obstante, sería deseable que, sin lesión alguna de la identidad individual, se estableciera un marco estable donde encontrar sinergias, crear realimentaciones y lograr mutuo reconocimiento de carácter académico. Lejos de debilitar, esta cooperación potenciaría la opción nuclear frente a otras formaciones de cara a los alumnos, optimizaría recursos docentes (como es el caso del Curso de Residuos Radiactivos -UPM y UAM-Ciemat) y, posiblemente, resultaría en un perfil más homogéneo y atractivo para el sector. La plataforma de educación y entrenamiento puesta en marcha dentro de Ceiden podría ser el entorno adecuado para forjar tal colaboración.

REFERENCIAS

- Akkermans H., Speel P.-H., Ratcliffe A., 1999. "Problem, Opportunity and Feasibility Analysis for Knowledge Management

—An Industrial Case Study", 12th Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management, Alberta (Canadá), 16-21 Octubre 1999.

- Herranz L. E., García-Cuesta J.C., Falcón S., Marco M., Couchoud M., 2008. "MINA 2008: Una aproximación renovada al máster de la ingeniería nuclear y sus aplicaciones en España", Nuclear España, Mayo 2008.
- IAEA, 2012. "Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations", IAEA-TECDOC-1675, ISBN 978-92-0-125510-5, 2012.
- IAEA, 2011. "Comparative Analysis methods and Tools for Nuclear Knowledge Preservation", Nuclear Energy Series, NG-T-6.7 STI PUB/1494, ISBN 978-92-0-113610-7, 2011.
- OECD-NEA, 2012. "Challenges in the Long-Term Operation of Nuclear Power Plants", NEA/CNRA/R(2012)5, ISBN 978-92-64-99187-3.■