

LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO NUCLEAR EN LA FORMACIÓN DE PROFESIONALES

Martín del Campo, C.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Se hace una introducción a la gestión del conocimiento nuclear y se presenta la justificación de su implementación como asignatura curricular en universidades e instituciones de educación superior. Se resalta la necesidad de incorporar una amplia variedad de herramientas y técnicas innovadoras de enseñanza como los simuladores, juegos didácticos en computadora y cursos en línea. El objetivo principal es propiciar que el aprendizaje se dará de manera eficiente y perdurable, buscando que el conocimiento esté basado en la cultura de la seguridad a ultranza. Dada la problemática actual de opinión pública y la insuficiente cantidad de alumnos en carreras de ingeniería y/o ciencias nucleares, se discuten algunas estrategias para atraer a los mejores estudiantes hacia los programas académicos en ingeniería nuclear o afines. Teniendo en cuenta la alta multidisciplinariedad del personal de una central nuclear, y de las instalaciones del ciclo de combustible, se destaca la importancia de proporcionar los fundamentos nucleares a todos los trabajadores y directivos con formación no nuclear, de manera atractiva para que obtengan y asimilen las bases que le permitirán trabajar eficientemente y con toda seguridad. Se resaltan las ventajas que ofrecen las redes de educación, las cuales integran personas o instituciones en el ámbito nacional, regional o internacional, y que se han creado por iniciativa del Organismo Internacional de Energía Atómica. El principal objetivo es compartir ideas, información, programas de estudio, cursos, software y recursos en general, que apoyen la formación de recursos humanos de alta calidad, requeridos por las instalaciones del ciclo vida de la energía nuclear y los centros de investigación sobre tecnologías avanzadas, así como para implementar programas de desarrollo nuclear a corto y largo plazos. Se concluye sobre la importancia de la capacitación en gestión de conocimiento nuclear, que debe obtener todo profesional del sector durante su formación universitaria o tecnológica.

ABSTRACT

This paper presents an introduction to nuclear knowledge management and justifies the implementation of it as curricular subject in master programs at universities. It also highlights the necessity of widening the variety of innovative teaching tools and techniques such as simulators, didactic games on the computer, and e-learning. The primary objective is to aid in learning in a more efficient and long-lasting manner, while looking for knowledge base primarily on a safety culture. Given that public opinion is complex and the insufficient number of students interested in nuclear sciences and engineering, some strategies to attract good students to these academic programs are discussed here. Given the highly multidisciplinary skills and competences of staff that work for a nuclear power plant, as well as in all other installations involved in the processes of the nuclear fuel cycle, it is important to provide basic nuclear education to all laborers and managers, who may have been formed in disciplines other than nuclear. This must be done in an attractive way, so they may obtain and assimilate nuclear fundamentals that would allow them to work in an efficient and safe manner. The advantages of networks in nuclear education that have been created as initiative of the International Atomic Energy Agency are presented. The main objective is to share ideas, information, study programs, courses, software, etc., that support the education of human resources, at the very high level that all nuclear installations in their life cycle require. This also applies to research centers developing advanced technologies, as well as to nuclear programs that may be implemented in the short and long term. In conclusion, we talk about the importance of the ongoing training in nuclear knowledge management that all professionals in the sector must obtain in their university or technological education programs.

1. INTRODUCCIÓN

La participación de la energía nuclear a nivel mundial se sustenta en el desarrollo tecnológico de la industria nuclear el cual depende en gran parte del “conocimiento nuclear” relevante, que ha sido generado y recopilado durante décadas de investigación y desarrollo de tecnologías nucleares para todo tipo de aplicaciones y muy especialmente en aquellas que tienen un enfoque energético. La generación actual de científicos e ingenieros que posee el conocimiento, para el aprovechamiento de la nucleoelectricidad con diferentes tecnologías y ciclos de combustible, tiene un rol fundamental en la conservación y transferencia de conocimiento a las siguientes generaciones. Para favorecer el uso continuo de las instalaciones nucleares existentes y, asimismo, para futuras innovaciones y para el desarrollo socioeconómico es indispensable que se realice una adecuada “gestión del conocimiento nuclear”. Desafortunadamente, el estatus actual del conocimiento nuclear y la gestión de éste todavía no se encuentran en condiciones óptimas en el plano internacional y tampoco en el contexto nacional. Además, la gestión del conocimiento nuclear, es un proceso sumamente dinámico, que implica la retroalimentación continua de nuevo conocimiento y la adecuación al sector específico.

La historia del desarrollo de la energía nuclear, es muy larga y no es el tema de este trabajo. Por lo mismo sólo mencionaremos unas cuantas líneas para poner en contexto la importancia que tiene el uso de la energía nuclear en temas de seguridad energética y mitigación del calentamiento global. Actualmente existen 437 reactores nucleares de potencia operando en 30 diferentes países produciendo 11% de la electricidad mundial, y hay 66 en construcción [1]. Cabe señalar también, que muchos países han construido reactores de investigación para proporcionar una fuente de neutrones para la investigación científica y la producción de radioisótopos para usos médicos e industriales. Aproximadamente 56 países operan un total de 284 reactores de investigación. Adicionalmente existen alrededor de 220 naves y submarinos propulsados por reactores nucleares [1].

Parte esencial de la tecnología nuclear es la rigurosa aplicación de la llamada “Defensa a profundidad” basada en barreras: la primera barrera consiste de un diseño conservador compuesto por tres elementos fundamentales que son el combustible nuclear, el reactor y la contención; la segunda barrera es el control de la operación del reactor, la tercera barrera es un conjunto de sistemas de seguridad y protección, la cuarta barrera son procedimientos de gestión de accidentes, y la quinta es la aplicación del plan de emergencia externo.

La tecnología para el aprovechamiento de la energía nuclear hace uso prácticamente de profesionales de todas las ramas de las ciencias y las ingenierías. La mayor parte de los trabajadores en una central nuclear o en instalaciones del ciclo de combustible son ingenieros de diversas especialidades incluyendo mecánica, eléctrica, electrónica, computación, civil, química, geológica, entre otras. Sin embargo, los ingenieros de estas especialidades y todos los trabajadores de una planta nuclear requieren conocer los fundamentos de la ingeniería nuclear para poder realizar su trabajo de manera eficiente y con los niveles de confiabilidad y seguridad exigidos por la industria nuclear.

Los actores principales en la elaboración de un programa de desarrollo nuclear de un país son ingenieros nucleares que conocen con profundidad y en general todos los procesos, sistemas, materiales, equipos, etc. de la industria nuclear.

Es una realidad que la sociedad moderna no podría dar marcha atrás a los usos de la radiación y técnicas nucleares en una infinidad de aplicaciones. Por ejemplo, en la medicina sirven tanto para diagnóstico como para tratamiento y curación de enfermedades; podemos mencionar aplicaciones dirigidas a ampliar el conocimiento como son la exploración y la datación; aplicadas industriales, como son radiografías, mediciones, perfilajes en torres de destilación y petroleras; además, para la esterilización de alimentos, cosméticos, material quirúrgico, etc. Los fundamentos de la ciencia e ingeniería nuclear también son relevantes para los trabajadores de las muy variadas aplicaciones industriales y médicas de la radiación.

La participación de ingenieros nucleares en las aplicaciones antes mencionadas, están directamente relacionadas con el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad. El desempeño, la confiabilidad, la seguridad y la protección radiológica han mejorado considerablemente con la experiencia obtenida de la operación de los reactores nucleares, la cual ha sido recopilada y asimilada, durante varias décadas, por ingenieros de diferentes campos de especialidad y muy especialmente por los ingenieros nucleares.

Los avances en investigación y el desarrollo tecnológico en el área de la energía nuclear han tenido una sinergia sorprendente; el conocimiento científico apoya al desarrollo tecnológico y la tecnología impulsa al conocimiento científico.

Actualmente, la comunidad nuclear internacional cuenta con la tecnología necesaria para la gestión de la cadena energética nuclear, llamada también ciclo de combustible nuclear compuesto por instalaciones con equipos y procedimientos de operación adecuados para soportar el desarrollo sostenible de la energía nuclear. Sin embargo, en cada etapa del ciclo de combustible existen retos generales dirigidos a mejorar la eficiencia sin afectar la seguridad de cada proceso.

El ciclo de combustible nuclear incluye una serie de procesos industriales pre-irradiación del combustible, la irradiación misma del combustible para la producción de energía, y los procesos post-irradiación del combustible, clausura y desmantelamiento de la central. La industria nuclear, cuenta con la tecnología indispensable para el manejo y acondicionamiento de los residuos nucleares del reactor, incluyendo los desechos de alto nivel (combustible irradiado) y los desechos de bajo y medio nivel, es decir, los desechos producidos durante la operación del reactor y otros procesos industriales del ciclo de combustible. Además, se encuentran en desarrollo técnicas avanzadas de transmutación para reducir volúmenes y actividades de los desechos radiactivos. Todas estas técnicas pueden ser eficientadas y mejoradas gracias a las innovaciones tecnológicas que resultan de los trabajos de investigación en varias disciplinas de ciencias e ingeniería en las que es indispensable contar con los conocimientos fundamentales de los ingenieros nucleares.

Desde hace varios años el OIEA ha venido trabajando con las universidades e instituciones educativas para atender la futura demanda de fuerza laboral, así como, la calidad y alcance de la “educación nuclear”. Con ese objetivo ha organizado algunos talleres sobre innovación en entrenamiento y educación nuclear. El tema principal ha sido dar a conocer sistemas o procesos de transferencia del conocimiento existente, desarrollos modernos científicos y tecnológicos para impartir conocimiento, técnicas innovadores para asegurar el entendimiento de los procesos nucleares para que el entrenamiento y/o educación sean durables.

2. SECTOR NUCLEAR EN MÉXICO

Durante la década de los sesentas, el proyecto científico más importante en México fue la construcción del Centro Nuclear, en Salazar, Estado de México, iniciada en 1964. En el tema de energía nucleoelectrica, las investigaciones preliminares para identificar posibles sitios para plantas de energía nuclear se iniciaron en 1966 por la Comisión Nacional de Energía Nuclear y en 1969 por la Comisión Federal de Electricidad. En 1972 se tomó la decisión de construir la primera central nuclear para la generación de energía eléctrica, y en 1976 se inició la construcción de la Central Nucleoelectrica Laguna Verde (CNLV) con dos reactores de 654 MWe, cada uno, de la tecnología de agua en ebullición (BWR, por sus siglas en inglés) de la compañía General Electric. Las dos unidades tienen un diseño que cumple con la filosofía de seguridad implantada en los reactores del país de origen de la tecnología. De hecho, el marco de referencia que se adoptó para evaluar la seguridad en el diseño fue precisamente el capítulo 10 del Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos de América, así como las guías reguladoras y otros documentos emitidos por el órgano regulador de ese país. En efecto, la puesta en marcha de la CNLV cuya Unidad 1 entró en operación comercial en 1990 y la Unidad 2 en 1995, marcó un hito en la historia de la ingeniería nuclear en México. Desde entonces la CLV se ha venido desempeñado exitosamente, entregando a la red nacional de electricidad alrededor del 3.5% de la energía total generada en el país, con muy altos estándares de confiabilidad. Lo más relevante a mencionar sobre la infraestructura organizacional del sector nuclear en México es:

- La Secretaría de Energía (SENER) administra el sector de la energía nuclear y las aplicaciones de las radiaciones. Además es el contacto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y miembro de la Nuclear Energy Agency (NEA).
- La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la empresa eléctrica estatal fundada en 1937 y propietaria actualmente de la Central Nucleoelectrica de Laguna Verde.
- La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) fue creada desde 1979 y es el órgano regulador del sector.
- El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) brindan apoyo tecnológico a la CFE y a la CNSNS.
- El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) procura becas y fondea proyectos para la formación de recursos humanos y desarrollo tecnológico. También otorga estímulos a través del Sistema Nacional de Investigadores.
- Cinco universidades públicas ofrecen programas de licenciatura y/o posgrado que incluyen temas nucleares o de aplicaciones de la radiación. Recientemente el Tecnológico de Monterrey inició algunas optativas en temas de energía nuclear.
- La Sociedad Nuclear Mexicana (SNM); la Academia de Ingeniería (AI) de México; la Red Mexicana de Educación, Capacitación e Investigación Nuclear (REMECIN) y la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica (SMSR) son algunas de las agrupaciones gremiales que promueven la integración de los profesionales del campo nuclear en México para dar sustento a proyectos de desarrollo tecnológico.

3. LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO NUCLEAR

El término “conocimiento nuclear” abarca la educación y la capacitación de los ingenieros nucleares, pero también incluye la formación nuclear que debe tener toda la gama de

ingenieros que laboran en una instalación nuclear. Esto abarca ramas como lo son ingenieros mecánicos, electricistas, civiles, químicos, en informática y computación, etc.

En una resolución adoptada el 24 de septiembre de 2010, la Conferencia General del OIEA resaltó el papel importante que juega el OIEA en asistir a los Estados Miembros, entre ellos México, en sus esfuerzos para preservar y mejorar el conocimiento nuclear. Una de las principales necesidades de la gestión del conocimiento nuclear, es facilitar educación y entrenamiento sustentables en el campo nuclear. A continuación, se presentan definiciones vinculadas con la gestión del conocimiento, seguidas de aquellas vinculadas más específicamente con la gestión del conocimiento nuclear.

3.1. ¿Cómo podemos definir a la Gestión del Conocimiento?

Cuando se habla de conocimiento, a menudo, se hace referencia a los datos y a la información; sin embargo, ¿cuál es la diferencia entre datos, información y conocimiento?

Los datos son representaciones de hechos, conceptos o instrucciones de manera formal y adecuada para que estos datos sean tratados, interpretados o procesados, tanto por las personas, como a través de los medios electrónicos.

La información se refiere a los datos que se organizaron dentro de un contexto y se tradujeron en una forma que tiene estructura y significado; da respuestas a las preguntas de "quién", "qué", "dónde" y "cuándo".

El conocimiento puede definirse como las construcciones mentales utilizadas al adquirir e interpretar hechos y la aplicación y la recopilación de aquellos datos que se utilizan para pensar creativamente, resolver problemas y emitir juicios. La adquisición del conocimiento puede definirse como el proceso por el que la información se adquiere, se comprende y se interpreta. Que una persona tenga conocimiento sobre un tema, sugiere que esa persona tiene la capacidad para realizar un acto vinculado con ese tema. Puede aplicarse el conocimiento a los siguientes temas, entre otros: resolución de problemas y aprendizaje, formación de juicios y opiniones, toma de decisiones, previsión y planificación estratégica, generación de opciones probables para realizar acciones y realización de una acción para lograr los resultados deseados.

El conocimiento refleja aún un mayor nivel de organización al punto tal de que puede probarse la verdad o la falsedad al evaluar aseveraciones en contraposición con la experiencia y otras ideas. Una persona no sólo comprende patrones y generalizaciones de información, sino además las causas o los motivos que existen detrás de ellos, la aplicación de datos e información y, además, las respuestas a los "qué" y a los "cómo".

El conocimiento protege los activos intelectuales de los individuos y evita su desaparición, aumenta su inteligencia adquirida y les brinda una significativa flexibilidad. El conocimiento es el recurso vital para el desarrollo humano y la supervivencia y debe gestionarse cuidadosamente. Esto resulta particularmente cierto para un campo tan complejo como la tecnología nuclear, que virtualmente incluye toda disciplina dentro de las ciencias físicas, sociales, ingenieriles y económicas. Por ende, el conocimiento es un activo. Tener

conocimiento de algo significa tener la capacidad de adquirir, comprender y darle un significado a la información y a los hechos.

3.2. ¿Qué es la Gestión del Conocimiento Nuclear?

La gestión del conocimiento nuclear es un método sistemático e integrado aplicado a todas las etapas del ciclo de conocimiento nuclear, incluyendo su identificación, compartición, protección, diseminación, preservación y la transferencia correspondiente para alcanzar objetivos específicos [2].

El conocimiento nuclear es único en muchas formas: es complejo, requiere de manera muy significativa de financiamiento y apoyo gubernamental, y debe ser desarrollada, compartida y transferida a muchas generaciones. Además, hay mucha sensibilidad comercial y de seguridad con información crítica debido al uso dual de aplicaciones civiles y militares.

Es importante resaltar que las funciones de negocio incluyen: estrategias de negocio, gestión de la seguridad, gestión de recursos humanos (incluyendo desarrollo de competencias), tecnología de la información y la comunicación, gestión de cualidades, administración de información y registros, gestión del riesgo, y relaciones públicas. Cada una de estas funciones tiene diferentes contribuciones en la gestión del conocimiento de una organización.

3.3. ¿Cuáles son los Elementos Básicos de la Gestión del Conocimiento Nuclear?

Un sistema efectivo de gestión del conocimiento combina tres elementos básicos: las personas, los procesos y las herramientas, operando dentro de una cultura organizacional que reconoce el valor del conocimiento nuclear.

Sólo las personas pueden crear el conocimiento nuclear, lo pueden diseminar, compartir, transferir y aplicar. Es la gente quien se puede apropiar de habilidades, experiencia, aptitudes y motivación. En un ambiente altamente regulado, como lo es la industria nuclear, las directivas o instrucciones claras, la gobernabilidad y la supervisión son esenciales para preservar la seguridad, controlar el riesgo y asegurar la eficiencia. A través de la adopción de procesos acordados, el manejo del conocimiento puede ser controlado y monitoreado por las personas. La industria nuclear, se basa en un ambiente cargado de información y modelación de procesos, por lo que la tecnología, a través de computadoras y equipos asociados son inevitablemente usados como herramientas para ayudar a crear y explotar conocimiento por los verdaderos guardianes del conocimiento nuclear, las personas.

Las principales características a considerar en la gestión del conocimiento son: la complejidad, el alto costo, la escala de tiempo muy larga, la cooperación y la educación.

3.4. ¿Cuáles son los principales Objetivos de la Gestión del Conocimiento Nuclear?

Los programas eficaces de gestión del conocimiento nuclear tienen los siguientes objetivos:

- Apoyar la operación segura de todas las instalaciones nucleares.
- Lograr ganancias en el desempeño económico y operacional.
- Facilitar la transferencia de conocimiento interorganizacional e intergeneracional.

- Fomentar la innovación y la cooperación.
- Mejorar la seguridad y responsabilidad del uso de la información.

Para lograr estos objetivos, la gestión de conocimiento nuclear, deberá integrarse con otras actividades y operaciones de negocio, en todos los niveles, como parte de:

- Todos los proyectos nucleares grandes.
- Administración y gobernabilidad (dirección) de todas las organizaciones implicadas en investigación, desarrollo y utilización de energía nuclear y de tecnologías de la radiación.
- Planes y estrategias nacionales (de gobierno) de desarrollo nuclear.

Para profundizar sobre el tema de gestión de conocimiento nuclear consultar [3,4,5] en las que encontrarás amplias explicaciones.

3.5. ¿A qué se refiere la Cultura de la Gestión del Conocimiento Nuclear?

Los *ingredientes de una receta* de la “cultura de la gestión de conocimiento nuclear” son:

- Cultura que promueva compartir conocimientos.
- Ser responsable, sin culpar al ambiente (reportar incidentes/eventos como una oportunidad de aprendizaje, y compartir lecciones aprendidas).
- Un ambiente de compartir-recompensar.
- Compartir métodos y herramientas de conocimiento en sitio.
- Liderazgo/compromiso de los más altos niveles en la organización.
- Definición muy clara de objetivo/problema a ser abordado y las competencias necesitadas.

Esta cultura difícilmente puede ser adquirida sino es enseñada en un curso dedicado especialmente al tema de la gestión del conocimiento nuclear. El curso debe tener objetivos claros y un programa bien definido y diseñado con base en procesos pedagógicos y evaluaciones de aprendizaje precisas. El curso tiene que ser tomado preferentemente durante los estudios profesionales o de grado, o en su defecto durante el periodo de la capacitación en el trabajo en la industria nuclear. Lo más recomendable es que todos los trabajadores de la industria nuclear deben haber tomado el curso sin excepción.

4. INNOVACIONES EN EDUCACIÓN NUCLEAR

Las innovaciones no duran para siempre, por lo mismo es muy importante investigar continuamente sobre los mecanismos, los cuales pueden ser métodos, herramientas, metodologías, sistemas y programas, que incorporen nuevas formas de aprender, asimilar, adquirir y apropiarse de los conocimientos, capacidades y habilidades. Algunas de los métodos y herramientas no necesariamente son muy recientes, lo importante es que sean efectivos y que tengan algo atractivo y novedoso para los alumnos. En el contexto de las universidades, podemos mencionar los siguientes:

- Simuladores académicos o de enseñanza. El OIEA ha desarrollado un conjunto de simuladores para PC de las diferentes tecnologías de reactores nucleares. El objetivo es enseñar la operación y respuesta a situaciones de transitorios y accidentes para una variedad de reactores nucleares. Estos simuladores están limitados a características de

respuesta general y no deben usarse para diseño, seguridad o entrenamiento de operadores, sin embargo son una herramienta complementaria al curso que resulta muy valiosa para explicar la fenomenología que se presenta en los reactores.

- Cursos multimedia. Un ejemplo es el multimedia de Física Reactores desarrollado por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), en colaboración con el OIEA y varias redes educativas [6].
- Videojuegos pedagógicos. Un ejemplo es el desarrollado por los franceses [7] para el tema de protección radiológica en el cual el usuario se inserta en un espacio tridimensional y aprende jugando, además puede realizar trabajos práctico interaccionando a través de una presentación PowerPoint.
- Uso de plataformas de enseñanza a distancia [8] con material preparado con base en un diseño instruccional y uso de metodologías pedagógicas ya probadas.
- Compartir laboratorios experimentales para realizar prácticas y que la formación no sea tan teórica. Realizar visitas técnicas a instalaciones nucleares.
- Buscar estancias o intercambio de alumnos y profesores entre las universidades que participen en la red nacional (REMECIN), regional (LANENT) y las internacionales de prestigio.
- Además se recomienda convertir al reactor TRIGA del Centro Nuclear de México en un Internet-Reactor-Laboratorio que pueda ser utilizado para realizar prácticas educativas a distancia [9].

5. ESTRATEGIAS PARA ATRAER A LOS MEJORES ESTUDIANTES

La formación de recursos humanos es el pilar para el desarrollo y mantenimiento de un programa nuclear. La educación, la capacitación y el entrenamiento se complementan y deben estar basados en metodologías muy atractivas para que las personas se responsabilicen de su auto-aprendizaje, su capacitación y su entrenamiento para desempeñar una tarea específica dentro de un proceso en el que se trabaja en equipo.

El plan nacional de desarrollo nuclear en México deberá incluir una estrategia de difusión pública de los beneficios de la energía nuclear en el contexto de la sustentabilidad energética y ambiental. Es vital que se trabaje muy intensamente con la población de estudiantes desde la escuela secundaria, la preparatoria y con los universitarios, organizando actividades como visitas a las instalaciones nucleares, concursos de tesis, congresos, y videoconferencias para atraer a los estudiantes más brillantes hacia los programas nucleares. Se recomienda seguir las metodologías de INPRO [10] como guía. Es necesario un compromiso gubernamental para apoyar la formación de recursos humanos y plantear un programa nacional de desarrollo nuclear.

6. BENEFICIOS DE LAS REDES DE EDUCACIÓN

Mantener las competencias nucleares puede ser el reto más crítico en el futuro cercano; por esta razón el OIEA ha venido promoviendo la creación y fortalecimiento de diferentes redes regionales e interregionales que se han establecido para el fortalecimiento de la educación y la capacitación en el uso pacífico de la energía nuclear. Éstas son la LANENT (región de

América Latina y el Caribe), la AFRA-NEST (región africana), la ANEN (región asiática) y la ENEN (región europea). LANENT fue creada en diciembre de 2010, su misión es promover, gestionar y preservar el conocimiento nuclear, asegurar la disponibilidad de recursos humanos calificados, facilitar y promover la cooperación en educación, entrenamiento y difusión en tecnología nuclear. A su vez, en enero de 2011 fue creada REMECIN, Red Mexicana de Educación, Capacitación e Investigación Nuclear. El objetivo de REMECIN es facilitar la cooperación en investigación, educación y entrenamiento en tecnología nuclear entre las instituciones del área nuclear del país, y fomentar la preservación del conocimiento.

7. CONCLUSIONES

Han transcurrido más de 20 años desde que se terminó la construcción de la segunda unidad de la CNLV, y la Secretaría de Energía no ha publicado un plan bien definido en relación a nuevas construcciones nucleares. En consecuencia, estudiar ingeniería nuclear no ha tenido atractivo entre los jóvenes y por consiguiente se han formado relativamente muy pocos nuevos ingenieros con conocimientos nucleares en estos 20 años. Por otro lado, algunos de ellos han encontrado oportunidades de trabajo fuera del país, y otros han migrado a otros campos de la ingeniería no-nuclear por falta de oportunidades de empleo en el campo nuclear en el país. Esta situación justifica con mayor razón la necesidad de tener un programa de Gestión del Conocimiento Nuclear específico para México.

La incorporación de una asignatura de Gestión del Conocimiento Nuclear en el programa de maestría en ingeniería nuclear o en ciencias nucleares es indispensable. Por la misma razón de que son pocos los estudiantes que ingresan a programas en ingeniería nuclear, es indispensable utilizar tecnologías modernas y procedimientos innovadores para obtener una educación (y entrenamiento) nuclear de la más alta calidad. Lo anterior redundaría en convertir a la ingeniería nuclear en una opción atractiva para los estudiantes que buscan cosas nuevas, técnicas modernas y tecnologías avanzadas. La recomendación es incorporar simuladores de aula, videojuegos pedagógicos, cursos multimedia, uso de plataformas de enseñanza a distancia con material preparado con base en un diseño instruccional y aplicación de metodologías pedagógicas ya probadas.

El sector nuclear mexicano, coordinado por la Secretaría de Energía, debería elaborar un plan nacional de desarrollo nuclear con metas a corto, mediano y largo plazos. El plan debe incluir un programa para la formación de recursos humanos. La Central Nuclear de Laguna Verde y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias deberán seguir utilizando los sistemas y procedimientos más avanzados que se tienen a nivel internacional para la selección, capacitación y entrenamiento de su personal, para mantener los más altos niveles de eficiencia y seguridad, requeridos por las instalaciones nucleares. El plan nacional de desarrollo nuclear en México deberá incluir una estrategia de difusión pública de los beneficios de la energía nuclear en el contexto de la sustentabilidad energética y ambiental.

8. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por su valiosa promoción de la gestión del conocimiento nuclear en todos sus países miembros y por el apoyo económico que me ha brindado para capacitarme en este tema tan importante para el desarrollo nuclear.

9. REFERENCIAS

1. World Nuclear Association, Web. <http://www.world-nuclear.org/> (2011)
2. IAEA, *Managing Nuclear Knowledge; Pocket Reference for Executives*. IAEA, Vienna, Austria (2009).
3. IAEA, *International Journal of Nuclear Knowledge Management*, Vol. 3, No. 2. IAEA, Vienna (2009).
4. IAEA, “Nuclear Knowledge Management Handbook”, *CD with Working Material* Lugar, Vienna, Austria (2011).
5. Interactive Training Course on Nuclear Knowledge Management, Part 1. Training Course Series 43. IAEA, Vienna, Austria (2010).
6. Dies, J., Puig, F., Pereira, C., “Multimedia de Física de Reactores Nucleares “, cd-rom en varios idiomas, <http://www.xinexus.ch/mnnp-book/abstractContents.html>. Colaboradores: IAEA, ENEN, ANENT, LANENT y TECNATOM, Barcelona, España (2004).
7. Radioprotection Cirkus: Le portail de la RP pratique, <http://www.rpcirkus.org/> France (2012)
8. Cyber Learning Platform, <https://nucleareducationdb.org/> & <http://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/CLP/index.html>, IAEA (2012).
9. Carrigan, A., “The Internet Reactor Laboratory”, Research Reactor Section, Department of Nuclear Energy, Presentación durante el taller “IAEA Technical Meeting on Innovative Nuclear Education and Training”, Vienna International Centre, Vienna, Austria. 23-26 April, (2012). <https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Videos/repository/2014-03-03-RRS-Bradley-2.html>.
10. IAEA, INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Economics: A report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO) IAEA Nuclear Energy Series NG-T-4.4, Vienna (2014).