

Capacitación en funcionamiento y seguridad de las centrales nucleares mediante el aprendizaje activo basado en simuladores de reactores

Training in operation and safety of nuclear power plants through active learning based on reactor simulators

Belén Jeanne Juste ^a, Rafael Miró ^b, Teresa Barrachina ^c, Gumersindo Verdú ^d

^aDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, bjuste@upv.es ;

^bDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, , rmiro@upv.es;

^cDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València,, tbarrachina@upv.es; ^dDepartamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, , gverdu@iqn.upv.es.

How to cite: Jeanne Juste, B.; Miró, R.; Barrachina, T.; Verdú, G. 2022. Capacitación en funcionamiento y seguridad de las centrales nucleares mediante el aprendizaje activo basado en simuladores de reactores. In the proceedings book: International conference on innovation, documentation and education. INNODOCT/22. Valencia, November 2nd-7th 2022. <https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15712>

Abstract

In the last decade, and mainly due to technological advancement, the effectiveness of exploring new teaching strategies has been demonstrated. The most widespread trend is to provide a more "active" role to students to promote their learning motivation and to improve their content retention. Among other techniques, it is worth mentioning the use of computational simulators, which allow to enhance the involvement of students in learning. This methodology is being applied in one subject of the Master's Degree in Industrial Engineering of the UPV. The main goal is to optimize teaching through "experience," and it has been shown how this practice has a more effective approach than theoretical classes to teach the fundamentals of nuclear technology. The library of PCTTRAN (Personal Computer Transient Analyzer) reactor simulators used includes models of conventional and advanced PWR (Pressure Water Reactor) and BWR (Boiling Water Reactor) nuclear power plants. Based mainly on conventional models, different exercises are carried out focused on the normal operation of the reactor, maneuvering of reactor power drop and shutdown, different operating transients and simulation of accidents. These exercises help students learn the complex system interactions within a nuclear power plant, achieving active learning, which ultimately increases the retention rate.

Keywords: *Training, nuclear power plants, active learning, simulators*

Resumen

En la última década, y principalmente debido al avance tecnológico, se ha demostrado la efectividad de explorar nuevas estrategias de enseñanza. La tendencia más extendida es proporcionar un papel más "activo" a los estudiantes para promover su motivación de aprendizaje y mejorar su retención de contenidos. Entre otras técnicas, cabe destacar el uso de simuladores computacionales, que permiten potenciar la implicación de los alumnos en el aprendizaje. Esta metodología se está aplicando en una asignatura del Máster Universitario en Ingeniería Industrial de la UPV. El objetivo principal es optimizar la enseñanza a través de la "experiencia", y se ha demostrado cómo esta práctica tiene un enfoque más efectivo que las clases teóricas para enseñar los fundamentos de la tecnología nuclear. La biblioteca de simuladores de reactores PCTTRAN utilizada, incluye modelos de centrales nucleares PWR y BWR convencionales y avanzadas. Basados principalmente en los modelos convencionales, se llevan a cabo diferentes ejercicios enfocados en el funcionamiento normal del reactor, maniobras de caída de potencia y apagado del reactor, diferentes transitorios de operación, así como la simulación de accidentes. Estos ejercicios ayudan a los estudiantes a aprender las complejas interacciones del sistema dentro de una planta de energía nuclear, alcanzando un aprendizaje activo, que en última instancia aumenta la tasa de retención.

Palabras clave: *Formación, centrales nucleares, aprendizaje activo, simuladores.*

Introducción

El aprendizaje basado en simulaciones mejora considerablemente la retención de los conceptos de enseñanza y permite una mejor comprensión de los contenidos, ya que sitúa a los estudiantes en situaciones en las que pueden poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula. En particular, los simuladores de reactores nucleares educativos se basan en la simulación de una determinada situación (tanto en estado estacionario como en transitorio) o accidentes de emergencia, con el fin de practicar diferentes acciones y respuestas que se requieren en la vida real en una situación similar en una central nuclear.

En estas sesiones, se anima a los estudiantes a aplicar por sí mismos el conocimiento teórico en escenarios reales y convertirlos en acciones en tiempo real. Por lo tanto, este proceso es altamente efectivo para la retención de conocimiento.

Las simulaciones son una herramienta probada para mejorar el aprendizaje y también crear un ambiente positivo que fomenta la experimentación y acepta errores, algo muy importante en el contexto del aprendizaje (Romero, 2009).

El modelo de pirámide de aprendizaje (Lalley, 2007) sugiere que algunos modelos educativos de estudio son más efectivos que otros ya que incrementan el grado de retención y conducen a un aprendizaje más profundo y una retención a más largo plazo. De acuerdo con esto, los simuladores educativos se clasificarían como Aprendizaje Activo e incluirían en el nivel "Practicar haciendo".

Los simuladores de centrales nucleares PCTTRAN se utilizan en la asignatura "Energía Nuclear y Radiaciones" del segundo curso del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Una de las cuatro clases prácticas impartidas en esta asignatura, se centra en el uso de simuladores de centrales nucleares para introducir a los estudiantes las complejas interacciones del sistema dentro de la gestión y capacitación de un reactor sin representar ningún riesgo para el equipo o el personal de la planta. La repetición de escenarios tantas veces como sea necesario permite no solo familiarizarse con las diversas características de seguridad de una central nuclear, sino que también ayuda a dar una visión más amplia de las características generales de seguridad de un tipo particular de central nuclear.

Desde 2017 la guía docente de esta asignatura mantiene como una de sus actividades principales la clase de simulación de reactores nucleares para introducir a los alumnos en el comportamiento y las operaciones fundamentales de diversos tipos de reactores. Los simuladores PCTTRAN incluyen los simuladores para todas las tecnologías de reactores refrigerados por agua, aunque en esta sesión se utilizan los reactores más convencionales: Reactor de agua a presión (PWR), Reactor de agua en ebullición (BWR) y Reactor de piscina (Pool).

Los estudiantes, confiando en los conocimientos teóricos enseñados en las clases teóricas y gracias a esta sesión práctica de tres horas, pueden fortalecer la comprensión del diseño, las características operativas, los sistemas clave de seguridad y el comportamiento transitorio / accidental de varios tipos de reactores (IAEA, 2004).

1.Objetivos

El objetivo principal es optimizar la enseñanza a través de la "experiencia", y se ha demostrado cómo esta práctica tiene un enfoque más efectivo que las clases teóricas para enseñar los fundamentos de la tecnología nuclear (Dueñas, 2016). Los objetivos específicos son:

- ✚ Aplicar una metodología de aprendizaje activo y colaborativo para realizar una práctica de simulación en la asignatura “Energía Nuclear y Radiaciones” del segundo curso del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, de la Universitat Politècnica de València en modalidad presencial.
- ✚ Evaluar la metodología de aprendizaje activo y colaborativo mediante una comparación con la metodología desarrollada durante las clases teóricas de la asignatura.
- ✚ Determinar el nivel de aceptación de la metodología por parte de los estudiantes.

2. Metodología

2.1. La asignatura “Energía nuclear y radiaciones”

La asignatura en la que se ha implantado la innovación docente es "Energía Nuclear y Radiaciones" del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (MUII) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII), especialidad "Generación de Energía", de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Se trata de una asignatura optativa con 6 ECTS (3,2 créditos teóricos y 2,8 créditos prácticos) a la que suelen asistir de media 25 alumnos. El curso 2017-2018 fue el primero en el que se impartió la asignatura. La asignatura tiene un enfoque transversal, que tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes una visión de la tecnología nuclear actual, haciendo hincapié en los reactores nucleares de agua ligera actuales. Las competencias específicas están relacionadas con la energía nuclear y los aspectos sociales, económicos, regulatorios y ambientales de la generación de energía, etc.

El profesorado trata de dar una visión del mundo nuclear, potenciando los casos y ejemplos de otros países, pero también dando ejemplos relacionados con la situación actual española de la energía nuclear. Además de las competencias específicas, se trabajan dos competencias transversales según el marco establecido en el proyecto institucional de competencias transversales de la UPV. Estas competencias son: "Análisis y resolución de problemas" y "Comunicación efectiva".

La docencia se distribuye en clases presenciales de 1,5 horas, con dos sesiones (grupos) semanales. En este curso, están matriculados alrededor de 20 estudiantes de diferentes nacionalidades europeas: Alemania, Francia, Inglaterra e Italia. El perfil de los alumnos es eminentemente técnico, siendo todos ellos titulados en ingeniería química, ingeniería mecánica o ingeniería energética. Debido al reducido número de estudiantes, su perfil internacional y el carácter descriptivo de la asignatura, las clases magistrales se pueden combinar fácilmente con otras metodologías activas. Una ventaja adicional es que la mayoría de los estudiantes del curso ya están acostumbrados a ello, ya que las nuevas generaciones de ingenieros están familiarizadas con las tecnologías modernas y los avances de los sistemas informáticos, con lo que la capacitación basada en simuladores se alinea bien con las expectativas sobre los medios eficientes y efectivos de capacitación.

Este marco específico es, a priori, un escenario ideal para experimentar metodologías activas de enseñanza-aprendizaje. Con el doble objetivo de trabajar con competencias específicas y transversales, se ha decidido llevar a cabo experiencias aplicando técnicas de aprendizaje de simuladores de reactores nucleares (Babich, 2009).

2.2. Aprendizaje activo: *Practice by doing*

Los contenidos de la asignatura "Energía Nuclear y Radiaciones" se ajustan a este tipo de estrategia de aprendizaje activo, y se adapta para incluir herramientas de aprendizaje

dinámico, principalmente debido al tipo de contenidos que permiten una demostración práctica integral de los principios básicos de funcionamiento de varias centrales nucleares mediante la ilustración de conceptos generales y la demostración de procesos fundamentales de seguridad en condiciones normales y transitorias / accidentes.

Desde el principio, el profesorado de la asignatura ha sido consciente de la posibilidad de trabajar con alumnos de diferentes países y esta situación se ha convertido en una ventaja para diseñar la guía docente de la asignatura. El enfoque de práctica desarrollada con los simuladores utilizados hace hincapié no solo en las características operativas de una planta de energía nuclear, sino también en su operación segura y, por lo tanto, construye una base sólida de los principios de seguridad. El diseño más simple de estos simuladores basados en principios básicos (en comparación con los simuladores de plantas reales de alcance completo) permite a los estudiantes una asimilación más rápida de los fundamentos a través del aprendizaje práctico sin perder detalles de procesos complejos de tecnología nuclear.

La principal función de apoyo a la formación del simulador PCTTRAN es profundizar las competencias de ingeniería nuclear, dando a los estudiantes el papel de un supervisor de planta de energía real y dejándoles la responsabilidad del control y la operación interactiva de una planta de energía nuclear. De esta manera, se enfrentan a situaciones reales de los reactores, transitorios/accidentes/mal funcionamiento en las que los alumnos que tienen que actuar para evitar un accidente grave en la planta. El entorno del simulador proporciona una situación real de la planta y exige una respuesta en tiempo real de los estudiantes, por lo tanto, esta herramienta ayuda en la familiarización con el diseño de la planta y la evaluación de posibles medios para mitigar los accidentes al permitir que los estudiantes aprendan tales detalles al hacer el análisis con los simuladores.

El enfoque de capacitación mediante la práctica tiene varios beneficios frente al enfoque teórico convencional; los conocimientos adquiridos se vuelven significativamente más eficientes con solo tres horas de duración de la sesión de capacitación.

2.3.Competencias transversales

Con esta metodología se trabajan unas competencias transversales, que son fundamentales para el perfil profesional y formativo de los alumnos.

En concreto, por un lado se aborda la competencia "Análisis y resolución de problemas" que permite analizar y resolver problemas de manera efectiva, identificando y definiendo los elementos significativos que los constituyen, y por otro lado se aborda la competencia "Comunicación efectiva" para fomentar la comunicación de manera efectiva, tanto oralmente como por escrito, utilizando adecuadamente los recursos necesarios y adaptándose a las características de la situación y de la audiencia.

2.4.Simulador de un reactor nuclear PCTTRAN

El simulador PCTTRAN (de Micro-Simulation Technology©), es parte de la campaña del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para la educación y capacitación de investigadores e ingenieros nucleares en todo el mundo.

La biblioteca de simuladores de reactores PCTTRAN incluye modelos de centrales eléctricas PWR y BWR convencionales y avanzadas (Batra and Jevremovic, 2019). PCTTRAN es un software que tiene disponibilidad de distribución registrada gratuita, y que permite simular una variedad de accidentes y condiciones transitorias para plantas de energía nuclear.

Se trata de una imitación en color de alta resolución del Sistema de Suministro de Vapor Nuclear (Nuclear Steam Supply System, NSSS) y contención y muestra el estado de los parámetros más importantes, permitiendo la simulación de las acciones del operador a través del control interactivo. Está destinado a comprender los principios del reactor, la producción de isótopos y permitiendo además realizar estudios de investigación. En la sesión práctica de iniciación al manejo de este simulador se utilizan tres reactores diferentes, PWR, BWR y Pool, con sus diferentes características y peculiaridades cada uno.

Se incluyeron tres ejemplos en cada caso para demostrar la capacidad del simulador para afianzar los conceptos aprendidos en el aula, permitiendo a los estudiantes visualizar y desarrollar las expectativas exactas de lo que los operadores deberían ver durante las condiciones normales de operación. Los casos de estudio seleccionados para esta sesión, son los considerados por los profesores como los más útiles en la enseñanza de aspectos relacionados con la seguridad de varios tipos de centrales eléctricas.

Por lo tanto, el objetivo de esta sesión dinámica es doble. Por un lado, proporcionar una visión y una comprensión práctica de las características operativas del reactor y las respuestas de la planta a perturbaciones y escenarios de accidentes aprendiendo a analizar, modelar y controlar los sistemas de potencia del reactor y, por otro lado, hacer que los estudiantes sean sensibles a la importancia de la seguridad y la prevención de riesgos en este tipo de instalaciones.

3.Resultados

3.1.Evaluación de la materia específica

A partir de esta aplicación de aprendizaje activo, que representa el 15% de la nota final de la asignatura, se evalúan varios contenidos de la materia específica de la asignatura, como la identificación de los diferentes elementos de seguridad de una central nuclear, la fenomenología transitoria y la interpretación de señales. Además, la argumentación y la discusión corroboran la asimilación de los contenidos. Mediante la puntuación del profesor en el debate de la sesión, así como la puntuación obtenida en el cuestionario de la sesión práctica, se obtiene una evaluación global.

3.2. Evaluación de la metodología

Debido a la naturaleza realista de esta actividad, los estudiantes asumen el papel de ingenieros y adquieren un importante nivel de compromiso con el trabajo. Gracias a ello, se aprecia una comprensión más profunda de los conceptos de la asignatura, lo que ha permitido a los alumnos aplicar correctamente nuevos conceptos a las actividades.

Es importante que el profesor que imparte el manejo de las herramientas informáticas durante las clases prácticas verifique que se han adquirido los conocimientos necesarios para realizar los cálculos de forma autónoma. Asimismo, a medida que los alumnos preparan una presentación final del trabajo, mejoran sus habilidades de expresión escrita y comunicación.

Actualmente, todavía no hay información disponible sobre la satisfacción del estudiante sobre la metodología utilizada, aunque hay comentarios informales de las conversaciones mantenidas con ellos. La mayoría de los estudiantes reconocen la utilidad de esta metodología que combinada con otras técnicas (estudios de casos, trabajos de proyectos, etc.) y la teoría de aula permite que incorporen los contenidos técnicos de la seguridad en los reactores con más facilidad. Este hecho queda verificado en el examen de la asignatura donde la cuestión relacionada con el funcionamiento y seguridad de reactores tiene una media de 8 sobre de 10.

Conclusiones

En los últimos años, se ha confirmado la importancia de diseñar clases donde los estudiantes tengan un papel más activo. Para ello, los autores pensaron en el uso de simuladores educativos, que actualmente se está aplicando en la asignatura "Energía Nuclear y Radiaciones" del Máster Universitario en Ingeniería Industrial (MUII) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Este trabajo presenta la experiencia de la implementación de esta técnica. Las actividades realizadas combinan la metodología del uso de simuladores para profundizar en el conocimiento de la seguridad en reactores nucleares con el aprendizaje basado en casos. El objetivo de la dinámica es doble: por un lado, aprender a identificar todos los elementos de seguridad en una central nuclear así como la gestión de estos adecuadamente.

Al final, los estudiantes deben presentar un informe de práctica. El profesor debe evaluar el trabajo general realizado por los estudiantes y su capacidad de razonamiento.

Se ha demostrado que, en situaciones donde la presencialidad de los estudiantes no sea posible, se puede también llevar a cabo una práctica de simulación de manera virtual. Por lo tanto, este tipo de aprendizaje activo puede usarse tanto en modalidad virtual como en modalidad presencial. Sin embargo, no se puede sustituir la interacción de los estudiantes con los equipos, y que solo se puede dar en una clase presencial.

Con esta metodología, se pretende que los alumnos adquieran conocimientos a partir de las conclusiones de su propio razonamiento. El éxito radica, en gran medida, en su motivación.

Referencias

- BABICH A. y MAVROMMATIS K. (2009). “Teaching of Complex Technological Processes Using Simulations” *International Journal of Engineering Education*, 2009, vol. 25, no 2, p. 209.
- BATRA C. y JEVREMOVIC T. (2017). “The Role of IAEA in Human Capacity Building Active Learning and Training-by-Doing Education Programmes Based on the Basic Principle Reactor Simulators”, *TopSafe 2017*, 2017.
- DUEÑAS, M., SALAZAR, A., OJEDA, B., DE SOLA, H. y FAILDE, I. (2016). “Implementation and evaluation of collaborative active learning methods in the teaching of Public Health in Physiotherapy” *Educación médica 2017*, Vol.17, Issue 4, p.164–169.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), “Use of Control Room Simulators for Training of Nuclear Power Plant Personnel” *IAEA TECDOC-1411*, Vienna, Austria, 2004.
- LALLEY J. P., y MILLER R.H0. (2007). “The learning pyramid: Does it point teachers in the right direction?” *Education* 2007, 128(1): 64-79.
- ROMERO M. y PÉREZ FERRA M. (2009), “Cómo motivar a aprender en la universidad: una estrategia fundamental contra el fracaso académico en los nuevos modelos Educativos”. *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 51, pp. 87-105, 2009.
- BATRA C. y JEVREMOVIC T. *PCTTRAN Generic Pressurized Water Reactor Simulator Exercise Handbook* International Atomic Energy Agency Vienna, 2019. ISSN 1018–5518