



PROGRAMA ANALÍTICO DE ASIGNATURA

DEPARTAMENTO: Ingeniería Química

CARRERA: Ingeniería Química

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR: Reactores Nucleares

Año Académico: 2023

Área: Especialidad

Bloque: Tecnologías Aplicadas

Nivel: 5°

Tipo: Electiva

Modalidad: Cuatrimestral

Cargas horarias totales:

<i>Horas reloj</i>	<i>Horas cátedra</i>	<i>Horas cátedra semanales</i>
60	80	5

FUNDAMENTACIÓN

El Ingeniero Químico debe estar capacitado para afrontar el desarrollo integral de proyectos industriales de plantas de procesos, esto comprende estudios de factibilidad, evaluación del impacto ambiental, diseño, cálculo, construcción, instalación, puesta en marcha y operación de las mismas, como así también la elaboración y seguimiento de los planes de producción y comercialización. Su campo de acción se encuentra en las más variadas manifestaciones de la actividad productiva: industria de alimentos, energía, petróleo, combustibles, lubricantes, etc.

Dentro de la rama energética, la energía nuclear es por lejos la industria más desafiante en materia de recursos humanos, dado que para estudiarla es mandatorio repasar conceptos de manera integral que incluyan materiales, termodinámica de los procesos, electricidad, diagramas de flujo, cañerías, válvulas, sistemas de control y procesos de ingeniería en general. El estudio de una materia de estas características brindará conocimientos concretos respecto del funcionamiento de una planta de procesos de altísima complejidad.

La fundamentación de la presente asignatura electiva, además de aportar un gran conocimiento teórico a los estudiantes, persigue el objetivo de fortalecer la formación de los futuros ingenieros e ingenieras con el fin de satisfacer la gran demanda de trabajo que representará la construcción de nuevas Centrales Nucleares de Potencia, la construcción y exportación de



Reactores Nucleares de Investigación, la producción de radioisótopos, la finalización y puesta en marcha del Reactor Argentino CAREM, el enriquecimiento de uranio, etc.

COMPETENCIAS DE EGRESO ESPECÍFICAS A LAS QUE CONTRIBUYE:

Competencia		Competencias de Actividades reservadas			Competencias de Alcances
		Baja	Media	Alta	
CE 1	Identificar, formular y resolver problemas relacionados a productos, procesos, sistemas, instalaciones y elementos complementarios correspondientes a la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y al control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas incorporando estrategias de abordaje, utilizando diseños experimentales cuando sean pertinentes, interpretando físicamente los mismos, definiendo el modelo más adecuado y empleando métodos apropiados para establecer relaciones y síntesis.			X	
CE 3	Planificar y supervisar la construcción, operación y mantenimiento de procesos, sistemas, instalaciones y elementos complementarios donde se llevan a cabo la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y al control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas utilizando de manera efectiva los recursos físicos, humanos, tecnológicos y económicos; a través del desarrollo de criterios de selección de materiales, equipos, accesorios, sistemas de medición y la aplicación de normas y reglamentaciones pertinentes, atendiendo los requerimientos profesionales prácticos.		X		
CE 4	Verificar el funcionamiento, condición de uso, estado y aptitud de equipos, instalaciones y sistemas involucrados en la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y en el control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas aplicando procedimientos, técnicas y herramientas teniendo en cuenta la legislación, estándares y normas de		X		



	funcionamiento, de calidad, de ambiente y seguridad e higiene.				
CE 5	Proyectar y dirigir acciones, desarrollos tecnológicos e innovaciones tendientes a la construcción, operación y mantenimiento de procesos, sistemas, instalaciones y elementos complementarios referido a la higiene y seguridad en el trabajo y al control y minimización del impacto ambiental en lo concerniente a su actividad profesional seleccionando y utilizando técnicas y herramientas contempladas en las prácticas recomendadas y en las normativas vigentes nacionales e internacionales.			X	
CE 6	Optimizar procesos, sistemas, instalaciones y elementos complementarios correspondientes a la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y al control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas aplicando estrategias conceptuales y metodológicas asociadas a los principios de cálculo, diseño y simulaciones, aplicando el modelo más adecuado, con ética, sentido crítico e innovador, responsabilidad profesional y compromiso social y ambiental.				X
CE 7	Peritar y/o arbitrar procesos, sistemas, instalaciones, elementos complementarios, construcción, operación y/o mantenimiento involucrados en la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y en el control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas seleccionando y utilizando técnicas y herramientas contempladas en las prácticas recomendadas y en las Normativas vigentes Nacionales e Internacionales.				X
CE 8	Asesorar y/o capacitar a organizaciones, empresas, organismos públicos o privados respecto de procesos, productos, instalaciones, construcción, operación, mantenimiento, involucrados en la modificación física, energética, fisicoquímica, química o biotecnológica de la materia y en el control y transformación de emisiones energéticas, de efluentes líquidos, de residuos sólidos y de emisiones gaseosas aplicando procedimientos, técnicas y herramientas teniendo en cuenta la				X



	legislación, estándares y normas de funcionamiento, de calidad, de ambiente y seguridad e higiene.				
--	--	--	--	--	--

COMPETENCIAS DE EGRESO GENÉRICAS A LAS QUE CONTRIBUYE:

Competencia		Baja	Media	Alta
CT 1	Identificar, Formular y resolver problemas de Ingeniería.			X
CT 2	Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de Ingeniería.		X	
CT 3	Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.		X	
CS 6	Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.			X
CS 7	Comunicarse con efectividad.			X
CS 8	Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.			X
CS 9	Aprender en forma continua y autónoma.			X

OBJETIVOS (APRENDIZAJE/LOGROS A ALCANZAR)

Interpretar los conceptos físicos y tecnológicos involucrados en la generación de energía nuclear y en el funcionamiento de Reactores Nucleares de Potencia.

Describir las principales aplicaciones de la tecnología nuclear y los proyectos que está llevando adelante la Argentina.

Debatir en un ambiente laboral sobre materiales, termodinámica de los procesos, electricidad, diagramas de flujo, cañerías, válvulas, sistemas de control y procesos de ingeniería en general.

Visualizar esquemas de gestión tanto organizativa como productiva, relacionadas con la tecnología nuclear en todos sus aspectos o en la energía nuclear en particular, ya sea en centrales nucleares o en empresas relacionadas con la generación nuclear.



CONTENIDOS

Contenidos mínimos

Evolución de la energía nuclear en el mundo. Energía nuclear en la Argentina y sus proyectos. Física de reactores. Funcionamiento del circuito secundario de un reactor nuclear. Funcionamiento del circuito primario de un reactor nuclear. Funcionamiento y dinámica global de un reactor nuclear. Protección radiológica y efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Sistemas de seguridad activos y pasivos de reactores nucleares de potencia. Tipos de reactores nucleares. Centrales nucleares en Argentina.

Contenidos analíticos

a) Unidad Temática 1 –Tecnología nuclear.

Historia. Política nuclear. Estado del arte de la energía nuclear en el mundo. Comparación de la energía nuclear con otras fuentes de generación de energía. Historia y actualidad de la industria nuclear en la Argentina. Aplicaciones de la tecnología nuclear en Argentina. Conceptos básicos de física de reactores.

b) Unidad Temática 2 –Reactores Nucleares.

Funcionamiento del circuito primario de un reactor nuclear. Funcionamiento del circuito secundario de un reactor nuclear (ciclo Rankine). Estudio de las principales tecnologías de reactores nucleares existentes y proyectados. Descripción de los sistemas de seguridad de reactores nucleares. Fundamentos de la protección radiológica y efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.

c) Unidad Temática 3 – Energía nuclear en la Argentina.

Principales proyectos nucleares argentinos. Funcionamiento de los reactores nucleares operativos en Argentina (Atucha I, Atucha II, Embalse) y análisis de las tecnologías de las nuevas centrales proyectadas (CAREM, Atucha III y Proyecto Nacional).

d) Unidad Temática 4 – Accidentes nucleares

Análisis de causas y consecuencias de los tres principales accidentes ocurridos en centrales nucleares de potencia (1979: Three Mile Island – EE.UU, 1986: Chernobyl – URSS, 2011: Fukushima – Japón).

e) Unidad Temática 5 – Temas de investigación

Enriquecimiento de uranio, minería de uranio, análisis situación energética comparativa entre Francia y Alemania, bombas nucleares y Tratado de no Proliferación, repositorios geológicos profundos, Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, reactores de investigación,



proyecto ITER, reactores refrigerados por sodio, reprocesamiento de combustibles gastados, otros temas sugeridos por estudiantes.

DISTRIBUCIÓN DE CARGA HORARIA ENTRE ACTIVIDADES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

Modalidad organizativa de las clases	Horas Reloj totales presenciales	Horas reloj virtuales totales	Horas totales
Teórica	49	0	49
Formación práctica	11	0	11

Tipo de prácticas	Horas Reloj totales presenciales	Horas reloj totales virtuales	Lugar donde se desarrolla la práctica
Formación experimental	0	0	-
Problemas abiertos de Ingeniería (ABP)	0	0	-
Proyecto y diseño	0	0	-
Visita a planta nuclear	4	0	Ámbito externo: Complejo Nuclear Atucha
Estudio de casos	7	0	Aula
Práctica supervisada	0	0	-
Total de horas	11	0	11

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

La metodología de enseñanza a utilizar promoverá la participación del alumnado en todo momento mediante clases dialogadas, generando debates y diferentes puntos de vista (CS7). Se intentará inculcar en los alumnos una actitud cuestionadora, la cual les será muy útil para el campo laboral (CS9, CE6, CE7, CE8). En la mayoría de las clases, pero especialmente en las clases donde se describen los circuitos principales de una central nuclear (primario y secundario) se hará foco en el aprendizaje basado en problemas, planteando cuestiones a resolver (qué proceso/equipo debería ir a continuación de otro, qué lazo de control se podría utilizar para un determinado objetivo) para que el alumno se haga la pregunta y plantee soluciones antes de escuchar la respuesta correcta (CT1, CS9, CE1, CE6)

Se impulsará el trabajo en equipo: la materia consta de un trabajo práctico grupal en donde los alumnos deben desarrollarse como equipo y al finalizar el mismo deberán exponerlo y



defenderlo frente al curso (CS6). Esta actividad incluirá temas estrechamente relacionados y de importancia respecto a la actualidad de la tecnología nuclear: ciclo del combustible nuclear desde su elaboración hasta su destino final, reactores de fisión, Tratado de No Proliferación, reactores de investigación (CE1).

Las clases serán enfocadas a que los alumnos puedan ver presentaciones, esquemas, fotos reales de equipos y plantas modernas, diversos videos de funcionamiento y en base a eso interactuar tanto con los docentes como con los compañeros (CE1, CT2, CT3).

De esta manera se optimiza el aprendizaje, dado que el alumno no sólo escuchará al docente, sino que también participará en debates, observará imágenes, videos, se cuestionará conceptos y por último fijará los conocimientos mediante la preparación y exposición en grupo de un trabajo de investigación (CT2, CT3).

Dado que la materia se desarrollará bajo modalidad híbrida (clases virtuales, presenciales y exámenes presenciales), será necesario contar con las herramientas informáticas y de comunicación necesarias para poder participar de la asignatura y realizar las actividades.

Con el objetivo de contrastar el contenido teórico de la asignatura, con una planta real, desde la Cátedra y en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química, se coordina una visita guiada al Complejo Nuclear Atucha. La misma comprenderá una recorrida por el edificio de turbina incluyendo todos los equipos del circuito secundario (ciclo térmico), en donde el alumno podrá visualizar: bombas, tanques, condensador, turbinas, aislaciones, caños, soportes, indicadores, transmisores, alternador, válvulas, separadores de humedad, bombas de vacío, compresores, interruptores de carga, generador eléctrico 21 kV, transformadores de 500 kV, líneas de alta tensión, etc. (CE3, CE4, CE6, CE7, CT2, CT3, CS8).

Posteriormente al recorrido de planta, se llevará a los alumnos al Simulador de Alcance Total de la sala de control de Atucha II ubicado en el mismo predio y donde se entrenan las guardias de operaciones. Los alumnos podrán hacer experiencias operativas en el Simulador, como, por ejemplo: aumentar o disminuir potencia de la planta, sincronizar el turbo-grupo a la red, sacar de servicio la turbina, sacar de servicio el reactor, arrancar o parar bombas, abrir o cerrar válvulas, simular accidentes, observar dinámicas de planta al modificar la condición operativa (caudales, presiones, temperaturas, etc.) (CE3, CE4, CE6, CE7, CT1, CT3).

Por último, se les mostrará una gran maqueta en escala 1:25 que representa la totalidad de la Central Nuclear Atucha II, tanto el circuito secundario como el circuito primario. Podrán visualizar todas las cañerías, válvulas, equipos y sus vinculaciones (CE5, CT2).



Por otra parte, existe la posibilidad de generar gran cantidad de temas de trabajos profesionales relacionados con las plantas nucleares (guiados por el docente a cargo), desde estudios de impacto ambiental hasta estudios detallados de transferencias de calor en el núcleo, quemado de combustibles nucleares, estudio de circuitos de planta, estudio del ciclo térmico, búsquedas de aumento de eficiencia de las plantas, etc.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Se propone un plan de evaluación integral contemplando las distintas actividades que se desarrollarán durante el curso lectivo. De esta manera, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

El alumnado deberá exponer grupalmente un trabajo de investigación pactado previamente: los grupos de alumnos elegirán una temática en particular, realizarán un trabajo práctico de investigación sobre ese tema y por último lo expondrán al frente del curso bajo modalidad virtual. Al finalizar la exposición cada grupo expositor realizará una serie de preguntas al resto del curso para debatir. Se espera que los alumnos se desenvuelvan como futuros profesionales y estén a la altura de un debate de este tipo (situación que se les presentará frecuentemente en el campo laboral).

Adicionalmente se tomará un examen integrador presencial escrito e individual sobre los temas vistos en clase. En caso de no aprobar, el examen se recuperará según lo establecido en el Reglamento de Estudios de la Universidad Tecnológica Nacional.

Para estar habilitado a realizar la evaluación final presencial, los alumnos deberán aprobar tanto el examen integrador como la entrega y defensa del trabajo de investigación. La accesibilidad a los resultados de las evaluaciones, como complemento del proceso de enseñanza y de aprendizaje, está garantizado por las Normativas vigentes institucionales.

Requisitos de Regularidad

Aprobar el examen integrador presencial con una nota mínima de 6 (seis), aprobar la defensa del trabajo de investigación y contar con el porcentaje de asistencia requerido por la reglamentación vigente.

Requisitos de Aprobación

El alumno deberá aprobar, en forma individual, un examen final teórico presencial que contemple todo lo visto en la materia.



Requisitos de Aprobación Directa (Promoción).

Para la Aprobación Directa de esta materia (Promoción) se deberá simultáneamente cumplir los siguientes requisitos:

- Aprobar el examen integrador con una calificación mínima de 8 (OCHO), con únicamente un recuperatorio permitido en total.
- Entregar y aprobar las actividades complementarias con todos los contenidos solicitados en las fechas de entregas estipuladas.

ARTICULACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL CON OTRAS MATERIAS

La asignatura Reactores Nucleares se articula en forma vertical con dos asignaturas que la preceden en el plan de estudio, específicamente Operaciones Unitarias I y Tecnología de la Energía Térmica.

Cada estudiante deberá tener cursada y regularizada cada una de estas asignaturas al momento de comenzar la cursada. El estudio de equipos y componentes como bombas, filtros, válvulas, cañerías, intercambiadores de calor, etc., son conocimientos previos que se requieren para poder abordar e incorporar eficientemente el contenido impartido en la asignatura Reactores Nucleares.

Además, los conocimientos adquiridos en Reactores Nucleares serán de gran utilidad para extender los alcances de otras asignaturas de niveles previos, ya que imparte conocimientos y criterios abarcativos que permiten unificar los contenidos incorporados individualmente en materias previas. Asimismo, la presente asignatura será de gran utilidad para afrontar el Proyecto Final de la carrera, dado que el perfil de la misma busca impartir conocimientos globales respecto de una planta en su totalidad, analizando equipos, procesos, regulaciones, operación, mantenimiento, etc.

En cuanto a la articulación horizontal, Reactores Nucleares brinda conocimientos que son compatibles y complementarios con conceptos y contenidos de otras asignaturas, fomentando así la interdisciplinariedad.

El equipo docente participa de reuniones inter-cátedras convocadas por el Departamento, a fin de generar acuerdos temáticos y de metodologías que faciliten la articulación horizontal y vertical entre las distintas asignaturas.



CRONOGRAMA ESTIMADO DE CLASES

Nota: Las horas consignadas como “virtual-sincrónicas” son computadas como horas presenciales, conforme el documento CONEAU sobre consideraciones sobre las estrategias de hibridación IF-2021-123533751-APN-CONEAU#ME, la resolución del CIN 1716/22 sobre la reconfiguración de las opciones pedagógicas presencial y a distancia, y la resolución del Consejo superior 87/22 sobre el desarrollo de actividades académicas presenciales.

Clase	Tema	Actividad	Modalidad de dictado (presencial/virtual)	Hs Cátedra
1	Introducción	Teoría	Virtual - sincrónico	5
2	Historia y evolución de la energía nuclear en el mundo y en la Argentina	Teoría	Virtual - sincrónico	5
3	Generalidades de la energía nuclear y conceptos iniciales	Teoría	Virtual - sincrónico	5
4	Física de reactores	Teoría	Virtual - sincrónico	5
5	Funcionamiento del circuito secundario	Teoría	Virtual - sincrónico	5
6	Funcionamiento del circuito primario	Teoría	Virtual - sincrónico	5
7	Vinculación de los circuitos primario, secundario y terciario	Teoría	Virtual - sincrónico	5



8	Protección radiológica y efectos biológicos de las radiaciones ionizantes	Teoría	Virtual - sincrónico	5
9	Sistemas de seguridad de reactores nucleares de potencia	Teoría	Virtual - sincrónico	5
10	Tecnologías de reactores nucleares	Teoría	Virtual - sincrónico	5
11	Atucha I y Atucha II	Teoría/ simulación	Presencial	5
12	Embalse, Reactor CAREM, Atucha III y Atucha IV	Teoría	Virtual - sincrónico	5
13	Exposiciones grupales sobre trabajos de investigación	Práctica	Virtual - sincrónico	5
14	Análisis de accidentes nucleares: Three Mile Island, Chernobyl	Teoría	Presencial	5
15	Análisis de accidentes nucleares: Fukushima	Teoría	Presencial	5
	Clase de repaso			
16	Examen integrador	Práctica	Presencial	5

BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA

- Glasstone, S. (1990). *Ingeniería de reactores nucleares*. Reverté.
- IAEA (2019). *Climate change and the role of nuclear power*.
- IAEA. (2014). *El accidente de Fukushima Daiichi. Informe del Director General*.
- IAEA: Safety Reports. (1992). *The Chernobyl accident*. Safety Series N°75.



- Nuclear Safety Analysis Center. (1980). *Three Mile Island Unit II Accident*. NSAC N°80.
- Pecos, L. y Bellino, L. (2008). *Curso de Tecnología Nuclear y Reactores*. Instituto de Tecnología Nuclear Dan Béninson.
- De Dicco Ricardo (2013). Breve historia de los reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos de la CNEA.
- Espinosa-Paredes G. y Vázquez Rodríguez R. (2016). Física de reactores nucleares I. un enfoque conceptual.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA Y PÁGINAS WEB OFICIALES

- UNENE (2014). The essential CANDU. A text book on the CANDU nuclear power plant technology.
- Cherry R. (1998) Capítulo 48: Radiaciones ionizantes. En INNST Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. N° 48.1 – 48.46.
- González Tardiu Francesc SNE (2015). Información sobre radiaciones ionizantes. Nota de divulgación técnica NT – 03/15.
- IAEA (2022). Nuclear law - The global debate.
- Tanarro Sanz A. y Tanarro Onrubia A. (2008). Diccionario inglés-español sobre tecnología nuclear – Glosario de términos.

PÁGINAS WEB

- Comisión Nacional de Energía Atómica: www.cnea.gov.ar
- Nucleoeléctrica Argentina S.A.: www.na-sa.com.ar
- Autoridad Regulatoria Nuclear: www.arn.gov.ar
- International Atomic Energy Agency: www.iaea.org
- International Nuclear Information System: www.iaea.org/inis/
- Power Reactor Information System: www.iaea.org/pris/
- WNA (World Nuclear Association): www.world-nuclear.org
- WANO (World Association of Nuclear Operators): www.wano.info