

# ***La Infraestructura en Recursos Humanos en México***

***Juan Luis François Lacouture***

Academia de Ingeniería

Comisión de Especialidad de Ingeniería Nuclear

Facultad de Ingeniería – UNAM

*Seminario Internacional: La Nucleoelectricidad  
en México y en el Mundo*



Senado de la República

México D.F.

14 de Mayo de 2010



# Introducción

- La formación de recursos humanos es el pilar para el desarrollo y mantenimiento de un programa nucleoléctrico
- La educación y la capacitación son complementarias
- En México se tiene la infraestructura básica requerida:
  - Instituciones de Educación Superior
  - Organismo regulador
  - Instituto de Investigaciones Nucleares
  - Instituto de Investigaciones Eléctricas
  - Compañía estatal de generación eléctrica (2 reactores en operación desde 1990 y 1995).

# Instituciones

- Educación – Instituciones de Educación Superior:
  - Instituto Politécnico Nacional
  - Universidad Nacional Autónoma de México
  - Universidad Autónoma Metropolitana (D.F)
  - Universidad Autónoma de Zacatecas
  - Universidad Veracruzana
  - Universidad Autónoma del Estado de México
- Capacitación:
  - Comisión Federal de Electricidad
  - Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias
  - Instituto de Investigaciones Nucleares

# Instituto Politécnico Nacional

- La Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) ofreció la Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear (MCIN) desde 1961, y estuvo a cargo del Departamento de Ingeniería Nuclear (DIN) de la propia ESFM.
- En 1979 se formó la Opción Nuclear en la licenciatura de Físico-Matemático
- Después de 45 años, tanto la MCIN como el DIN fueron desaparecidos oficialmente a fines del 2008 principios del 2009.
- Desde enero de 2009 se ofrece la Maestría (MCFM) y Doctorado en Ciencias Físicomatemáticas (DCFM) en la ESFM, con Línea de Investigación en Ingeniería Nuclear.

## Estadísticas de la MCIN y de la Opción Nuclear de la Licenciatura

- Para MCIN (datos a 2000)
  - Egresados: 125
  - Con grado de Maestría: 40
- Para la Opción en Ingeniería Nuclear (datos a 2000)
  - Egresados: 73
  - Titulados: 30
- Un profesor de tiempo completo en posgrado
- Un profesor de tiempo completo en licenciatura
- Seis profesores de tiempo parcial.
- Apoyo de investigadores del ININ

# Maestría en Ciencias Fisicomatemáticas

## Estructura del Plan de Estudios LIIN

CLAVE	ASIGNATURAS	HORAS POR SEMANA	CRÉDITOS	CURSO
<b>Primer Semestre</b>				
<b>OBLIGATORIAS</b>				
08B5462	Seminario Departamental I	2	2	S
<b>OPTATIVAS</b>				
	Optativa I	*	*	*
	Optativa II	*	*	*
	Optativa III	*	*	*
<b>Segundo Semestre</b>				
<b>OBLIGATORIAS</b>				
08B5463	Seminario Departamental II	2	2	S
08B4670	Trabajo de Tesis	*	Sin valor	*
<b>OPTATIVAS</b>				
	Optativa IV	*	*	*
	Optativa V	*	*	*
	Optativa VI	*	*	*
<b>Tercer Semestre</b>				
<b>OBLIGATORIAS</b>				
08B5464	Seminario Departamental III	2	2	S
08B4670	Trabajo de Tesis	*	Sin valor	*
<b>OPTATIVAS</b>				
	Optativa VII	*	*	*
	Optativa VIII	*	*	*
<b>Cuarto y Quinto Semestre</b>				
08B4670	<b>Trabajo de Tesis</b>	*	Sin valor	*

S = Seminario

# Asignaturas Relacionadas a la Línea de Investigación en Ingeniería Nuclear

Clave	Asignaturas Optativas	Créditos	Horas / semana	T/P
09A5624	ADMINISTRACIÓN DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR	8	4	T
1258	COMPUTADORAS EN LA INGENIERÍA NUCLEAR	8	4	T
1262	CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS DE RIESGOS	8	4	T
09A5625	DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN	8	4	T
1263	ECONOMÍA NUCLEAR	8	4	T
09A5626	FÍSICA RADIOLÓGICA Y DOSIMETRÍA CLÍNICA	8	4	T
09A5627	FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES I	8	4	T
09A5628	FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES II	8	4	T
1261	FLUJO EN DOS FASES	8	4	T
09A5629	INGENIERÍA DE REACTORES NUCLEARES	8	4	T
1257	INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA	8	4	T
09A5630	LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIONES NUCLEARES	12	6	T/P
09A5631	LABORATORIO DEL REACTOR NUCLEAR	12	6	T/P
09A5632	MEDICINA NUCLEAR	8	4	T
09A5633	PLANEACIÓN DOSIMÉTRICA EN RADIOTERAPIA	8	4	T/P
09A5634	TEMAS SELECTOS EN INGENIERÍA NUCLEAR	8	4	T

# Universidad Nacional Autónoma de México

## Facultad de Química:

- En 1968 inició una Maestría en Ingeniería Química Nuclear la cual se transformó en 1974 en una Maestría en Ciencias Nucleares con 3 opciones: Reactores Nucleares, Materiales Nucleares y Química Nuclear.
- A partir de 1997 se enfoca sólo al área de Química Nuclear.
- Formó 170 alumnos, de los cuales se graduaron 69.

# Universidad Nacional Autónoma de México

## Facultad de Ingeniería:

- En 1999 se incorpora el Grupo de Ingeniería Nuclear:
  - 6 Doctores en Ingeniería Nuclear
  - 2 Maestros en Ciencias en Ingeniería Nuclear
  - 1 Maestro en Ciencias Computacionales
- Reorganización del posgrado en la UNAM
- Posgrado en Ingeniería → Energía
  - Sistemas Energéticos con perfil en Sistemas Nucleoeléctricos

## PLAN DE ESTUDIOS

4 Semestres regulares en los que se cubren 72 créditos

### Semestre 1

Créditos

- Termodinámica 6
- Evaluación de sistemas energéticos 6
- Matemáticas Aplicadas 6
- Fundamentos de Ingeniería Nuclear 6

### Semestre 2

- Energía y medio ambiente 6
- Optativa 6
- Proyecto de investigación I 8
- Optativa 6

### Semestre 3

- Proyecto de investigación II 16
- Optativa 6

### Semestre 4

- TESIS

Doctorado por investigación: 6 semestres. Candidatura al 3er semestre

## **Optativas del Perfil Sistemas Nucleoeléctricos**

1. Análisis de reactores nucleares
2. Tecnología de centrales nucleoeléctricas
3. Introducción al análisis probabilístico de seguridad
4. Seguridad de reactores nucleares
5. Factores humanos en ingeniería y diseño
6. Modelado y simulación de centrales nucleoeléctricas
7. Administración de combustible nuclear
8. Sistemas de control de nucleoeléctricas
9. Diseño de sistemas nucleares
10. Desarrollo de multimedios en la industria nucleoeléctrica
11. Ciclos de combustible y planeación energética

### Prácticas:

Instituto de Ciencias Nucleares – UNAM: Interacción de la radiación con la materia, determinación de vida media. Irradiador.

Reactor TRIGA del Centro Nuclear: Aproximación a criticidad, determinación de valor de barra de control.

PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA

Semestre	ASIGNATURAS CURRICULARES						Obligatorias	Opt. y Opt. Eleccion	Totales
	1	2	3	4	5	6			
1	ÁLGEBRA 9 t4.5; p0.0; T=4.5	CÁLCULO DIFERENCIAL 9 t4.5; p0.0; T=4.5	GEOMETRÍA ANALÍTICA 9 t4.5; p0.0; T=4.5	QUÍMICA Y ESTRUCTURA DE MATERIALES (L+) 10 t4.0; p2.0; T=6.0		CULTURA Y COMUNICACIÓN 6 t3.0; p0.0; T=3.0	43		43
2	ÁLGEBRA LINEAL 9 t4.5; p0.0; T=4.5	CÁLCULO INTEGRAL 9 t4.5; p0.0; T=4.5	ESTÁTICA 9 t4.5; p0.0; T=4.5			COMPUTACIÓN PARA INGENIEROS (L+) 8 t3.0; p2.0; T=5.0	44		44
3	ECUACIONES DIFERENCIALES 9 t4.5; p0.0; T=4.5	CÁLCULO VECTORIAL 9 t4.5; p0.0; T=4.5	CINEMÁTICA Y DINÁMICA 9 t4.5; p0.0; T=4.5	PRINCIPIOS DE TERMODINÁMICA Y ELECTROMAGNETISMO (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5		PROGRAMACIÓN AVANZADA Y MÉTODOS NUMÉRICOS (L+) 9 t3.0; p2.0; T=5.0	48		48
4	FÍSICA DE SEMICONDUCTORES 6 t3.0; p0.0; T=3.0	PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA 9 t4.5; p0.0; T=4.5	ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	ANÁLISIS DE SISTEMAS Y SEÑALES 9 t4.5; p0.0; T=4.5		ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL 6 t3.0; p0.0; T=3.0	47		47
5	TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	ALGORITMOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS 9 t4.5; p0.0; T=4.5	DINÁMICA DE SISTEMAS FÍSICOS 9 t4.5; p0.0; T=4.5	ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5		OPORTATIVA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES	40	8	48
6	ACÚSTICA Y ÓPTICA (L) 9 t4.0; p1.0; T=5.0	DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	FUNDAMENTOS DE CONTROL (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	MÁQUINAS ELÉCTRICAS I (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5		COSTOS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS 6 t3.0; p0.0; T=3.0	48		48
7	MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN (L+) 8 t3.0; p2.0; T=5.0	DISEÑO DIGITAL (L+) 8 t3.0; p2.0; T=5.0	CIRCUITOS INTEGRADOS ANALÓGICOS (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA I (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5		SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS (L+) 11 t4.5; p2.0; T=6.5	48		48
8	MONOPROCESADORES Y MICROCONTROLADORES (L+) 8 t3.0; p2.0; T=5.0	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO		OPORTATIVA DE COMPETENCIAS PROFESIONALES 6 t3.0; p0.0; T=3.0	14	24	38
9	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO	ASIGNATURA DEL MÓDULO SELECCIONADO		ELECTRÓNICA DE POTENCIA 9 t4.5; p0.0; T=4.5	15	24	39

Asignaturas de ciencias básicas (137 créditos distribuidos en 15 asignaturas)

Asignaturas de ciencias de la ingeniería (106 créditos distribuidos en 11 asignaturas)

Asignaturas de Ingeniería aplicada (49 créditos obligatorios distribuidos en 5 asignaturas más 42 créditos optativos mínimos)

Asignaturas de ciencias sociales y humanidades (138 créditos distribuidos en 8 asignaturas)

Otras asignaturas convenientes (28 créditos distribuidos en 4 asignaturas)

Créditos obligatorios

Créditos optativos (mínimos)

Total

★ La suma incluye el número de créditos optativos mínimos

# MÓDULO DE SALIDA (Ingeniero Eléctrico Electrónico)

## SISTEMAS ENERGÉTICOS

### OBLIGATORIAS:

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS (6)  
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA II (L+) (11)

### OPTATIVAS:

**FUNDAMENTOS DE ENERGÍA NUCLEAR (6)**  
INTRODUCCIÓN A LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA (6)  
PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA (6)  
PLANTAS GENERADORAS (6)  
**TEMAS SELECTOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS (6)**  
TERMODINÁMICA (L+) (11)  
USO EFICIENTE EN EQUIPOS DE SERVICIO (6)  
MATEMÁTICAS AVANZADAS (8)  
SEMINARIO DE TITULACIÓN \* (6)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN \*\* (6)

### **Temas Selectos de Sistemas Energéticos:**

- **Tecnología y Seguridad de Reactores Nucleares**
- **Instrumentación, Simulación y Control de Centrales Nucleoeléctricas**

# MÓDULO DE SALIDA

(Ingeniero Eléctrico Electrónico)

## PROPUESTA

### Sistemas Nucleoeléctricos

#### OBLIGATORIAS:

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS (6)  
TERMODINÁMICA (L+) (11)  
**FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR (6)**

#### OPTATIVAS:

**TECNOLOGÍA DE CENTRALES NUCEOLÉCTRICAS (6)**  
**SEGURIDAD DE REACTORES NUCLEARES (6)**  
**INSTRUMENTACIÓN, SIMULACIÓN Y CONTROL DE CENTRALES NUCL. (6)**  
**INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE REACTORES NUCLEARES (6)**  
**INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE SEGURIDAD (6)**  
INTRODUCCIÓN A LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA (6)  
PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA (6)  
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA II (L+) (11)  
MATEMÁTICAS AVANZADAS (8)  
SEMINARIO DE TITULACIÓN \* (6)  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN \*\* (6)

# Alumnos

## Graduados con perfil Nuclear:

- 59 Ingenieros
- 28 Maestros en Ingeniería
- 4 Doctores
- 7 Estudiantes de doctorado (2 candidatos)
- 9 Estudiantes de maestría

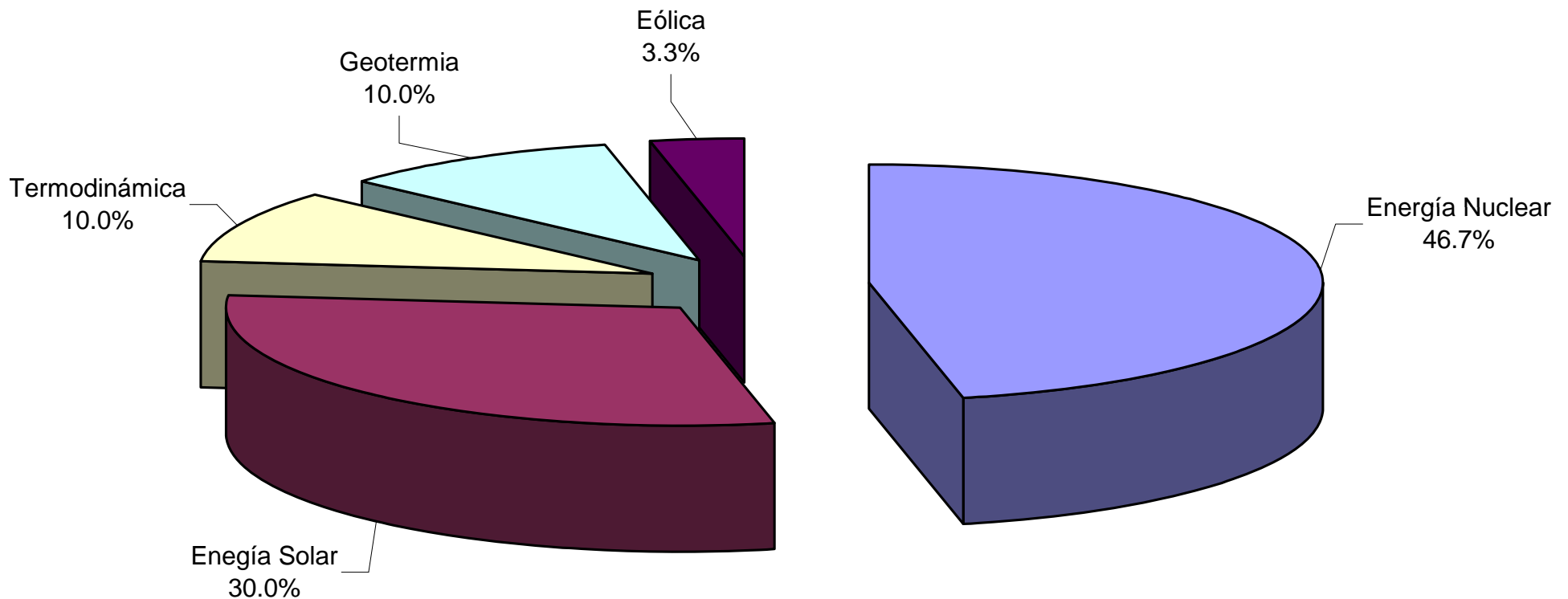
## Maestría a distancia en Sistemas Energéticos:

- 2 asignaturas nucleares:  
Fundamentos de Ingeniería Nuclear  
Introducción al APS
- 8 Alumnos de la Central Laguna Verde

# Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa

## Ingeniería en Energía:

- Desde 1974: 400 titulados





## Optativas:

Física de Reactores I

Física de Reactores II

Termohidráulica de Reactores Nucleares I y II

Instrumentación Nuclear

Radiprotección

Temas Selectos de Energía Nuclear I y II

## Personal académico:

2 Doctores

2 Maestros

1 Ingeniero (Técnico de Lab.)

# Universidad Autónoma de Zacatecas

- La Maestría en Ciencias Nucleares (MCN) de la Unidad Académica de Estudios Nucleares (UAEN) fue creada en el año de 1996.
- A partir de agosto de 2007 el ingreso se ha elevado de 3 a 16 estudiantes en promedio.
- Actualmente tiene 35 estudiantes.
- Personal académico:

Ocho profesores con grado de doctorado y tres con grado de maestría de tiempo completo

# Plan de Estudios

	<b>Ingeniería Nuclear</b>	<b>Técnicas Analíticas Nucleares</b>	<b>Instrumentación Nuclear</b>	<b>Medicina Nuclear</b>
<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Física de Radiaciones</li> <li>• Seguridad Radiológica</li> <li>• Detección de la Radiación</li> <li>• Lab. de Mediciones Nucleares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Física de Radiaciones</li> <li>• Seguridad Radiológica</li> <li>• Detección de la Radiación</li> <li>• Lab. de Mediciones Nucleares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Física de Radiaciones</li> <li>• Seguridad Radiológica</li> <li>• Detección de la Radiación</li> <li>• Lab. de Mediciones Nucleares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Física de Radiaciones</li> <li>• Seguridad Radiológica</li> <li>• Detección de la Radiación</li> <li>• Lab. de Mediciones Nucleares</li> </ul>
<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis I</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación I</li> <li>• Introducción a la Ingeniería Nuclear</li> <li>• Métodos Matemáticos y Numéricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis I</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación I</li> <li>• Radioanalítica</li> <li>• Análisis Estadístico y Control de Calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis I</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación I</li> <li>• Sistemas y Circuitos de Instrumentación Nuclear</li> <li>• Métodos Matemáticos y Numéricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis I</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación I</li> <li>• Radio-Inmunoanálisis</li> <li>• Biomatemática</li> </ul>
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis II</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación II</li> <li>• Lab. de Ingeniería Nuclear</li> <li>• Optativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis II</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación II</li> <li>• Laboratorio de Técnicas Analíticas Nucleares</li> <li>• Optativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis II</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación II</li> <li>• Laboratorio de Instrumentación Nuclear</li> <li>• Optativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis II</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación II</li> <li>• Laboratorio de Medicina Nuclear</li> <li>• Optativa</li> </ul>
<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis III</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación III</li> <li>• Proyecto de tesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis III</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación III</li> <li>• Proyecto de tesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis III</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación III</li> <li>• Proyecto de tesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminario de Tesis III</li> <li>• Seminario de Metodología de la Investigación III</li> <li>• Proyecto de tesis</li> </ul>

# Asignaturas optativas

- Física de Reactores Nucleares
- Materiales Nucleares
- Protección Radiológica
- Teoría de Blindajes
- Dosimetría de Radiaciones
- Diseño de Blindajes para Equipos de Rayos X
- Activación Nuclear
- Espectrometría Nuclear
- Química de Radiaciones
- Instrumentación Nuclear Avanzada
- Procesamiento Digital de Señales
- Teoría de Control
- Radiofarmacia
- Biología Celular
- Inmunología

# Universidad Veracruzana

- Ha formado muchos de los nuevos ingenieros de la Central Laguna Verde:
  - Física
  - Ing. Ambiental
  - Ing. Civil
  - Ing. en Electrónica y Comunicaciones
  - Ing. Industrial
  - Ing. Mecánica Eléctrica
- Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica - Zona Xalapa:
  - Diplomado en Seguridad y Protección Radiológica
  - Curso de Introducción a la CNLV
  - 53 trabajos recepcionales (monografías) para obtención de grado de Licenciatura con temas afines a la Energía Nuclear

# Universidad Autónoma del Estado de México

## Maestría y Doctorado en Ciencias Nucleares y Física No lineal

- · Física de plasmas
  - · Elementos de transición interna, actínidos y lantánidos
  - · Tratamiento y almacenamiento de desechos radiactivos
  - · Reacciones nucleares
  - · Aceleradores y detectores
  - · Interacción de radiación con materia
  - · Ingeniería nuclear
  - · Radioquímica
- 
- Inicio en 1996 en colaboración con el ININ

# Universidad Autónoma del Estado de México

- La planta académica está formada por 12 Doctores en Ciencias y está apoyada por 27 Doctores en Ciencias e investigadores del ININ.
- Hasta el 2005, 11 estudiantes habían obtenido su doctorado y 18 estaban inscritos.
- En el caso de la maestría de 1998 a 2004, 5 estudiantes habían obtenido el grado de maestros en ciencias nucleares.

# GERENCIA DE CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

Centro de Entrenamiento

**“Proceso de Reclutamiento, Selección y  
Formación del Recurso Humano”**

## **SELECCION:**

**Personal técnico.- Se realiza a dos niveles:**

**Selección para personal técnico.**

**Selección para personal técnico  
especializado.**

**Personal con Licenciatura.-**

**Selección para Ingenieros.**

## SELECCIÓN PARA INGENIEROS DE DISEÑO:

- **Curso Selección Nivel “A”**
- **Curso Nuclear Básico**
- **Curso Tecnología Laguna Verde**
- **Programa de formación específico a la disciplina**

## **CURSO SELECCIÓN NIVEL “A”:**

### **▶ INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR**

- ▶ Principio de funcionamiento de los detectores de radiación.
- ▶ Principio de funcionamiento de los monitores de radiación así como su uso adecuado.
- ▶ Precauciones e inspecciones de los detectores de radiación.
- ▶ Finalidad, utilidad y uso adecuado de los dosímetros.
- ▶ Dosimetría utilizada en la CLV.
- ▶ Sistema de monitoreo de radiación de área.

### **▶ FÍSICA DE NEUTRONES**

- ▶ Tipos principales de reactores nucleares.
- ▶ Reactor nuclear de fisión.
- ▶ Sección eficaz.
- ▶ Reacciones nucleares, fisión nuclear, reacción de fisión en cadena autosostenida en el reactor.
- ▶ Producción de neutrones retardados y su importancia en el balance neutrónico del reactor.
- ▶ Flujo neutrónico.
- ▶ Factores que afectan al balance neutrónico.

## CURSO NUCLEAR BASICO:

### ▶ **LECTURA DE PLANOS**

- ▶ Planos.
- ▶ Planos y símbolos eléctricos.
- ▶ Análisis de diagramas esquemáticos eléctricos y diagramas de alambrado de control.
- ▶ Análisis de diagramas de sistemas mecánicos.
- ▶ Consultas de documentos en el sistema C97.
- ▶ Experiencia operacional.

### ▶ **INGENIERIA DEL REACTOR**

- ▶ Clasificación de reactores.
- ▶ Física nuclear y fisión.
- ▶ Las reacciones nucleares en cadena; propiedades de los neutrones.
- ▶ Rapidez de las reacciones nucleares.
- ▶ Teoría de moderación y difusión térmica.
- ▶ El proceso de multiplicación de neutrones, cálculo de los factores de multiplicación y masa crítica.
- ▶ Reactividad.
- ▶ Coeficientes de reactividad y valor de la barra de control de un BWR.
- ▶ Venenos de productos de fisión.
- ▶ Cinética del reactor.

## PROGRAMA DE FORMACION ESPECIFICO A LA DISCIPLINA:

- ▶ Fundamentos de aire acondicionado y ventilación.
- ▶ Fundamentos de estructuras de Concreto.
- ▶ Fundamentos de Instrumentación.
- ▶ Fundamentos de protección contra incendio.
- ▶ Ingeniería de Plantas Nucleares.
- ▶ Análisis de Problemas y Toma de Decisiones.
- ▶ Análisis Probabilístico de Seguridad (APS)
- ▶ Fundamentos de Bases de Diseño.
- ▶ Calificación de equipo.
- ▶ Cálculos de puntos de ajuste.
- ▶ Calificación sísmica y ambiental de equipo.



# Educación y Capacitación: Perspectiva del Organismo Regulador

# Marco de referencia

- Marco Jurídico: La Ley del Servicio Profesional de Carrera y su Reglamento.
- Detección de Necesidades de Capacitación.

## ¿Qué estamos haciendo?

- Diagnóstico de las necesidades de capacitación.
- Capacitación básica
- Capacitación específica
- Entrenamiento en el trabajo, complementado con la capacitación básica.
- Integración de un programa de capacitación para todo el personal del organismo regulador.

## Situación actual: capacitación básica

- Curso de Inducción a la Administración Pública Federal.
- Curso de Fundamentos de Ingeniería Nuclear.
- Curso de Protección Radiológica Aplicada.
- Curso de Tecnología de Reactores de Agua en Ebullición.

## Situación actual: capacitación específica

- Cursos externos en el TTC de la US NRC, el CIEMAT (España), Cursos Regionales del OIEA, Cursos ofrecidos por universidades del extranjero, entre otros.
- Contratación de expertos para impartir cursos específicos.
- Estancias y residencias técnicas en organismos especializados.

## Situación actual: problemática interna

- Falta de recursos financieros para el desarrollo de acciones de capacitación.
- Baja retención del personal capacitado.
- Envejecimiento y retiro cercano del personal con experiencia.
- Carencia de un sistema de gestión del conocimiento.



# **Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**

---

**Departamento de Educación Continua**

*Abril 2010*



## **Propósito del Departamento de Educación Continua**

- Capacitación de personal, en el campo de las ciencias nucleares, la protección radiológica y disciplinas afines.



## Actividades de Educación Continua en años recientes (campo Nuclear y afines) CC - EC -002)

Curso	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Termohidráulica	1	1				
Mitig. de Daños al Núcleo	1	1				
Análisis de Transitorios	1	1	1			
Tecnología de Reactores BWR					1	
Nuclear Básico (**)			1	1	1	2
Fundamentos Nucleares y Protección Radiológica (**)		1		1	1	
Selección Nivel A , B y C(**)			1	6	3	6
Mecánica de Fractura (**)	1					
Aseg. Cal. de Software (**)					1	2
(**) Incluyó el desarrolló o revisión de manual						



## **Actividades de Educación Continua en años recientes** (campo Protección Rad. y afines)

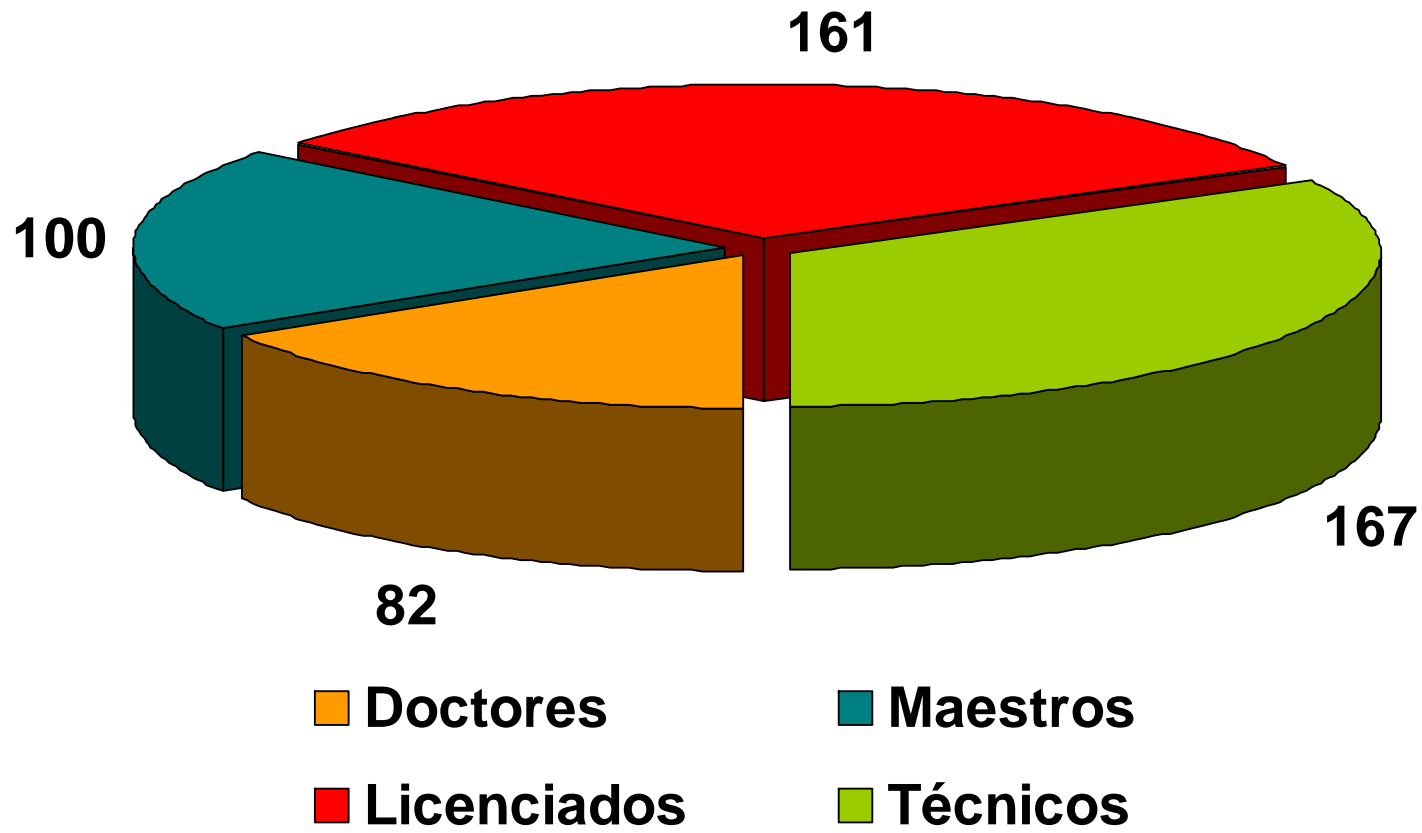
En las instalaciones del ININ se ofrecen constantemente los Cursos de:

- *Protección Radiológica -nivel POE*
- *Protección Radiológica en el Diagnóstico Médico con Rayos X -nivel POE*
- *Protección Radiológica -nivel Encargados de Seguridad Radiológica*
- *Avanzado de Protección Radiológica -nivel Encargados de Seguridad Radiológica*

# Recursos Humanos

- Total de Personal: 650

**Profesionales involucrados en actividades de Investigación, desarrollo y servicios: 510**



**RECURSOS HUMANOS  
EN UNA PROPUESTA DE  
EXPANSION DE LA  
GENERACION NUCLEAR**

# RECURSOS HUMANOS

CFE requiere de cuadros multidisciplinarios para Ingeniería, Licenciamiento, Aseguramiento de Calidad y otras disciplinas.

Se estima conveniente que CFE cuente con un Grupo Corporativo del orden de 400 profesionales, con una división central y representación en cada Planta.

Adicionalmente, se estima que para supervisar las actividades de construcción, en cada sitio se pueden requerir del orden de 300 profesionales.

# RECURSOS HUMANOS

Experiencias recientes indican que se requieren en construcción un promedio de 1600 a 2000 trabajadores, con picos de hasta 3000 para una unidad.

Este pico puede ser de hasta 4500 trabajadores en una central con dos unidades.

En la experiencia internacional se considera que la operación de cada nueva unidad requerirá de 450 a 700 empleos permanentes directos.

# RECURSOS HUMANOS

Dado que estos recursos humanos son por cada Unidad, ante un Plan Nuclear, se habría de considerar la superposición de los programas de construcción.

Por ejemplo, bajo un escenario de 6 Unidades en 14 años, se requerirían en el pico entre 12,000 y 13,000 trabajadores en la construcción y al final 3,000 trabajadores permanentes en la operación.

# RECURSOS HUMANOS

En la mano de obra no profesional, se anticipa la instalación de centros de capacitación. (La formación de soldadores en Laguna Verde es un antecedente de éxito)

En ambos casos, se debe desarrollar capacidad local/regional en el entorno de cada sitio

# Comentarios Finales

- Establecimiento de una Red de Educación y Capacitación Nuclear, con la colaboración de las instituciones educativas, de investigación, CFE, CNSNS, de tal manera que se compartan y aprovechen los recursos humanos y la infraestructura de cada una de ellas.
- Participar en el creación de la Red Latinoamericana de Educación Nuclear apoyada por el OIEA.
- Fortalecer la infraestructura material existente en las instituciones educativas, las cuales en muchos casos ya es obsoleta.

# Comentarios Finales

- Fortalecer las ingenierías en las IES, incorporando asignaturas relacionadas con ingeniería nuclear, para que los egresados se incorporen más fácilmente a las necesidades de un programa de expansión de generación nucleoelectrónica en México.  
→ Carrera de ingeniería nuclear
- Fortalecer y orientar los programas de posgrado para cubrir de mejor manera las necesidades de un programa de expansión de generación nucleoelectrónica en México.  
→ Maestría y doctorado en ingeniería nuclear



- Una vinculación efectiva con los centros de educación superior, para el aprovechamiento de su plantilla docente en la implantación de planes y programas de capacitación, idóneos para cubrir las necesidades del organismo regulador.
- Contar con recursos financieros para establecer un programa de becas.
- Tener libertad para capacitar candidatos potenciales, para su contratación futura .

## **CONCLUSIONES:**

**Teniendo frente a nosotros una Propuesta de Expansión de la Generación Nucleoeléctrica en México, existen grandes áreas de oportunidad donde las Instituciones Educativas y la Industria dedicada a la Generación de Energía por medios Nucleares podrían coordinar esfuerzos para alcanzar de una manera eficiente un desarrollo educativo y profesional del Capital Humano.**

**Gracias por su atención**



[jlfl@fi-b.unam.mx](mailto:jlfl@fi-b.unam.mx)