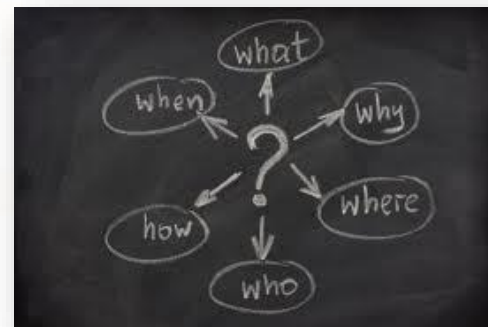


Special Education Required for the Nuclear Industry

Dimensioning the needs of Nuclear Human Resources for the future

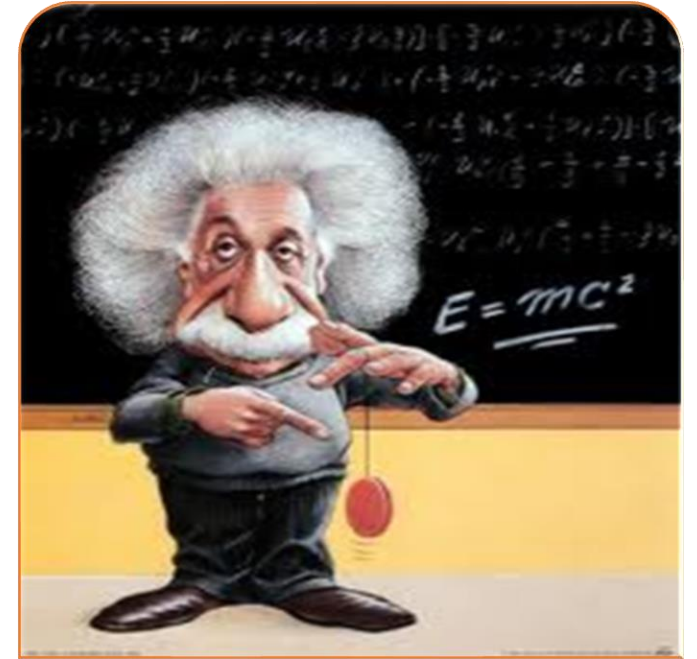
¿Qué necesitamos? ¿Cómo los formamos?

Javier C. Palacios Hernández.



Contenido

1. Situación actual de la energía nuclear en el mundo
2. La energía nuclear en México
3. Qué necesitamos?
4. Como los formamos?
5. Reflexiones



“Si mi teoría de la relatividad es exacta, los alemanes dirán que soy alemán y los americanos que soy ciudadano del mundo. Pero si no, los americanos dirán que soy alemán, y los alemanes que soy judío”

Albert Einstein



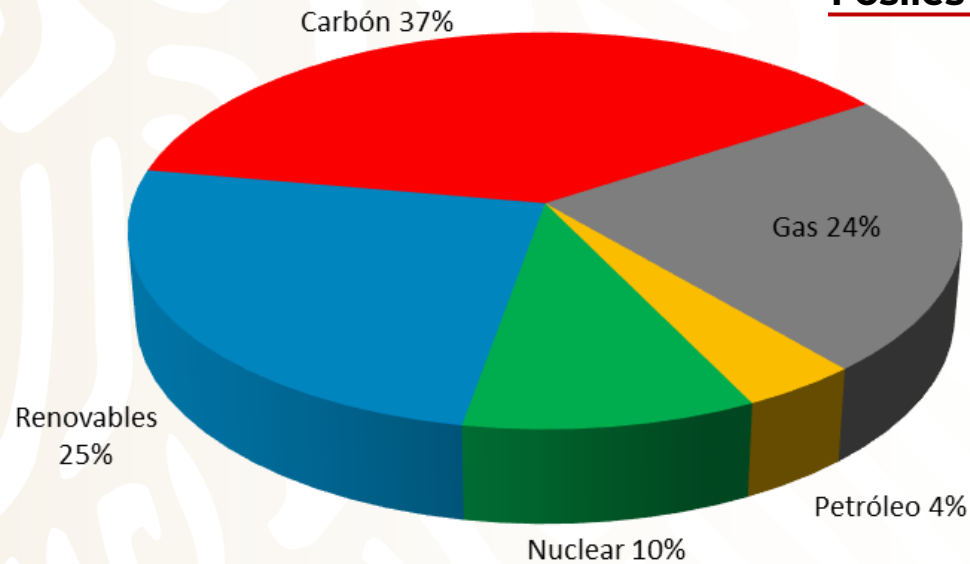
Situación Mundial de la Energía Nuclear

“Haremos la electricidad tan barata que sólo los ricos quemarán velas”

Thomas A. Edison

Mezcla de Generación Eléctrica en el Mundo y la OCDE (2019)

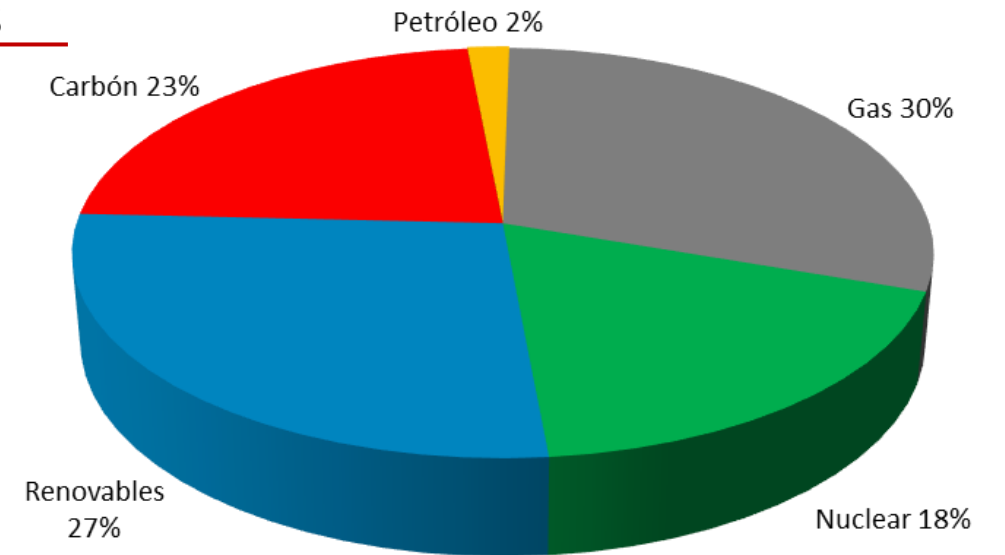
MUNDO



Elaborado a partir de datos de BP Statistical Review of World Energy 2020

	2000	2019
Limpias	35.2	36.7
Fósiles	64.8	63.3

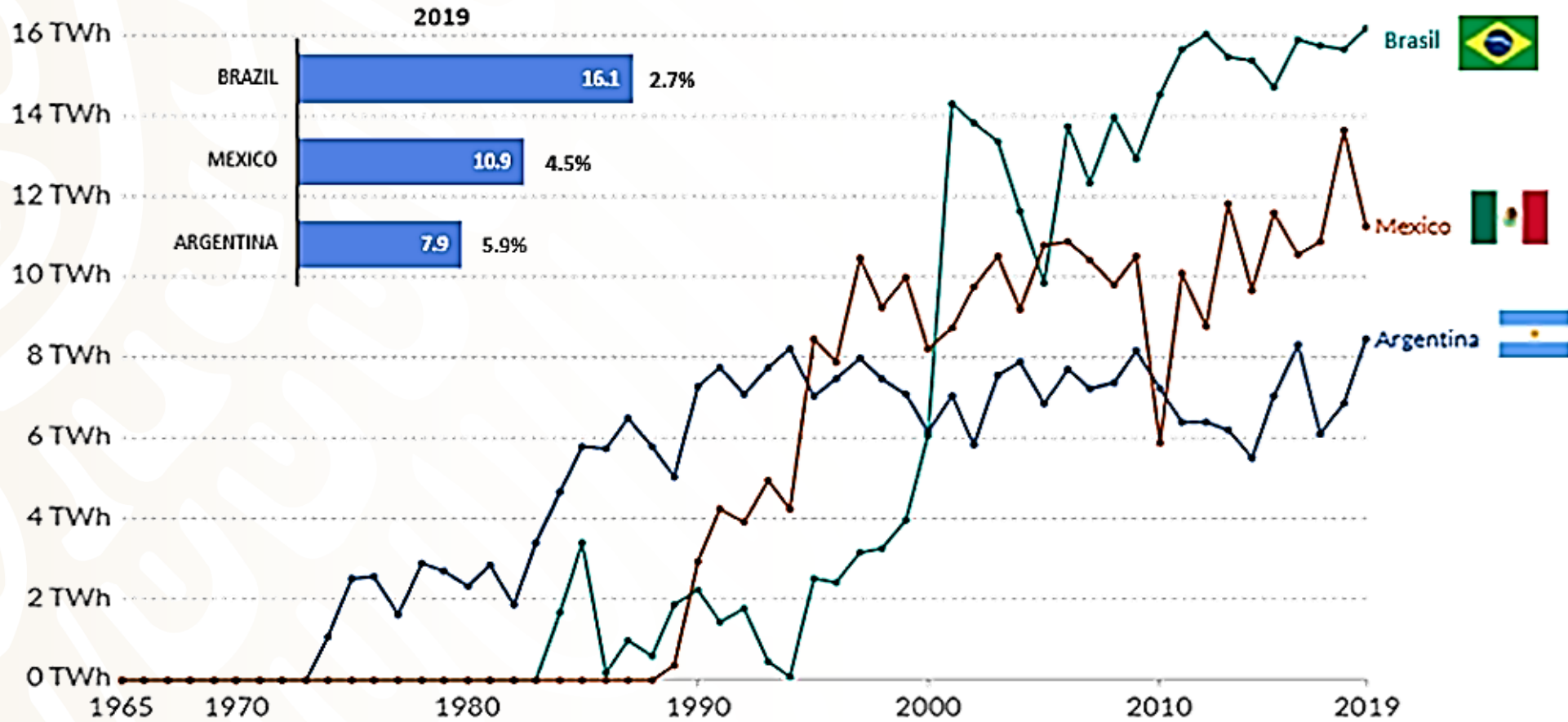
OCDE



Elaborado a partir de datos de IEA, Electricity generation by source, OECD, 1990-2019

En 2019 se generaron **2,586.2 TWh** por medios nucleares
 Estados Unidos y Francia, representan el **47.5 %** de la producción nuclear mundial

Generación de electricidad por medios nucleares en Latinoamérica

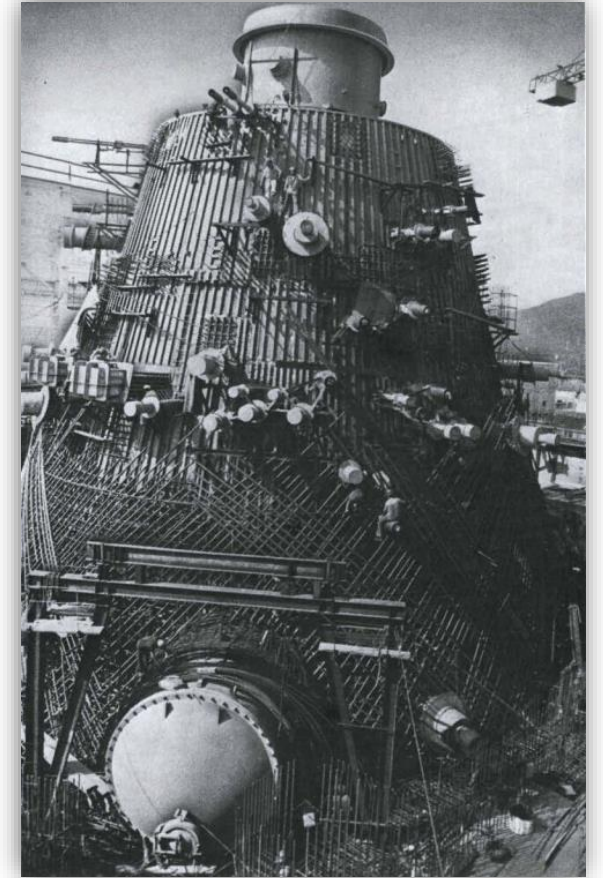


Situación Actual de la Energía Nuclear en el Mundo

- ✓ Actualmente se encuentran **en operación 442 reactores nucleares**
- ✓ Del **2016 – 2020** iniciaron su operación un total de **35 reactores**
 - ✓ En el 2020, 4 reactores han sido conectados a la red, 1 en China, 1 en Emiratos Árabes, 1 en Rusia y *el último el 03 de noviembre en Bielorusia*
- ✓ **53 nuevas unidades en construcción** en 20 países.
- ✓ Del **2016 al 2020** se inició la construcción de **16 reactores**
 - ✓ En el 2020 iniciaron construcción **3 reactores**, 1 en Turquía y 2 en China, *el último inició su construcción el 15 de octubre de 2020*

Algunos Retos para la Industria Nuclear en el mediano plazo

1. Extensión de licencia de operación de centrales activas (60 y 80 años)
 - ✓ Administración del Envejecimiento
 - ✓ Administración del Combustible Nuclear Utilizado
 - ✓ Modernización y digitalización (Cuarto de Control, I&C, etc.)
 - ✓ Actualización de la Regulación
2. Incremento de la Capacidad Nuclear Instalada
 - ✓ Aumento de Potencia de los Reactores Instalados
 - ✓ Construcción de Nuevos Reactores
 - ✓ Adaptación de la Regulación
 - ✓ Tiempo de Construcción
 - ✓ Costos y Financiamiento
3. Percepción Pública
4. Formación de Recursos Humanos Especializados



Los reactores SMR deberán formar parte de la matriz energética en el mediano plazo

Recursos Humanos nucleares (Análisis NEA/OECD)

2006



¿2020?

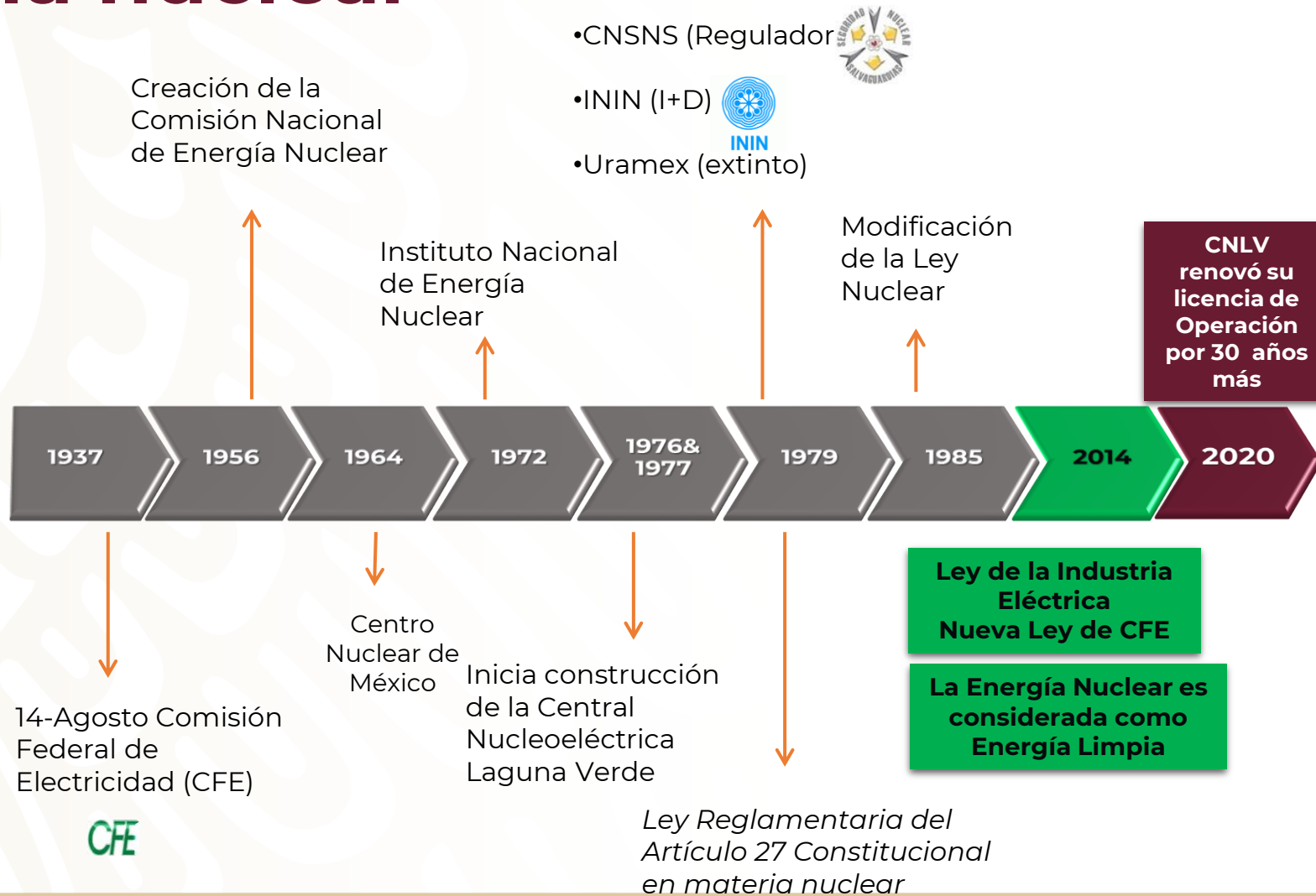


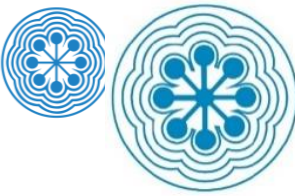
Energía Nuclear en México

“Haremos la electricidad tan barata que sólo los ricos quemarán velas”

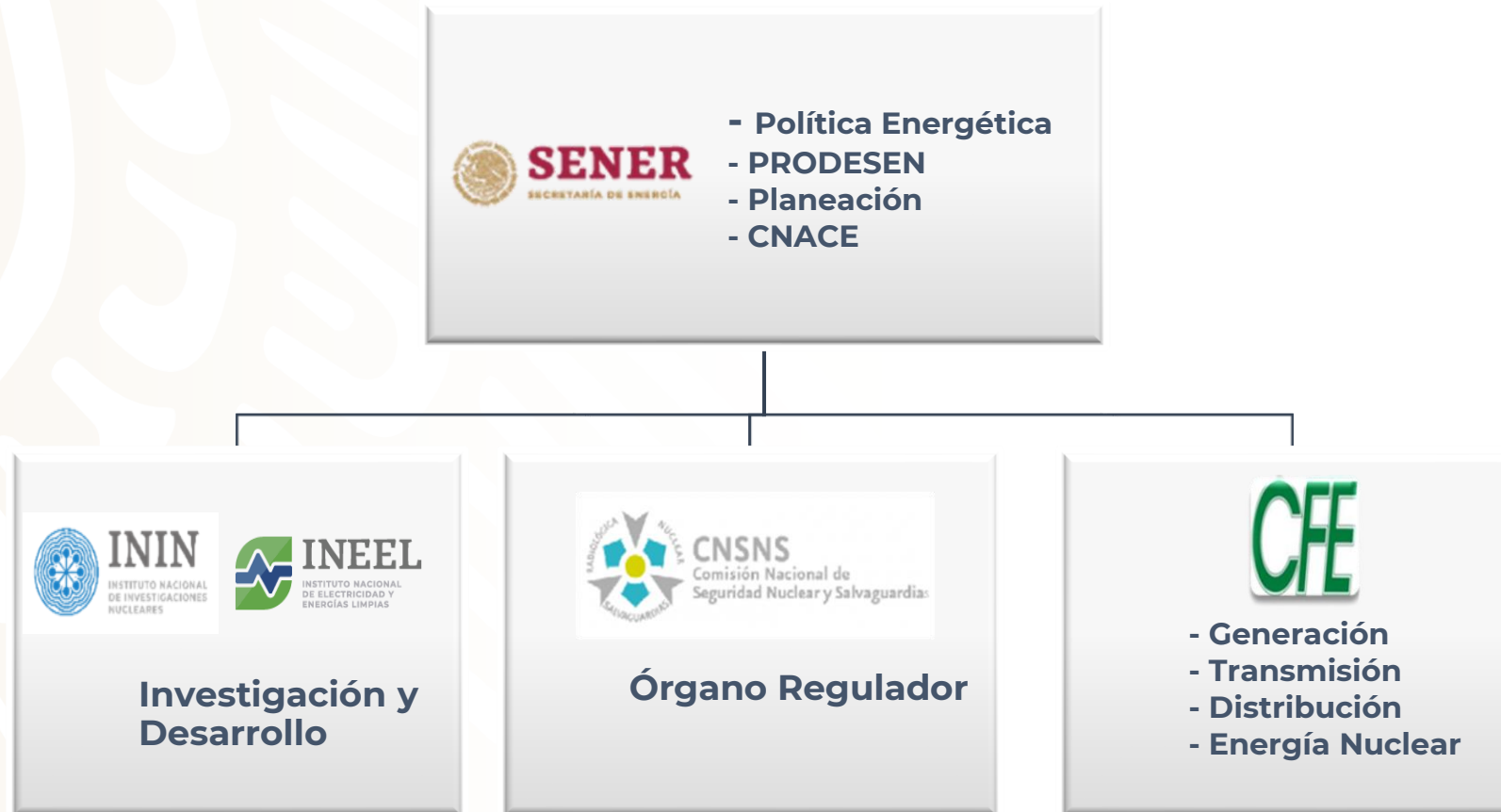
Thomas A. Edison

Desarrollo del marco institucional de la energía nuclear



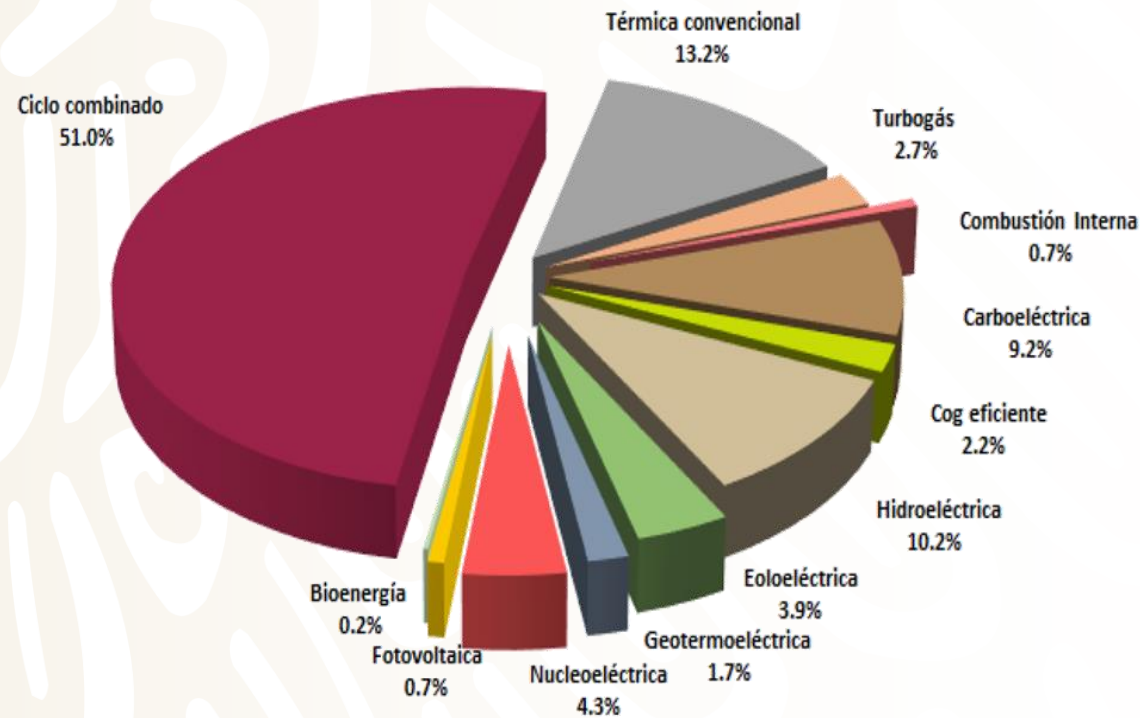


Marco Institucional para la Energía Nuclear



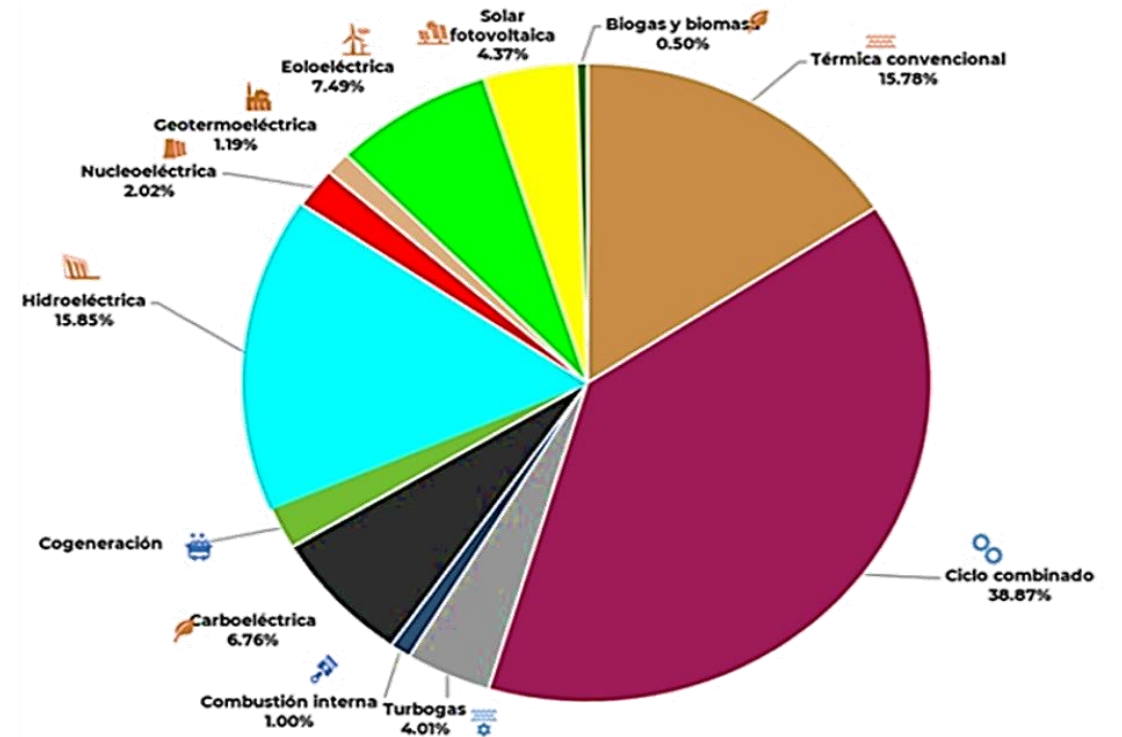
Energía producida durante 2018 y Capacidad Instalada 2019

Energía generada en 2018 (317,278 GWh)



Energía limpia = 23.2%

Capacidad Instalada en 2019 (79,599 MW)



Según el IAEA-PRIS en México la Central Laguna Verde generó 10,9 TWh en 2019, equivalentes al 4.5 % de la Generación Total

Central Nucleoeléctrica Laguna Verde

- Dos Unidades idénticas, cada una tiene un reactor tipo BWR/5 de General Electric
- Unidad 1 inició operación comercial en 1990
- Unidad 2 inició operación comercial en 1995
- 444 ensambles combustibles

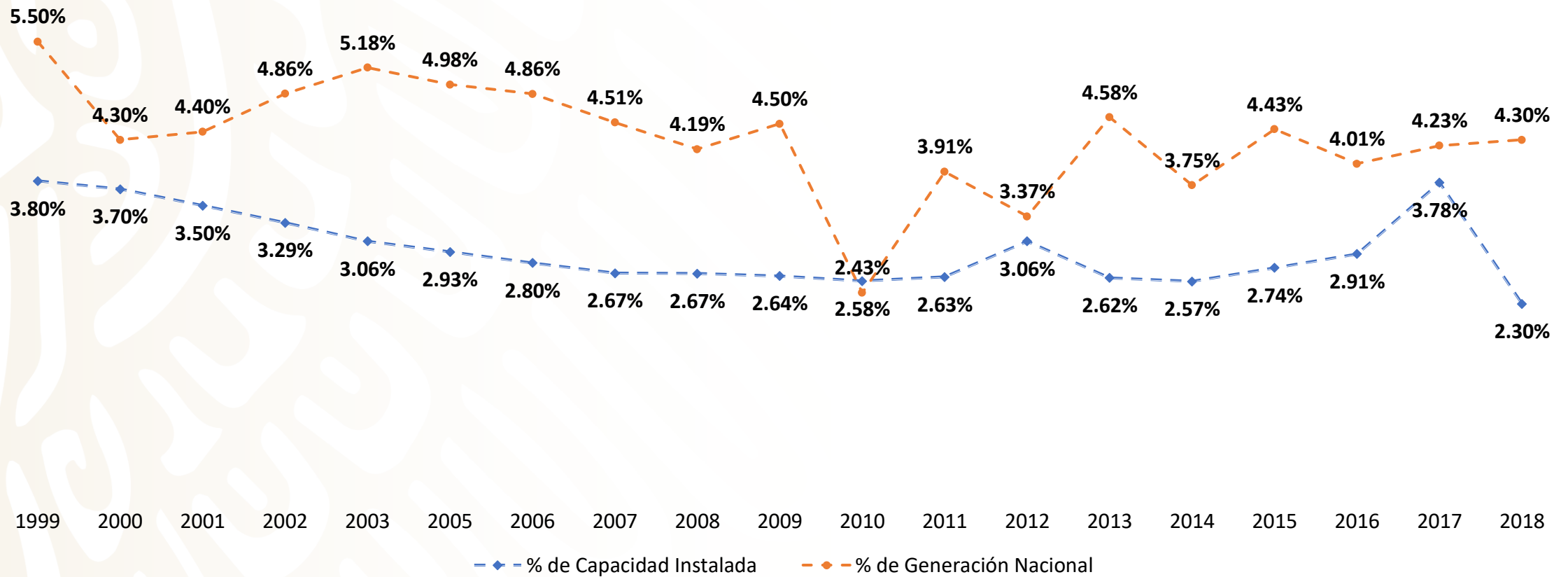
Capacidad de diseño

- La potencia original era de 1931 MWth (Aprox. 682 MWe total y 675 MWe efectiva por unidad)
- En 1999 aumentó la potencia de ambas unidades al 105%, quedando en 2027 MWth (Aprox. 690 Mwe por unidad)
- En 2015 aumentó la potencia de ambas unidades al 120% de la potencia original, quedando en 2317 MWth, (Aprox. 805 Mwe por unidad)



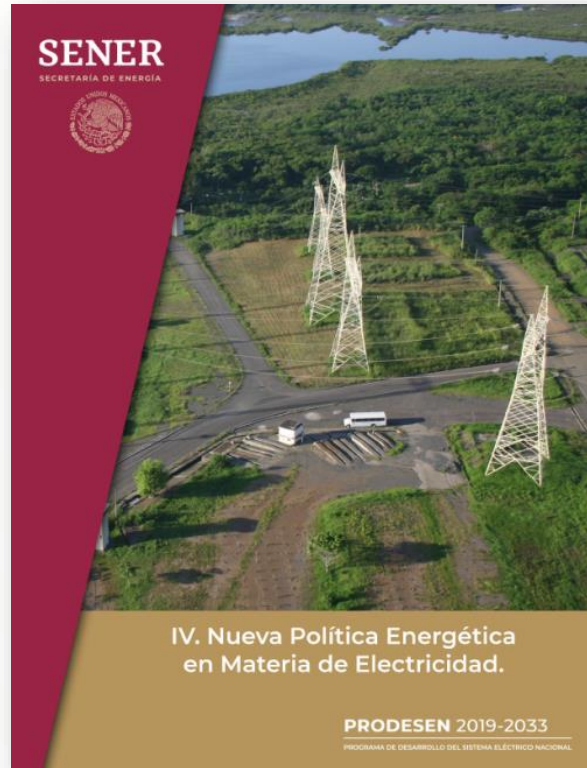
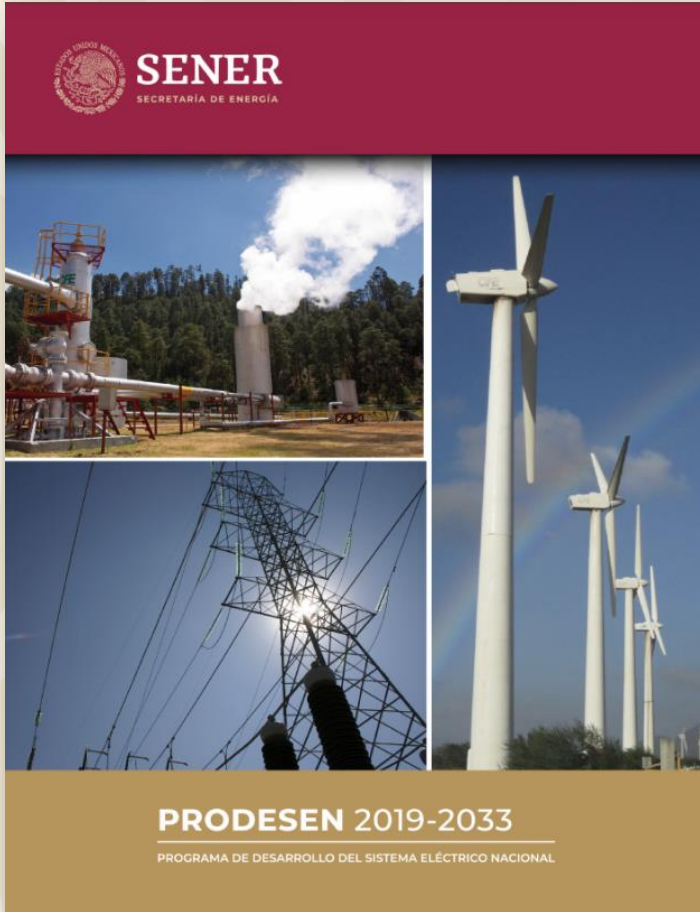
El 24 de julio de 2020, la Unidad 1 de la CNLV cumplió 30 años de operación
El 25 de julio de 2020, renovó su licencia de operación por otros 30 años

Participación de Laguna Verde en el Sistema Eléctrico



En el 2018 la CNLV evitó ello la liberación de 10 millones de toneladas de CO₂ lo que representa casi un 10% de las emisiones totales en el sector eléctrico nacional

PRODESEN 2019-2033



Página 22

- Se debe continuar con el adecuado mantenimiento, funcionamiento y seguridad en la Planta Nuclear de Laguna Verde; es importante recuperar y fortalecer la experiencia mexicana en la generación nucleoelectrica, mantener la alta cualificación del personal de la Planta, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias y del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; así como desarrollar tecnologías y aplicaciones en salud, medio ambiente, alimentación, entre otros; e incorporar investigadores y profesionales jóvenes. Se debe continuar realizando estudios sobre la evolución de la industria nuclear en el mundo y sobre las opciones posibles para la ampliación de nuestra capacidad nucleoelectrica.

La Energía Nuclear en la Transición Energética

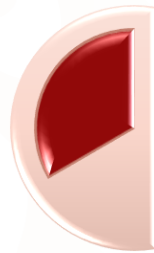


Energía Nuclear

Energía limpia tal como la define la Ley de la Industria Eléctrica.

Su rol es esencial como generación **firme y confiable, sin emisiones** de Gases de Efecto Invernadero.

Deberá de jugar un **papel protagónico** en la **transición energética mexicana** como energía limpia.



SENER-ININ-CFE

Realizar estudios y análisis de nuevas tecnologías para **definir un programa nuclear mexicano**, que permita transitar armónicamente desde las energías contaminantes a las energías limpias.

Desarrollar Proyectos que permitan aprovechar las capacidad **de cogeneración de los reactores nucleares.**



CFE-ININ-INEEL

Soporte Tecnológico a la Central Nuclear Laguna Verde. Operación por 30 años más.

Administración del envejecimiento de Estructuras, Sistemas y Componentes.

Cambio Generacional de profesionales nucleares.

Gestión del Almacenamiento de Combustible Nuclear Gastado.

Cumpliendo con su mandato constitucional el ININ trabaja continuamente para ser **el eje rector de la ciencia nuclear** en México

Escenario hacia 2035

Las 2 unidades de la CLV
habrán tenido que renovar
su licencia de operación

- La Unidad 1 inició operaciones en 1990 y la Unidad 2 en 1995
- Ambas unidades aumentaron su potencia 20% de la potencia original en 2015
- Las licencias de operación se extenderán por otros 30 años (Unidad 1 a 2050, Unidad 2 hasta 2055)

La demanda de energía
eléctrica habrá aumentado

- El desarrollo de las energías verdes en 15 años no será suficiente para satisfacer la demanda adicional
- La diversificación del portafolio tecnológico de generación hace aconsejable agregar alrededor de al menos entre 6 y 10 GWe nucleares
- La construcción de estas unidades debe iniciarse a más tardar en el 2024

Se requiere un respaldo para las energías intermitentes que sea limpia y tenga un alto factor de capacidad:

La Energía nuclear es un candidato ideal

Tecnologías a considerar para una nueva central en México

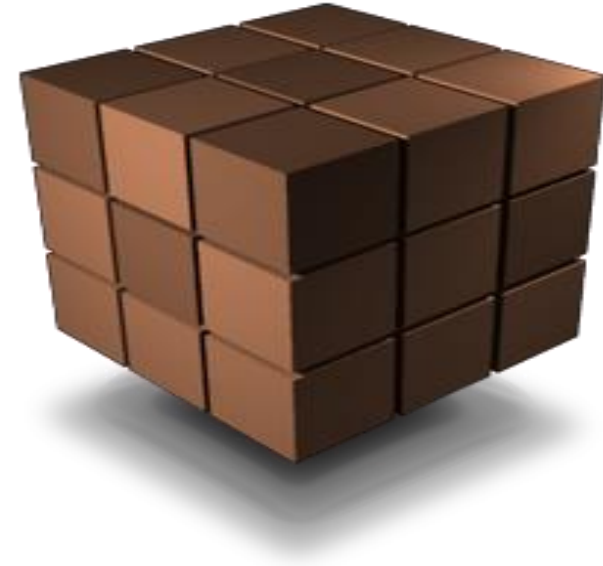
¿UNA O VARIAS TECNOLOGIAS?

UNA TECNOLOGIA

- ✓ Estandarización de mantenimientos
- ✓ Recargas
- ✓ Ingeniería y análisis de eventos
- ✓ Partes de repuesto
- ✓ Menos recursos humanos requeridos para licenciamiento
- ✓ Mayor posibilidad de integración nacional

TECNOLOGIA ABIERTA

- ✓ Mantener proveedores en competencia
- ✓ Reducción de riesgos genéricos
- ✓ Más fácil de implementar
- ✓ Posible dependencia de varios proveedores internacionales
- ✓ Más recursos humanos para el licenciamiento, regulación e inspecciones



¿Qué necesitamos?

Es importante tener presente que, la preparación de una nueva generación de recursos humanos en el campo nuclear, si éstos son requeridos, exige la inversión de al menos 5 años.

Formación de Recursos Humanos Especializados en al área nuclear

El mantenimiento o la expansión de la Capacidad Nuclear requiere de:

- ✓ Mantener las habilidades y competencias existentes para los más de 40 años que una planta nueva operaría, y los 20 años de aquellas que extiendan su vida útil
- ✓ Mantener las competencias del personal regulador
- ✓ Formar Investigadores y Especialistas que le den soporte al nuevo programa nuclear
- ✓ Mantener las habilidades y competencias nuevas en las áreas de desmantelamiento y manejo de desechos radioactivos
- ✓ Mantener la masa crítica de Especialistas en las Universidades que formen los Recursos Humanos requeridos

Personal requerido ante la implementación de un nuevo reactor nuclear

Concepto	Diseño y Construcción		Operación	
	No. De Plazas	Duración	No. de Plazas	Duración
ABWR	1500 a 2000	54 meses	375	60 años
AP1000	~~1500	60 meses	300	60 años
EPR	~~2000	60 meses	300	60 años

La experiencia indica que se requieren durante el periodo de 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

Disciplinas Técnicas Requeridas por Función a Desarrollar

Disciplina Técnica	Función
Mecánica más Eléctrica más Ingeniería Química más Física de Reactores Nucleares	Operación Directa Evaluación de ocurrencias anormales Revisión de Desempeño Física de Reactores Administración de Combustible
Radiaciones Ionizantes	Física de la Salud
Química o Ingeniería Química	Manejo de Combustible Almacenamiento de Combustible Gastado Administración de Efluentes y Desechos Química
Ingeniería Mecánica o Ingeniería Eléctrica (o Ingeniería Civil o Ingeniería Química)	Todas las Funciones de Mantenimiento Planeación y Programación Administración de Partes de Repuesto Control de Documentos Garantía de Calidad Control de Incendios y Seguridad Industrial

RECURSOS HUMANOS



- Requiere cuadros para la Ingeniería, Supervisión durante la construcción, Licenciamiento, Operación, Aseguramiento de Calidad y otras disciplinas.



- Responsable de evaluar los estudios y en su caso aprobar los sitios que la CFE proponga para instalar las nuevas unidades, otorgar las licencias de construcción y operación, así como realizar las auditorías necesarias para asegurar que el suministrador y la CFE realizan sus actividades cumpliendo a cabalidad con la normativa aplicable.



- Responsable de apoyar a CFE en la realización de investigación, análisis e inspecciones que involucren tecnología nuclear y actividades en materia de protección radiológica, así como la formación de recursos humanos especializados, incluyendo la capacitación del personal de CFE.



- Deberán formar los recursos humanos necesarios



¿COMO LOS FORMAMOS?

¿Donde se pueden adquirir los conocimientos requeridos?

Instituciones que imparten educación en materia nuclear en México

- ✓ Escuela Superior de Física y Matemáticas IPN (1961 y 1979)
- ✓ Facultad de Química de la UNAM (1964 y 1968)
- ✓ Facultad de Ingeniería de la UNAM. (1999)
- ✓ División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM (1974)
- ✓ Centro Regional de Estudios Nucleares de la UAZ (1968, 1982)
- ✓ Facultad de Ciencias de la UAEM (1996)
- ✓ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UV (1976)

Instituciones que forman recursos humanos especializados en materia nuclear en México

- ✓ El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
- ✓ El Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
- ✓ La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas
- ✓ La Comisión Federal de Electricidad
- ✓ El Organismo Internacional de Energía Atómica.

Red Mexicana de Educación Capacitación e Investigación Nuclear (REMECIN)

Creada en enero de 2011

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 nuclear del país.

Miembros:

- Universidades (IPN UAM UAZ UNAM UV)
- Institutos de Investigación (ININ, INEEL)
- Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias
- Gerencia de Centrales Nucleoeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad

Miembros colaboradores:

- Sociedad Nuclear Mexicana
- Comisión de Especialidad de Ingeniería Nuclear de la Academia de Ingeniería
- Universidad Politécnica de Madrid
- Red Europea de Educación Nuclear - ENEN (invitada)

E-learning

Para profesores y estudiantes

- Nuevas y más oportunidades
- Amplia disponibilidad de recursos
- Nuevos enfoques para la enseñanza y el estudio
- Aprender de las mejores prácticas y la experiencia

IAEA “Cyber-Learning Platform”

- Integración de los recursos disponibles de para la educación nuclear y la formación, incluidas las del OIEA,
- Facilita el acceso a los recursos educativos y la experiencia docente
- Permite un entorno de aprendizaje electrónico conveniente, fácil de usar y flexible
- Contribuye al desarrollo de las habilidades y competencia nucleares s necesarias en el siglo XXI



Consideraciones Finales

“ There are things known and there are things unknown, and in between are the doors of perception”
Aldous Huxley

Acciones a Realizar

Establecer los requerimientos de recursos humanos

Identificar las necesidades de capital humano y fomentar la especialización del personal técnico y gerencial

Fomentar programas profesionales para atraer, desarrollar y preservar los recursos humanos que requerirá el sector energía

Establecer mecanismos de coordinación, fomento y desarrollo de programas con instituciones educativas nacionales y extranjeras,

Generar incentivos adecuados para que los institutos de investigación del sector y las instituciones de educación superior contribuyan a la adopción de tecnologías de punta que generen valor económico,

Principales Acciones a Seguir (ININ)

Coordinación de proyectos nacionales basados en los programas de desarrollo de capacidad nuclear

Desarrollo de proyectos que resuelvan necesidades específicas del Sector Nuclear

Vinculación con las instituciones académicas y con la industria nuclear

Optimización de recursos humanos y económicos

Obtener Autonomía, Independencia y soberanía tecnológica

Esta ESTRATEGÍA permitiría **fortalecer** aún más las **capacidades tecnológicas** del país
De manera coordinada se formarían los recursos humanos especializados que requiere el Sector Nuclear

Desarrollo de un plataforma de cálculo mexicana para el análisis y diseño de reactores nucleares

✓ Equipo de Desarrollo Interinstitucional:

- ININ (Institución Líder)
- UNAM,
- IPN,
- UAM y
- Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Alemania (KIT).

✓ Usuarios: CNSNS, CNLV, INEEL

✓ Financiado por el Fondo Sustentabilidad SENER-CONACYT

✓ 8 PhD, 10 MSc.



Requerimientos

- Financiamiento a proyectos de investigación vinculados a la industria nuclear
- Renovación y Mantenimiento de Plantilla de Profesores
- Proyectos comunes entre las universidades, vinculados con los centros de investigación y la industria nuclear
- Oportunidades de trabajo
- Colaboración Internacional
- La actualización y modernización de laboratorios
- Actualización de planes de estudio

Conclusiones

- El país cuenta en con una estructura tecnológica básica capaz de apoyar el desarrollo de la energía nuclear.
- Ante el planteamiento de un incremento de capacidad nuclear en el país, la capacidad de formación de recursos humanos podría ser insuficiente, al día de hoy, para enfrentar el reto que se le presentaría
- Se requiere iniciar, a la brevedad, acciones para mitigar los efectos del “Cambio Generacional” que está ocurriendo
- Se deben tomar decisiones AHORA

Reflexión Final

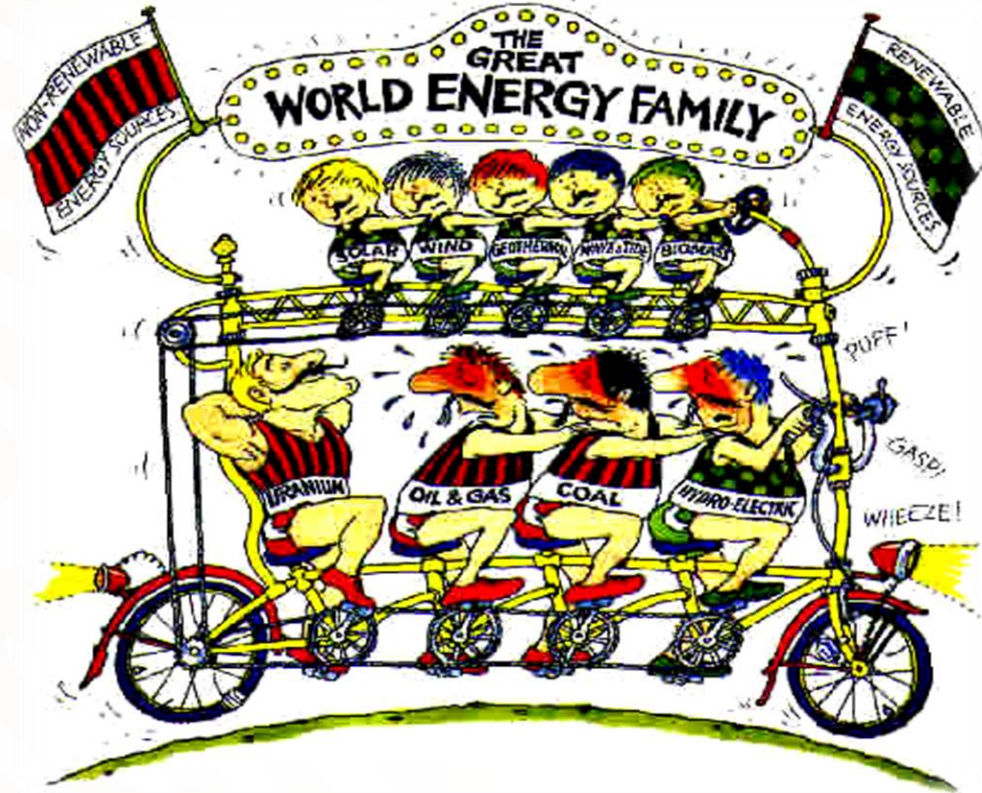
- **Deberíamos considerar a los recursos humanos un recurso renovable ?**
- **Serán los recursos humanos un recurso sustentable ?**



“O ya no entiendo lo que pasa o ya pasó lo que estaba entendiendo”

CARLOS MONSIVAIS

Muchas Gracias por su Atención



*"Not everything that can be counted counts,
and
Not everything that counts can be counted"*

Albert Einstein

