

El papel de la energía nuclear dentro de un plan energético nacional – Curso de capacitación del OIEA para los países en desarrollo

por J.P. Charpentier

INTRODUCCION

La historia del desarrollo de las diversas tecnologías energéticas nos muestra que muy a menudo han de transcurrir de 25 a 30 años como mínimo para que una tecnología nueva pueda pasar de la fase de laboratorio a la fase comercial. Frecuentemente se necesita además otra veintena de años hasta que dicha tecnología ocupa un lugar importante en el mercado de la energía. La mayor parte de las fuentes no tradicionales de energía se encuentran todavía en su etapa inicial de desarrollo; solo unas pocas de ellas han alcanzado el nivel de prototipo de demostración. De esto se desprende que, todavía por numerosos decenios, la demanda de energía solo podrá satisfacerse con las fuentes y tecnologías actualmente bien conocidas y disponibles.

Si bien es cierto que todos nuestros esfuerzos deben tender al desarrollo de todas las fuentes energéticas posibles, no lo es menos que los combustibles fósiles y nucleares, y en menor medida la energía hidroeléctrica, constituyen las únicas opciones importantes que se ofrecen a la humanidad hasta el fin de este siglo y quizá incluso hasta más adelante. Por supuesto, esto no excluye la posibilidad de recurrir, en situaciones locales muy concretas, a la energía solar o a la utilización de la biomasa, pero es imposible, a escala global, que estas formas de energía desempeñen un papel primordial en el balance energético mundial del presente siglo.

A nivel de cada país, tanto si se trata de un país ya muy industrializado como de uno todavía en desarrollo, el establecimiento de un plan energético debe permitirle un mejor conocimiento de sus necesidades futuras y determinar las opciones técnicas que satisfarán mejor dichas necesidades, teniendo en cuenta los constreñimientos propios resultantes de sus recursos, su infraestructura industrial, su mano de obra disponible y, evidentemente, su capacidad financiera.

* La definición exacta de país en desarrollo presenta ciertas dificultades. A los efectos de este párrafo sobre la situación de la energía nuclear, esta denominación se aplica solamente a los países de economía de mercado que reúnen las condiciones necesarias para recibir asistencia técnica de las Naciones Unidas.

El Sr. Charpentier es funcionario de la Sección de Estudios Económicos de la División de Energía Nucleoeléctrica y Reactores del OIEA.

FUNDAMENTO Y OBJETIVOS DEL CURSO

Con el fin de ayudar a los países en desarrollo a establecer tales planes energéticos, el OIEA ha organizado un curso de capacitación en colaboración con la Comisaría de Energía Atómica (CEA) de Francia, el Centro de las Naciones Unidas de Recursos Naturales, Energía y Transportes (CNURNET) y el Banco Mundial (BIRF). El objetivo del curso es ayudar a los especialistas en planificación energética a formarse una idea más cabal del papel que podría desempeñar la energía nuclear en sus planes energéticos nacionales.

Antes de describir detalladamente la estructura del curso, conviene recordar brevemente la situación de la energía nuclear en los países en desarrollo.*

En 1 de enero de 1980 había en el mundo ocho países en desarrollo con centrales nucleares en explotación, en construcción o encargadas en firme (véase el Cuadro 1). La potencia total de los ocho reactores actualmente en explotación es de unos 2800 MWe, los 22 reactores en construcción representan una potencia de 15 000 MWe y el reactor encargado en firme en Argentina tendrá una potencia de 560 MWe.

El cuadro siguiente resume la situación:

	Número de países	Lista de países	Número de centrales	Potencia (MWe)
En explotación	5	Argentina, India, Pakistán, República de Corea, Taiwan	8	2 844
En construcción	7	Argentina, Brasil, Filipinas, India, México, República de Corea, Taiwan	22	15 021
Encargadas	1	Argentina	1	560
Total	13		31	18 425

Evidentemente el curso sobre el papel de la energía nuclear dentro de un plan energético nacional no está reservado a estos ocho países que ya han empezado a utilizar la energía nuclear, sino que se ofrece a todos los países en desarrollo que sean Estados Miembros del Organismo (véase el Cuadro 2). Su objetivo no es el fomento sistemático de la energía nuclear, sino, por el contrario, brindar a cada país la posibilidad de efectuar una elección consciente y objetiva entre las diversas opciones energéticas que se le presentan. Se presta particular atención a las relaciones (muy a menudo ignoradas) que existen entre la elección de la fuente de energía primaria y las necesidades energéticas de los consumidores finales.

Para cada posible forma de energía primaria (petróleo, gas, carbón, hidroelectricidad, energía nuclear, solar, geotérmica, biomasa, etc.) se describen sistemáticamente las ventajas y desventajas, de forma que los participantes comprendan mejor los aspectos complementarios de cada tipo de energía.

Cuadro 1. Centrales nucleares en los países en desarrollo (enero 1980)

País	Nombre de la central	Tipo	Potencia eléctrica neta	Situación actual	Año de entrada en servicio
Argentina	Atucha-1	PHWR	345	en explotación	1974
	Embalse	PHWR	600	en construcción	1981
	Atucha-2	PHWR	560	encargada	1987
Brasil	Angra-1	PWR	626	en construcción	1980
	Angra-2	PWR	1245	en construcción	1985
	Angra-3	PWR	1245	en construcción	1986
Corea	Kori-1	PWR	564	en explotación	1978
	Kori-2	PWR	605	en construcción	1983
	Wolsung-1	PHWR	629	en construcción	1982
	Corea Nuclear-5	PWR	900	en construcción	1984
	Corea Nuclear-6	PWR	900	en construcción	1985
	Corea Nuclear-7 y 8	PWR	1539	en construcción	1985/86
Filipinas	PNPP-1	PWR	621	en construcción	1984
India	Tarapur-1	BWR	198	en explotación	1969
	Tarapur-2	BWR	198	en explotación	1969
	Rajasthan-1	PHWR	206	en explotación	1973
	Rajasthan-2	PHWR	207	en construcción	1980
	Kalpakkam-1	PHWR	220	en construcción	1981
	Kalpakkam-2	PHWR	220	en construcción	1983
	Narora-1	PHWR	220	en construcción	1984
	Narora-2	PHWR	220	en construcción	1985
México	Laguna Verde-1	BWR	654	en construcción	1982
	Laguna Verde-2	BWR	654	en construcción	1983
Pakistán	Kanupp	PHWR	125	en explotación	1972
Taiwán	Chin-san-1	BWR	604	en explotación	1977
	Chin-san-2	BWR	604	en explotación	1978
	Kuosheng-1	BWR	951	en construcción	1981
	Kuosheng-2	BWR	951	en construcción	1982
	Nuclear N° 5	PWR	907	en construcción	1984
	Nuclear N° 6	PWR	907	en construcción	1985

Abreviaturas: PHWR = Reactor de agua pesada a presión.
PWR = Reactor de agua ligera a presión.
BWR = Reactor de agua ligera en ebullición.

PARTICIPACION Y ESTRUCTURA DEL CURSO

El hecho de que en la lista de participantes figure una serie de países que hasta ahora solo han manifestado un interés limitado por la utilización de la energía nuclear (véanse los Cuadros 3 y 4)*, demuestra que los Estados Miembros del Organismo han comprendido perfectamente las razones del curso.

* El Cuadro 3 es un intento de clasificación de los países en desarrollo según sus intenciones con respecto a la energía nuclear. Dejando aparte los países que nunca manifestaron interés alguno por la energía nuclear (etapa 0), el resto puede dividirse en tres categorías: etapa 1: países que han iniciado algunos estudios, etapa 2: países que están construyendo reactores nucleares, y etapa 3: países que ya poseen reactores en explotación. Esta clasificación se basa en un estudio más detallado presentado en el "Simposio internacional sobre necesidades y formación de personal para programas nucleoelectrónicos" (Ref. [1]).

Cuadro 2. Estados en desarrollo Miembros del OIEA

Afganistán	Líbano
Albania	Liberia
Arabia Saudita	Madagascar
Argelia	Malasia
Argentina	Malí
Bangladesh	Marruecos
Birmania	Mauricio
Bolivia	México
Brasil	Mongolia
Bulgaria	Nicaragua
Colombia	Níger
Costa de Marfil	Nigeria
Costa Rica	Pakistán
Cuba	Panamá
Checoslovaquia	Paraguay
Chile	Perú
Chipre	Polonia
Ecuador	Portugal
Egipto	Qatar
El Salvador	República Árabe Siria
Emiratos Árabes Unidos	República de Corea
Etiopía	República Dominicana
Filipinas	República Unida del Camerún
Gabón	República Unida de Tanzania
Ghana	Rumania
Grecia	Senegal
Guatemala	Sierra Leona
Haití	Singapur
Hungría	Sri Lanka
India	Sudán
Indonesia	Tailandia
Irán	Túnez
Iraq	Turquía
Islandia	Uganda
Jamahiriya Árabe Libia	Uruguay
Jamaica	Venezuela
Jordania	Viet Nam
Kampuchea Democrática	Yugoslavia
Kenya	Zaire
Kuwait	Zambia

Hasta la fecha se han organizado ya dos cursos de capacitación de esta naturaleza, celebrados ambos en el Centro de Estudios Nucleares de Saclay. El idioma de estos cursos fue el francés; uno de ellos duró nueve semanas (mayo—junio de 1978) y el otro siete (mayo—junio de 1979). Para este año se ha previsto un tercer curso, también en francés (12 de mayo a 27 de junio de 1980), y se está estudiando la celebración de un cuarto curso, en inglés, en el Centro de Estudios Nucleares de Karlsruhe (República Federal de Alemania).

Cuadro 3. Clasificación de los países según su etapa de evolución

Etapa 3: Explotación	Etapa 2: Construcción	Etapa 1: Estudios	Etapa 0: Planificación previa
Argentina India Pakistán República de Corea Taiwan	Brasil Filipinas México	Arabia Saudita Argelia Bangladesh Colombia Cuba Chile Ecuador Egipto Grecia Indonesia Irán Iraq Jamahiriya Arabe Libia Jamaica	Jordania Kuwait Malasia Marruecos Panamá Perú Portugal República Arabe Siria Singapur Sri Lanka Tailandia Turquía Uruguay Venezuela
Número de países 5	3	28	Otros países en desarrollo

Cuadro 4. Participantes en el curso de capacitación, por países de origen

Países	Número de participantes			Etapa de evolución nuclear del país	
	Sesión		Total	Etapa (véase Cuadro 3)	Año previsto de puesta en explotación de la energía nucleoeléctrica (hasta el año 2000)
	1978	1979			
Africa del Norte					
• Argelia	4	5	9	1	2000
• Marruecos	5	2	7	1	—
Oriente Medio					
• Egipto	2		2	1	1990
• Iraq	1		1	1	2000
• Líbano	1		1	0	—
• República Árabe Siria	1		1	1	—
Africa					
• Gabón		1	1	0	—
• Malí		1	1	0	—
América Latina					
• Argentina		1	1	3	En explotación
• Bolivia		1	1	0	—
• Brasil	1	5	6	2	1985
• Chile	1	1	2	1	1990
• Colombia	2		2	1	2000
• Guatemala		1	1	0	—
• México	2		2	2	1985
Lejano Oriente					
• Bangladesh	1		1	1	—
• Indonesia	1		1	1	1990
• República de Corea		3	3	3	En explotación
• Singapur	1		1	1	—
• Viet Nam		2	2	0	—
Europa Oriental					
• Bulgaria	3	2	5	3	En explotación
• Checoslovaquia	1	2	3	3	En explotación
• Hungría		1	1	2	1985
• Polonia	1	1	2	1	1990
• Rumania	2		2	1	1990
• Yugoslavia	1	1	2	2	1985
Total (26 países)	31	30	61		

A cada uno de los dos primeros cursos asistieron alrededor de 30 participantes procedentes de un total de 26 países en desarrollo (véase el Cuadro 4). El nivel de los participantes, tanto en lo concerniente a su formación académica como a su categoría profesional en sus países respectivos, fue en general muy elevado. Algunos ocupaban puestos de responsabilidad en la planificación energética, bien en comisiones nacionales o en compañías de electricidad.

El curso en sí se divide en dos partes, llamadas "módulos", de unas tres semanas de duración cada una (véase el programa detallado en el Anexo). Entre los dos módulos, se intercala un viaje de estudio de una semana a diversas empresas y centros de investigación.

La primera parte del curso se dedica a un análisis técnico de las diversas opciones energéticas. Los conferenciantes hacen primero una exposición de los recursos renovables y no renovables de energía, después de lo cual presentan un análisis comparativo de las diversas cadenas energéticas, es decir, del proceso de transformación desde la mina hasta el producto energético que requiere el consumidor final; esta parte del curso finaliza luego con un análisis de la utilización racional de la energía en diversos contextos económicos. Las cuestiones ecológicas y los aspectos relativos a la seguridad forman parte integrante de este programa. Al final de la primera parte del curso, dos o tres participantes presentan una descripción general de la situación energética existente en sus propios países, facilitando así la ocasión de proceder a la discusión de algunos casos concretos.

La segunda parte trata exclusivamente de las cuestiones económicas y de las técnicas de comparación de las opciones energéticas posibles. En esta parte, las conferencias empiezan por el examen de las relaciones entre crecimiento macroeconómico y necesidades energéticas, discutiéndose a continuación algunos casos pertinentes. En la medida de lo posible, estas exposiciones corren a cargo de los propios participantes y se discuten en mesa redonda. A continuación viene una serie de conferencias cuyo fin es la descripción y comparación de las técnicas y modelos econométricos que pueden utilizarse para efectuar previsiones en planificación energética. Esta segunda parte del curso finaliza con un examen de los aspectos financieros de las inversiones energéticas en los países en desarrollo. Las conferencias y mesas redondas a cargo de representantes del Banco Mundial han suscitado siempre gran interés.

El éxito del curso hasta la fecha se debe en gran medida a que los Estados Miembros han enviado siempre representantes de alto nivel, así como a la cooperación de otras organizaciones participantes: el Centro de las Naciones Unidas de Recursos Naturales, Energía y Transportes (CNURNET), el Banco Mundial (BIRF), la Agencia Internacional de la Energía (AIE/OCDE), el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIAAS) y, en particular, el Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Nucleares de Saclay (Francia).

Referencia

- [1] Csik B.J., "Manpower requirements for nuclear power in developing countries", IAEA-SM-238/42 (Actas de un Simposio celebrado en Viena en 1980), OIEA, Viena (1980) 11.

ANEXO: PROGRAMA DEL CURSO CELEBRADO DEL 14 DE MAYO AL 29 DE JUNIO DE 1979

PARTE I: UTILIZACION, GESTION Y MOVILIZACION DE LA ENERGIA (14 de mayo—1 de junio)

Descripción del curso (1 día).

Problemas generales de análisis energético.

A. Fuentes de energía (6 días)

1. Inventario de recursos

● Recursos no renovables

- Inventario mundial de recursos no renovables (carbón, petróleo, gas y combustible nuclear); distribución geográfica.
- Consumo, utilización de recursos no renovables; balance actual y perspectivas futuras.
- Recursos de interés regional: su importancia.

●● Recursos renovables

- Inventario de recursos renovables (energía hidroeléctrica, energía solar y biomasa, energía mareomotriz y eólica, etc.).
- Perspectivas comparadas de utilización de estos recursos; distribución geográfica.

●●● Mesa redonda: los recursos energéticos del mundo

2. Introducción a los aspectos técnicos de la explotación de los recursos energéticos

● Energía nuclear

- Principios de funcionamiento de los reactores.
- Consideraciones generales relativas a los diferentes tipos de centrales nucleares y al ciclo del combustible.
- Películas sobre reactores y uranio.
- Extracción, concentración y transformación de minerales.
- Enriquecimiento del uranio: técnicas, capacidad de producción y coste.
- Fabricación de elementos combustibles.
- Reelaboración, desechos y efluentes radiactivos.
- Selección del tipo y potencia de un reactor; adaptación a la red eléctrica existente; el caso particular de las centrales mixtas (electricidad y calor).
- Aspectos económicos de la energía nuclear: inversión, explotación y combustible.
- Etapas para la puesta en marcha de un programa nucleoelectrico.

●● Mesa redonda sobre energía nuclear y países en desarrollo

●●● Energía solar

- Consideraciones generales: estado actual de la energía solar y perspectivas de explotación; diferentes sistemas y problemas técnicos.
- Centrales solares y problemas técnicos relativos a las mismas.
- Aspectos económicos de la energía solar: inversiones y costos de explotación de los diferentes tipos de instalaciones.
- Estudio de casos concretos: energía solar y países en desarrollo.

B. Análisis comparativo de las diferentes fuentes explotables de energía (6 días)

1. Problemas técnicos y económicos que intervienen en la selección de un sistema energético: introducción

● Descripción e importancia relativa de los diversos constreñimientos técnicos y económicos inherentes a la explotación del carbón, petróleo, energía nuclear, solar, etc.

- Elaboración y reelaboración de los diferentes combustibles.
- Red de abastecimiento de combustible (por tuberías y transporte).
- Constreñimientos relativos a la elección del lugar de producción.
- Red de distribución de la energía.
- Distribución de los gastos de inversión y explotación.

●● Ejemplo: emplazamiento de una instalación nuclear

2. Factores a considerar en el desarrollo y explotación de las diferentes fuentes energéticas

● Entorno industrial y humano; industria local; capacitación de personal

●● Opinión pública

●●● Estudio de casos concretos: centrales nucleares, solares, hidráulicas y térmicas clásicas: gastos de inversión y de explotación

3. Análisis de diversos sistemas energéticos; energía primaria, energía secundaria, energía útil

● Carbón, petróleo

●● Energía solar

●●● Energía nuclear

●●●● Mesa redonda sobre los diversos sistemas energéticos

4. Efectos nocivos

● Introducción: protección y seguridad radiológicas

●● Seguridad: conceptos, principios y métodos

●●● Comparación de riesgos para diferentes programas energéticos

●●●● Seguridad nuclear: resumen de la situación y tendencias actuales; estudio de casos concretos: evaluación de riesgos

5. Mesa redonda sobre los riesgos del transporte de diversos combustibles: petróleo, carbón, combustible nuclear, etc.

C. Explotación racional de la energía (2 días)

1. Satisfacción de las diversas necesidades energéticas

● Necesidades energéticas: distribución e importancia relativa

●● Papel específico de la energía eléctrica

2. Estudio de casos concretos

● Países en desarrollo que ya poseen alguna experiencia nuclear (ejemplo: Brasil)

●● Países en desarrollo importadores de petróleo (ejemplo: Israel)

●●● Países en desarrollo que explotan la energía solar (ejemplo: Níger)

●●●● Mesa redonda sobre la PARTE I del curso

VIAJES DE ESTUDIOS (5—8 de junio)

5 de junio: Framatome: planta de Creusot; planta de Chalon-sur-Saône.

6 de junio: "Electricité de France": emplazamiento nuclear de Bugey.

7 de junio: Mañana: Eurodif: planta de enriquecimiento de uranio en construcción en el emplazamiento de Tricastin.
Tarde: Commissariat à l'Energie Atomique/Electricité de France: central nuclear de Marcoule (reactor reproductor rápido Phénix).

8 de junio: Commissariat à l'Energie Atomique (Centro de Investigaciones Nucleares de Cadarache): Laboratorios de investigaciones solares; instalaciones de ensayo de los departamentos de reactores refrigerados por agua y de reactores de neutrones rápidos.

PARTE II: ASPECTOS ECONOMICOS Y PLANIFICACION DE LA ENERGIA (11 a 29 de junio)

A. El problema de la energía y del desarrollo económico a nivel mundial: consideraciones generales (dos días)

1. Relación entre energía y crecimiento económico
2. Previsiones recientes en cuestión de energía: problemas actuales y futuros
3. Interdependencia entre países industrializados y países en desarrollo
4. Los problemas principales del desarrollo económico del Tercer Mundo
5. Problemas que plantea el desarrollo de la energía nuclear en el Tercer Mundo

B. El problema de la energía en los países en desarrollo (dos días)

1. Energía y países en desarrollo
2. Problemas relativos a los datos y previsiones en los países en desarrollo
3. Un caso concreto: Argelia
4. Otro caso concreto: Costa de Marfil

C. Exposición de algunas técnicas de previsión y de planificación (cinco días)

1. Un modelo global sencillo
 - Un modelo global elaborado por el IIAAS
 - Coloquio en grupos sobre la aplicación de este modelo a un caso concreto (basado en datos reales de un país) o a un caso imaginario
2. Consideraciones macroeconómicas
 - Sistemas de contabilidad nacional: conjuntos, matrices de entradas-salidas; ejercicios de aplicación
 - Balances energéticos en los países en desarrollo

3. ¿Pueden aplicarse en un país en desarrollo los métodos utilizados en los países industrializados?

● Un modelo de demanda y un modelo de oferta

— Análisis de la demanda energética: el modelo MEDEE.

— El gráfico representativo de fuentes y usos de energía; la utilización de las fuentes: el modelo EFOM.

●● Exposición de la situación francesa

— La planificación energética francesa: objetivos y métodos; presentación por parte de un experto planificador; debate entre a) un representante del Estado, b) un representante de compañía industrial, c) un representante sindicalista.

— Previsión del consumo de electricidad dentro del marco de la planificación general de la energía: debate entre representantes de un Ministerio (Direction de l'Electricité), una compañía de electricidad (Electricité de France) y l'Agence pour les Economies d'Energie de France.

●●● Discusión sobre las posibilidades de aplicación de los diferentes métodos a la situación de los países en desarrollo

— Nuevas reflexiones sobre la planificación en los países en desarrollo a la luz de los debates citados en las secciones 3) (●) y (●●).

D. El financiamiento de las inversiones (dos días)

1. Métodos utilizados como base de las decisiones de inversión

● La decisión de inversión: consideraciones generales

●● Métodos de actualización y ejemplos de aplicación

●●● Comentarios críticos de un banquero

●●●● Mesa redonda sobre financiamiento de inversiones

2. Análisis económico y financiero

● Directrices para el financiamiento privado: beneficio financiero y toma de decisiones

●● Financiamiento de las inversiones públicas: consideraciones económicas y financieras

●●● Fijación de precios: comparación de las técnicas basadas en el coste marginal con las basadas en el coste medio

E. Fuentes de financiamiento para los países en desarrollo (un día)

1. Principios, normas de conducta y criterios de:

● Los organismos internacionales, como el Banco Mundial (BIRF) y otros bancos internacionales de desarrollo

●● Las compañías privadas, representadas por un banquero

2. Estudios de actualización y de viabilidad; técnicas de evaluación

F. Un ejemplo concreto: el desarrollo de la electricidad en el Tercer Mundo (un día)

1. Papel de la electricidad en un país en desarrollo

● Optimización de la potencia instalada

— Método simplificado.

— Modelo WASP.

2. Aplicación a un país en desarrollo
3. Mesa redonda sobre el desarrollo de la electricidad en el Tercer Mundo

G. Conclusión (un día)

1. Geopolítica: abundancia o escasez; modelos de desarrollo: energía y productividad; energía y política económica; la decisión de importar; consecuencias; debate
2. Discusión final: las opciones para un país en desarrollo.