

REVISTA ENERGETICA

AÑO 8
4/84

Julio - Agosto/84
July - August/84



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

FACTIBILIDAD DEL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLES NUCLEARES PROVENIENTES DE NUCLEBRAS **olade** ON THE FEASIBILITY OF NUCLEAR FUEL SUPPLY BY NUCLEBRAS
olade LOS REACTORES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN EL ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA NUCLEOELECTRICO PARA EL PERU **olade**
SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY REACTORS AND THE NUCLEAR POWER PLANNING STUDY IN PERU **olade** ESTUDIO DE PLANIFICACION ELECTRICA EN EL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL CHILENO, INCLUYENDO ALTERNATIVAS NUCLEOELECTRICAS **olade** STUDY ON ELECTRIC POWER PLANNING IN CHILE'S CENTRAL INTERCONNECTED SYSTEM, INCLUDING NUCLEAR POWER ALTERNATIVES **olade** ASPECTOS DE LA IMPLANTACION DE CENTRALES NUCLEARES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN AMERICA LATINA **olade** ASPECTS OF THE IMPLANTATION OF SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY NUCLEAR POWER PLANTS IN LATIN AMERICA

ASPECTOS DE LA IMPLANTACION DE CENTRALES NUCLEARES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN AMERICA LATINA

S. Brito (Brasil)
J. Cosentino (Argentina)
J. Eibenschutz (México)
A. E. Gasparian (Brasil)
W. Lepecki (Brasil)
J. Spitalnik (Brasil)
ANS SECCION LATINOAMERICANA

1. INTRODUCCION

En 1965 se celebró en Mayagüez, Puerto Rico, la Conferencia Interamericana sobre Generación de Energía Nucleoeléctrica en la América Latina, auspiciada por la Organización de los Estados Americanos - OEA. En esa ocasión se analizaron aspectos técnicos y económicos de la generación nuclear, considerando las condiciones particulares de América Latina, y se debatieron las perspectivas de su utilización y los proyectos que ya estaban en estudio en diversos países latinoamericanos.

En esa época, en pruebas operacionales en Puerto Rico el reactor experimental BONUS de 17 MW, tipo BWR supercalentado, la Conferencia señaló las regiones del Gran Buenos Aires — litoral argentino — del sudeste de Brasil y del centro-sur de México como zonas de interés inmediato para la instalación de centrales nucleares. De estas centrales existían ya estudios previos a la construcción. También en esa oportunidad se tomó conocimiento de que se estaban llevando a cabo, en Chile y en el Perú, estudios de planeamiento y factibilidad.

Años después, se inició la construcción de las centrales Atucha, Angra y Laguna Verde, emplazadas en las tres regiones arriba indicadas y la crisis del petróleo parecía ampliar las perspectivas de utilización de energía nuclear en América Latina. En Brasil se llegó a prever una capacidad nuclear instalada de 75.000 MW para el año 2000 y en México 20.000 MW para el mismo año.

Estas perspectivas no se presentan hoy tan claras y los plazos establecidos para los programas nucleares, en elaboración o ejecución, se dilataron. Esta situación puede atribuirse principalmente a los factores siguientes:

- a) la repercusión de la crisis económica internacional sobre las economías nacionales, que frenó el crecimiento económico y redujo la disponibilidad de fondos destinados a inversiones;
- b) la intensificación de estudios de inventario de cuencas hidrográficas y la reevaluación del potencial hidroeléctrico;
- c) el aumento de los costos de emprendimientos nucleares a nivel mundial y la crisis de confianza en la tecnología nuclear;
- d) la tendencia internacional de optar por centrales de gran envergadura (900 a 1300 MW) y el escaso desarrollo industrial de reactores de pequeña y mediana potencia (más adecuados a la escala de los sistemas eléctricos existentes en la mayoría de los países latinoamericanos).

El panorama energético latinoamericano se caracteriza por un índice de crecimiento del consumo de electricidad menor que el registrado en el pasado (e inicialmente estimado para el futuro) y por la alta prioridad asignada a los programas hidroeléctricos.

A pesar de que muchos países mantienen actividades en el sector nuclear, a nivel de estudios preli-

minares, investigaciones básicas y preparación de personal, programas de implantación de centrales nucleares, sólo llegaron a ser puestos en ejecución en Argentina, Brasil, Cuba y México. (*)

En Argentina, la central Atucha 1, de 335 MW, está en funcionamiento desde 1974; la central Embalse de 600 MW, en inicio de operación y la de Atucha 2, de 692 MW, en construcción. Otras tres centrales de uranio natural y agua pesada, como las anteriores, con una capacidad del orden de 600-700 MW, deberán entrar en operación en los próximos veinte años. Simultáneamente, se está desarrollando un programa industrial en el área de fabricación de combustible nuclear y de producción de agua pesada, acompañado de un programa que tiene por objetivo la creciente capacitación del país en las áreas de proyecto, ingeniería y fabricación de componentes para centrales nucleares.

En Brasil, la central de Angra 1 (PWR, 626 MW) se encuentra en etapa de prueba final de puesta en marcha y se lleva adelante un programa en colaboración con Alemania desde 1975. Este programa en plena ejecución prevé la construcción de ocho centrales PWR, de 1245 MW, y la completa transferencia de tecnología en las áreas de ingeniería, proyecto y construcción de centrales, de fabricación de componentes y del ciclo de combustible. De las centrales previstas, dos están en construcción — Angra 2 y 3 — y dos con inicio previsto para 1985/6 — Iguape 1 y 2 — y las cuatro restantes deberán estar operando, de acuerdo a los planes actuales, hasta el año 2000.

En Cuba, se encuentra en construcción la Central Cienfuegos situada en Huragua. Consta de dos unidades PWR de 440 MW (tipo VVER) y su operación está prevista para 1987. Para la región de Holguín fue definida otra central idéntica.

La central nuclear de Laguna Verde en México, con dos unidades BWR de 654 MW, deberá colocar en operación la primera unidad en 1986 y la segunda en 1988. El nuevo plan energético nacional definió el objetivo de alcanzar 5000 MW nucleares antes de fin de siglo.

El cuadro a seguir resume la situación de estos cuatro países.

**CUADRO 1
AMERICA LATINA - CENTRALES
NUCLEARES EN DESARROLLO**

	En operación o construcción MW	Previstas MW	Total (año 2000) MW
Argentina	1600	1800	3400
Brasil	3100	7500	10600
Cuba	900	900	1800
México	1300	3700	5000
TOTAL:	6900	13900	20800

(*) La planta BONUS, en Puerto Rico, fue desactivada enseguida y fueron paralizados nuevos planos y proyectos.

Un segundo grupo está formado por países que, si bien otorgan prioridad a las centrales hidroeléctricas (o a otros recursos energéticos disponibles en el país, como carbón o energía geotérmica), entrevén la posibilidad de alcanzar el total aprovechamiento de su potencial energético en los próximos veinte años y, por tanto, han llevado adelante estudios con el propósito de definir la conveniencia y el momento de introducir la generación nuclear en sus sistemas. De este grupo forman parte Chile, Perú, Venezuela y Uruguay.

La alternativa nuclear ha sido analizada periódicamente en Chile durante los últimos veinte años. Según un reciente estudio realizado por la Comisión Nacional de Energía, el sistema admitirá, dentro de la previsión más probable de evolución del consumo, cerca de 1700 MW de complementación térmica en el año 2000 y 5100 en 2005. El análisis de los programas óptimos de expansión indicó que, a los precios actuales, podría preverse, para el período 2000/2005, una central nuclear de 1200 MW, complementada con centrales térmicas a carbón. Es evidente que, si los costos nucleares evolucionan favorablemente en los próximos años, particularmente el costo de una central de potencia mediana (400 a 600 MW), más conveniente a las dimensiones del sistema, será posible considerar un programa nuclear de mayor importancia.

Perú cuenta con importantes recursos hidroeléctricos pero su geografía accidentada, su hidrología desfavorable y además la necesidad de tomar en consideración los efectos sísmicos, hace que el aprovechamiento de este potencial exija extensos estudios preliminares, de los que resultará un ritmo lento de desarrollo y un costo relativamente elevado. En un horizonte de veinte años, podrá llegar a desarrollarse un uso más intensivo de complementación térmica, siendo alternativas la energía geotérmica, el carbón y el gas natural (contando el país con significativas reservas de estos recursos) y la energía nuclear. Teniendo en vista las dimensiones de los sistemas interconectados, en este caso sería preciso pensar en reactores de pequeña capacidad (200 a 400 MW).

El potencial hidroeléctrico de Uruguay es relativamente pequeño, en relación a las dimensiones del país y a sus futuras necesidades energéticas. Alrededor del año 2000 una parte ya significativa de la generación eléctrica dependerá de centrales termoeléctricas. Como el país no dispone de reservas importantes de combustibles fósiles, la alternativa nuclear se presenta como de gran interés — con tanto que se pueda — considerar, técnica y económicamente, la posibilidad de unidades de 200 a 400 MW.

En Venezuela, el potencial hidroeléctrico conocido también es insuficiente, cuando se considera un horizonte de planeamiento del orden de 20 a 30 años; las alternativas que se presentan como más evidentes para su complementación son el carbón nacional (cuyas reservas también no son muy significativas), el

petróleo pesado y la energía nuclear. Dependiendo de consideraciones estratégicas y de los costos relativos podría materializarse en el país un programa nuclear relativamente importante próximo al año 2000.

Observando el conjunto de estos países se puede concluir que existe un mercado potencial del orden de hasta 3000 MW instalados en el año 2000, y que podrá ser ocupado por la energía nuclear solamente en el caso de que haya una favorable evolución tecnológica, que se traduzca en costos más competitivos y en mayor confiabilidad técnica y comercial, especialmente para unidades de mediana y pequeña capacidad.

En los otros países latinoamericanos de disponibilidad de gran potencial hidroeléctrico a bajo costo, muchas veces vinculado a otros recursos naturales como carbón, o las reducidas dimensiones del sistema eléctrico, tornan poco probable la introducción de la energía nuclear en un futuro previsible.

Brasil y México han manifestado su preferencia por unidades de 1000 a 1300 MW como base de sus programas; Argentina y Cuba escogieron centrales de mediana potencia, de 400 a 700 MW.

La tendencia a preferir grandes unidades es internacional y se justifica por las economías de escala, mucho más considerables en las centrales nucleares que en las convencionales. Sin embargo, en los últimos años, una serie de evidencias permiten hasta cierto punto cuestionar esta argumentación: la menor confiabilidad operativa de algunas grandes centrales, la ampliación de los plazos de construcción y el aumento de los costos indirectos.

A este respecto, cabe mencionar que cualquier sistema eléctrico prefiere, por razones de confiabilidad, contar con unidades menores y solamente utiliza grandes unidades por las ventajas de economía de escala, lo que significa que, excepto por razones económicas, el mercado para pequeñas centrales nucleares no quedaría restringido a países con redes eléctricas de capacidad reducida, sino es en realidad el de todos los sistemas eléctricos de servicio público.

El concepto de un programa nuclear con centrales de pequeña capacidad en un sistema eléctrico importante, está siendo estudiado en México a partir de consideraciones de política nacional. Como México fue siempre autosuficiente en energía, existe en el país una gran preocupación por mantener esta situación. Esto significa que, a medida que la energía nucleoelectrica se incorpore al panorama energético mexicano, se deberá iniciar una industria nuclear nacional para capacitar al país tanto en ingeniería y fabricación de componentes, como en el ciclo del combustible, a fin de mantener el programa de electrificación identificado con el desarrollo global del país.

Con la reducción de los objetivos previstos en el

programa nuclear mexicano para el año 2000, una alternativa que podría resultar atractiva sería la construcción de un número mayor de unidades menores. Desde el punto de vista económico, esta alternativa tal vez sea factible siempre que se pueda contraponer al concepto de economía de escala los conceptos de normalización y fabricación padronizada de pequeñas centrales en fábrica o modulares, lo que llevaría a reducir los costos de fabricación y los costos indirectos asociados a la construcción (por la disminución de los plazos de instalación). Para que el concepto resulte viable es imprescindible que todas las plantas sean idénticas y que la política de los países y de las empresas públicas de electricidad, usuarias de las nucleoelectricas estandarizadas, sea similar a la que se aplica en el caso de las turbinas a gas o de los grupos generadores diesel, que se venden normalmente como un paquete.

Se puede afirmar que existe suficiente experiencia, tanto de diseño como de fabricación, para hacer posible la fabricación de nucleoelectricas en serie. Es evidente también que si las nucleoelectricas hechas en fábrica o modulares llegan a competir con las nucleoelectricas normales, o con otras fuentes de producción de electricidad, será gracias a una producción en gran escala. De ahí deriva la necesidad de considerar, desde el principio, al estudiar las posibilidades de este concepto, la existencia de mercados multinacionales.

Se abre así un campo amplio y promisor para la colaboración de los países de América Latina, entre sí y con países de fuera de la región, inclusive países tecnológicamente más avanzados para alcanzar con éxito estos cometidos.

2. INFRAESTRUCTURA EN TECNOLOGIA NUCLEAR

Antes de cualquier decisión de construir una central nuclear, por más pequeña que sea, el país tendrá que establecer las bases legales y organizacionales que le permitan dirigir los aspectos relacionados con la seguridad nuclear, tanto para los operadores de la instalación como para la población en general. La infraestructura resultante deberá ser de cuño puramente nacional, aunque quizá podría hasta admitirse que fuese regional, porque las responsabilidades inherentes a la seguridad y salud pública no pueden ser delegadas a instituciones foráneas.

A este respecto las responsabilidades que necesariamente deber ser ejercidas por las autoridades nacionales se relacionan sobre todo con:

- legislación nuclear;
- licenciamiento y regulación nuclear;
- garantía de calidad; y
- recursos humanos.

Legislación nuclear

Tendrá que ser preestablecido un marco jurídico que permita organizar las atribuciones y obligaciones de los usuarios de la energía nuclear, en el que serán delimitadas las responsabilidades de cada institución. Solamente así se podrá tener una idea precisa de las implicaciones técnico-económicas del proyecto en cada sector involucrado. Los aspectos de mayor relevancia a ser considerados son:

- institución de una autoridad nacional con competencia para regular y controlar la utilización de la energía nuclear en condiciones de seguridad;
- establecimiento de un cuerpo de leyes y principios que permitan ejecutar actividades nucleares sin riesgos excesivos para los trabajadores y el público en general;
- establecimiento de leyes relativas a la responsabilidad civil por daños nucleares.

De este modo, el país habrá establecido un conjunto de instrumentos que definirán conceptos de protección radiológica, seguridad nuclear, requisitos para operar centrales nucleares, indemnización y seguros por daños nucleares, así como la estructura y condiciones de actuación de la autoridad que reglamentará la aplicación de estos instrumentos.

Licenciamiento y regulación nuclear

La autoridad nuclear tendrá que otorgar licencias de construcción y operación para la central considerada. Para ello, basada en reglamentos, códigos, standards y guías preestablecidos, deberá asegurarse que la central no ofrecerá riesgos excesivos para la salud y seguridad del público y que el organismo licenciado tiene calificaciones técnico-financieras adecuadas para llevar el proyecto a buen término.

Un elemento de vital importancia para conceder la licencia de operación, es la existencia de operadores calificados, de acuerdo con un sistema de capacitación aprobado por la autoridad nuclear. No sólo los operadores deberán ser competentes y confiables sino también los propios examinadores que los evaluarán.

La regulación a ser aplicada en el proyecto deberá estar disponible desde las etapas de selección de locales para la planta y de preparación de especificaciones. Podrá, evidentemente, estar inspirada en modelos extranjeros, pero deberá ser adaptada a las características y condiciones locales. Todo el conjunto de reglas, códigos técnicos, guías de aplicación práctica y standards permitirán definir el marco técnico legal al cual deberán ajustarse las ofertas y en el que serán realizados los diversos ensayos físico-técnico de materiales y sistemas de la central para aprobar su licencia de operación. De este modo, la autoridad reguladora podrá asegurarse que el proyecto y los pro-

cedimientos operacionales de la central se ajustarán a las condiciones predeterminadas de máxima seguridad, de prevención de accidentes y de disminución de sus efectos a niveles aceptables. En esta categoría entran los reglamentos de protección radiológica, de administración y transporte de desechos radiactivos, de control ambiental, de seguridad física, de salvaguardias, etc.

La autoridad nuclear deberá entonces estar dotada de un cuerpo de técnicos e ingenieros que establezca estos reglamentos, que analice las características de las propuestas y que recomiende la concesión de las respectivas licencias. Además, deberá estar en condiciones de inspeccionar la obra y equipos, en las diversas etapas de construcción e instalación para verificar su conformidad con las especificaciones y el proyecto.

Garantía de calidad (GC)

Para asegurar que la introducción de una tecnología sofisticada, como la nuclear, se hace de forma segura y confiable, deberá existir un sistema de garantía de calidad. A través de este sistema, los participantes del proyecto estarán obligados a planificar, realizar, verificar y documentar su trabajo en forma sistemática y coherente.

Las actividades englobadas por el sistema de GC son:

- planificación, administración y documentación de las diversas etapas del proyecto para asegurar que están siendo correctamente ejecutadas.
- control y medición de las características de elementos, sistemas o instalaciones para verificar que cumplen con las especificaciones y requisitos de fabricación y funcionamiento.

En el primer grupo de actividades se incluyen las de formulación del programa de GC, coordinación del mismo, aprobación de procedimientos, realización de auditorías de GC, etc. El segundo grupo de actividades, llamado también de Control de Calidad (CC), incluye las actividades de inspección, ensayos destructivos y no destructivos, y examen y supervisión de las diversas partes del proyecto.

Las actividades de GC y CC existen ya en las fases anteriores al contrato de la central, como parte de la confección de especificaciones.

Los procedimientos y requisitos de GC se encontrarán en los reglamentos nacionales referentes a la seguridad de instalaciones nucleares.

La organización directamente responsable por el sistema de GC es normalmente la propietaria de la central. Esta podrá derivar partes específicas de sus responsabilidades al fabricante de la central, a em-

presas especializadas o a subcontratistas. Debe ser destacado que todo programa de GC incluye a los que ejecutan y a los que verifican. La verificación de conformidad con los requisitos preestablecidos, deberá ser realizada por inspectores que no pertenezcan al grupo responsable por la ejecución del trabajo, para evitar situaciones de conflicto de intereses. Muchas veces, para esto, son creadas empresas de inspectores independientes.

Recursos humanos

Uno de los elementos más críticos para viabilizar un programa de elevado contenido tecnológico, como el nuclear, es la disponibilidad de recursos humanos con la suficiente capacitación y competencia. No se pueden importar grandes cantidades de ingenieros, técnicos y operarios para llevar a cabo la construcción de una central nuclear. Estos recursos deben ser preparados con los niveles de conocimientos y habilidades requeridas por la industria nuclear, con la debida antelación.

Las características propias de la industria nuclear exigen grados de capacitación muy superiores a los que se encuentran en otro tipo de industrias. Esto está ligado a la necesidad de productos con altos niveles de calidad, para que no fallen durante períodos prolongados, ya que su sustitución o arreglo es sumamente difícil.

La mano de obra local podrá tener una participación importante, no sólo en las tareas anteriormente descritas de legislación, licenciamiento, regulación y garantía de calidad, sino también en actividades tales como:

- análisis de locales para la central;
- especificaciones de la central;
- análisis y negociación de propuestas;
- preparación del local de la central;
- construcción de la central;
- instalación de equipos y comisionamiento;
- operación y manutención de la central;
- administración del combustible de la central.

La preparación y capacitación de esa mano de obra será fundamental para proveer los recursos humanos necesarios al programa nuclear. Por lo tanto, no debe ser subestimada la importancia de la base educativa del país en los sectores más ligados a la tecnología nuclear. Institutos universitarios de ingeniería, escuelas técnicas y vocacionales, centros de investigaciones nucleares, son organismos que el país deberá fomentar y apoyar, con suficiente anteceden-

cia, para que esa mano de obra pueda ser preparada con la capacitación necesaria, sin lo que cualquier proyecto de central nuclear estará sujeta a una inviabilidad técnica y económica.

3. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

En países en desarrollo, el tema de la energía nuclear está vinculado estrechamente al de transferencia de tecnología. Por esto, al abordar la cuestión de la implantación de centrales de pequeña y mediana potencia en América Latina, es preciso hacer algunas consideraciones al respecto de la transferencia de tecnología, del país proveedor al país receptor de la central.

El objetivo final — a largo plazo — de esta transferencia, es el de situar al país receptor en el mismo nivel de capacitación tecnológica que el del país proveedor, en el campo considerado de conocimiento. De esto se infiere que la transferencia supone la existencia de cuadros técnicos con posibilidad de aplicar, en forma constante, los conocimientos alcanzados.

La falta de ejercicio de estos conocimientos hará que se pierdan con el tiempo. En la década del cincuenta, cuando la energía nuclear en América Latina daba sus primeros pasos, se dieron varios casos de individuos formados, e inclusive cuadros completos, que perdieron la tecnología adquirida por no tener oportunidad de hacer uso de sus conocimientos. Esta situación ocasionó un desgaste material y humano que podría haberse evitado mediante una mejor planificación en el sector nuclear.

En la actualidad, el éxito de la transferencia de tecnología nuclear, en países como Brasil y Argentina, reside principalmente en una correcta planificación a largo plazo, con su consiguiente implementación. Esta planificación combina la transferencia de tecnología con un programa nuclear que ofrece un permanente campo de aplicación de la tecnología transferida.

Dicha planificación, a su vez, debe ser implementada coherentemente, demandando esfuerzos a largo plazo. Solamente así los cuadros técnicos, que tienen como misión absorber y consolidar la tecnología, podrán ser dimensionados correctamente.

Así, al hablar de la implantación de un reactor de pequeña o mediana potencia, es conveniente colocarla siempre en el contexto de un programa a largo plazo, aun cuando éste estuviese esbozado en líneas generales, a fin de situar los objetivos de la transferencia de tecnología dentro de una perspectiva lo más amplia posible.

En el caso de un programa nuclear con varias centrales, la participación en gran escala de la industria local debe ser planificada con antelación, para permitir la negociación de los diversos contratos de transferencia de tecnología en bases ventajosas y rea-

listas. Debe ser destacado que la tecnología nuclear está muy controlada internacionalmente por razones de proliferación nuclear y que, por lo tanto, el país deberá estar muy bien preparado para tener éxito en sus negociaciones contractuales.

Un tal programa idealmente debería prever la construcción de una serie de centrales. Pero aún en el caso de una única central, mucho puede hacerse en lo que respecta a la transferencia de tecnología. Tomemos así el caso hipotético de un programa nuclear que considere la implantación de una única central, sin previsión de otra en un futuro previsible (que sería el modelo más realista para diversos mercados potenciales de centrales pequeñas y medianas). En este caso, observamos que inclusive este programa ya permite un cierto grado de transferencia de tecnología y exige una capacitación mínima de cuadros técnicos, una vez que este tipo de emprendimiento demanda muchos años para su implantación (cerca de 10 años), y operación (aproximadamente 30 años). Estos plazos ofrecen, por consiguiente, un mercado de trabajo razonable para ciertas categorías profesionales. No obstante, se debe tomar mucho cuidado al organizar los cuadros, para evitar que permanezcan ociosos.

Las siguientes áreas podrán ser consideradas para realizar programas de transferencia de tecnología.

— **Garantía de calidad**

Como fue indicado anteriormente, es imprescindible para el éxito del emprendimiento formar cuadros técnicos capaces de organizar la sistemática de la garantía de calidad en todas las etapas del proyecto, inclusive en la de operación. Puede ser citado el caso de Brasil donde la participación nacional, en diversos sectores industriales, fue posible por una implantación anticipada de sistemas de garantía de calidad. En el caso de no estar programada la construcción de otras centrales, hipótesis aquí analizada, los cuadros profesionales formados pueden ser reaprovechados fácilmente en otros ramos de la industria una vez concluido el proyecto.

— **Dirección de proyecto**

La construcción de una central nuclear es un emprendimiento complejo que requiere la aplicación de las mejores técnicas de gerencia. Esta gerencia no puede llevarse a cabo con éxito sin contar con una significativa participación local que incorpore elementos conocedores de los métodos de trabajo-administrativos, comerciales, legales y técnicos-peculiares al propio país. A su vez, los gerentes locales pueden aprender las metodologías que son propias al área nuclear. La transferencia de tecnología en este campo es así de aplicación inmediata.

— **Ingeniería de proyecto**

La transferencia de tecnología en el campo de in-

geniería de proyecto es la más significativa pues permite adquirir la capacitación técnica necesaria para elaborar, en el futuro, proyectos en forma independiente.

En el caso de un programa que contemple una central única, la formación de cuadros técnicos de proyecto exigiría grandes inversiones que no se justifican si se piensa que, una vez concluido el proyecto de la central en cuestión, estos cuadros no serían aprovechados nuevamente. Por este motivo, es más racional limitar la transferencia de tecnología a aquellas actividades de ingeniería en las que el país ya tiene suficiente competencia.

— **Construcción civil/montaje electromecánico**

La construcción civil de centrales nucleares debe cumplir requisitos específicos. Por ello, es aconsejable que la construcción esté a cargo de firmas locales asociadas a firmas con experiencia en centrales, a través de contratos de asistencia técnica. El mismo modelo puede aplicarse al montaje electromecánico, aunque aquí la participación del proveedor de tecnología tenga que ser más intensiva y a veces dominante (por ejemplo: en el montaje del circuito primario).

— **Fabricación de componentes**

La participación de la industria en mayor o menor escala está condicionada, esencialmente, a la rentabilidad económica de las inversiones en equipos, tecnología y recursos humanos necesarios para la fabricación de componentes nucleares. Esto depende, en última instancia, de la existencia de un mercado que justifique estas inversiones. A título de ejemplo, la experiencia brasileña mostró que solamente la construcción de una serie de centrales aseguraría a los diversos sectores el mercado necesario para viabilizar una participación importante de las industrias locales.

En este caso, un programa de transferencia de tecnología en el área de fabricación de componentes resulta compensador.

— **Operación y mantenimiento**

Puesto que una central debe operar de manera segura y confiable, durante un período prolongado —varias décadas— la transferencia de tecnología de operación y mantenimiento es de primordial importancia. El accidente de TMI evidenció, en forma dramática, que inclusive países desarrollados no habían dedicado la suficiente atención a este sector.

En la actualidad, luego de 30 años de actividad del sector nuclear en América Latina, es posible realizar una transferencia de tecnología entre los propios países latinoamericanos, con la gran ventaja, para los países receptores, de la mayor afe-

nidad cultural y tecnológica con los países proveedores.

4. INDUSTRIA NUCLEAR LATINOAMERICANA

La designación Industria Nuclear comprende actividades de ingeniería y arquitectura, construcción civil, montaje electromecánico, fabricación y suministro de materiales y equipos.

Es auspicioso constatar que la industria nuclear en América Latina, a lo largo de los últimos quince años de constante desarrollo, alcanzó un grado de madurez que permite la construcción de centrales nucleares con recursos propios, haciendo cada vez menos uso de la importación de equipos y servicios de países del primer mundo. Este desarrollo se dió inicialmente a través del suministro de servicios y equipos principalmente para, el ciclo secundario para, posteriormente, alcanzar la capacidad de efectuar suministros destinados a la isla nuclear.

Existen hoy tres plantas nucleares en operación en América Latina y siete más están en construcción en Argentina, Brasil, Cuba y México. De estas diez, ocho pueden ser consideradas de mediana potencia (inferior a 700 MW). Cada uno de los países citados recorrió su propio camino, pero todos coincidieron en la preocupación por la transferencia de tecnología y por el desarrollo de una industria nacional. Se dispone hoy, en estos países de un cierto grado de tecnología nuclear en diferentes modalidades tecnológicas:

reactores a uranio natural y reactores a uranio enriquecido de agua a presión y de agua hirviendo.

En Argentina, hubo una importante evolución con relación a transferencia de tecnología entre la primera y la segunda central nuclear. En el caso de Atucha 1, primera central nuclear del país, con contrato llave en mano, la transferencia de tecnología fue relativamente reducida, tanto en ingeniería básica como de detalle. Para el caso de la Central Embalse, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) dió énfasis a estas actividades de ingeniería, sin descuidar de la participación de la industria argentina de fabricación. Los elementos más significativos construidos en Argentina, para embalse fueron las bombas de moderador, las bombas de refrigeración de parada, la plataforma portante de los mecanismos de control de reactor, las esclusas de aire, la grúa de 380 toneladas para la sala de máquinas, válvulas de 2,000 mm. de diámetro, puertas de blindaje para la sala de mantenimiento de las piletas de combustible irradiado, instrumentación convencional, etc. Merece también destaque la ejecución, por firmas argentinas, de las obras civiles y del montaje electromecánico en esa central. Se estima que la participación nacional en Atucha 2 será todavía más importante: ya se están fabricando en Argentina, los generadores de vapor, el presurizador y los enfriadores del moderador, además de gran parte del equipamiento convencional. El cuadro a seguir indica el porcentaje de integración nacional en distintas realizaciones del proyecto nucleoelectrico argentino.

CUADRO 2
PORCENTAJE DE INTEGRACION NACIONAL
EN LAS DISTINTAS REALIZACIONES DE
PROGRAMA NUCLEOELECTRICO

		COSTOS DIRECTOS DE LA CENTRAL	OTROS GASTOS DEL PROPIETARIO	PRIMER NUCLEO INICIAL DE AGUA PESADA
ATUCHA 1	Según Valores (1) Contractuales	36.78	41.96	37.72
EMBALSE		51.15	56.04	49.02
ATUCHA 2		54.70	58.88	63.03
IV CENTRAL PLAN NUCLEAR	Hipótesis CANDU	77.34	79.60	82.15
	Hipótesis Rec. Presión.	73.28	75.48	77.96

(1) Esta metodología se considera más representativa.

FUENTE: Central Nuclear de Embalse, por Jorge O. Cosentino y Bernardo Murmis, Informe de la Sección Latinoamericana de la ANS, IX 1983.

A estos suministros fabricados por la industria local se suman otros, también en el área nuclear, tales como el recipiente del reactor nuclear experimental RA-6 del Centro Atómico Bariloche y el recipiente del acelerador de iones pesados 20UD para el Centro Atómico Constituyentes.

Firmas argentinas participan, además, en el programa nuclear peruano con servicios de ingeniería de detalle, suministro, construcción, montaje, conducción de obra y puesta en marcha del Reactor RP-10 y de los sistemas de refrigeración primario y secundario, así como en el montaje de los sistemas auxiliares del mismo, constituyendo un caso importante de cooperación latinoamericana.

En el caso brasileño, ya la primera central contó con una participación importante de la ingeniería brasileña, del orden de 50%. La construcción civil y el montaje, estuvieron a cargo de firmas brasileñas y aproximadamente 10% de los equipos de la planta fueron suministrados por la industria nacional. En la Central de Angra 2 la participación de la industria brasileña será mucho más significativa. El acuerdo Brasil-Alemania establece que para las centrales de Angra 2 y 3 la participación mínima de la industria brasileña en los suministros de equipos debe ser de 30%, porcentaje que aumentará en las próximas centrales. Este límite, establecido por contrato en 1976, ya está siendo superado en Angra 2. Cabe señalar que a pesar de que para Angra 2 la participación de la industria brasileña debía restringirse a equipos no nucleares, en este momento, Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. — Nuclep está fabricando en Brasil los condensadores y los acumuladores para Angra 2 y 3, y el presurizador para Angra 3. Para Iguape 1 y 2 están en fabricación todos los equipos pesados, incluyendo el recipiente de presión del reactor y los generadores de vapor.

Empresas privadas brasileñas también están participando en el suministro de equipos nucleares para Angra 2, suministrando recipientes de presión, intercambiadores de calor, bombas, tuberías y accesorios, sistemas de ventilación y de aire acondicionado, y el recipiente de contención, además de la ingeniería de detalle. Esta participación en el emprendimiento de Angra 2 elevó sobremanera la capacitación técnica y gerencial de firmas brasileñas que actúan en áreas de tecnología avanzada, tales como cálculo y proyecto de componentes nucleares considerando cargas dinámicas, cálculo sísmico de estructuras, generación de "floor response spectra" de edificios, etc.

En noviembre de 1983, Nuclep terminó la fabricación de la parte inferior del recipiente de presión del reactor de la Central Nuclear Atucha 2. Argentina suministra también a Brasil componentes de centrales nucleares, específicamente, tubos de zircaloy para los elementos combustibles. Son ejemplos prácticos de una activa cooperación regional entre las industrias nucleares de ambos países.

Con relación a México, no existe en la actualidad intención de fabricar componentes para sus centrales nucleares. México ha actuado en el sentido de optimizar la participación de empresas mexicanas de ingeniería en ciertas etapas de la construcción de la central. Sin embargo a medida que el programa nuclear mexicano va tomando impulso, su industria podrá iniciar el suministro de equipos, gracias entre otras cosas, a la capacidad de su industria metalmeccánica, desarrollada durante la época de crecimiento acelerado del país en el período 1979/1981.

La industria nuclear latinoamericana, considerándose aquí a la industria nuclear en su sentido más amplio (ingeniería, construcción, fabricación, etc), ya está bastante desarrollada y puede dar una importante contribución a nivel regional aunque no llegue a la autosuficiencia a corto plazo.

Por lo tanto, al imaginar la implantación de una central nuclear con reactores de pequeña o mediana potencia en América Latina — incluyendo aquí centrales de hasta 700 MWe — cabe pensar en aplicar mecanismos de cooperación regional. Hoy en día, cualquier país latinoamericano que pretenda instalar una central nuclear deberá evaluar inicialmente las condiciones que ofrece su industria nacional, para buscar a posteriori una complementación, preferentemente, en la industria existente en la región.



NOTAS BIBLIOGRAFICAS

1. **COOPERACION INTERNACIONAL PARA EL USO RACIONAL DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA: SEMINARIO DE LIMA**

Organización Latinoamericana de Energía, Agencia Internacional de la Energía. Paris: AIE, 1983. 760 pp: il; 26 cms; imp; esp; ing. Serie D-PLACE-6

Contiene los trabajos presentados al Seminario sobre Uso Racional de la Energía en la Industria que se llevó a cabo en Lima, Perú, del 4 al 8 de julio de 1983 con la participación de expositores de gran relevancia en el sector energético, tanto regional como internacional.

2. **LEGISLACION DE HIDROCARBUROS EN AMERICA LATINA**

Organización Latinoamericana de Energía. Quito: OLADE, 1984. 3v. ca. 1715 pp; 21 cms; imp; esp. Serie D-PLACE-11

Contiene una recopilación de la legislación de hidrocarburos, vigente en los países de América Latina. Esta recopilación comprende las normas sustantivas que rigen las actividades de la industria hidrocarburífera en la Región.

La publicación comprende 3 volúmenes: 1) Legislación de hidrocarburos, 2) Contratos de servicios, y 3) Estatutos de las empresas.

3. **BALANCE ENERGETICO 1970-1982**

Organización Latinoamericana de Energía. Quito: OLADE, 1984. 420 pp; 28 cms, imp; esp; ing. Serie D-PLACE-12

Presenta los balances energéticos de 23 países miembros de OLADE y Argentina, elaborados con la metodología de OLADE a la cual se le realizan algunos cambios. El balance energético de OLADE muestra un flujo de información estructurado dentro de los siguientes componentes: energía primaria, energía secundaria, centros de transformación y consumo final.

4. **GUIA DE DISEÑO, HABILITACION Y OPERACION DE UN LABORATORIO MOVIL PARA CLIMATOLOGIA EOLICA**

Organización Latinoamericana de Energía. Quito: OLADE, 1984. 200 pp: il; 28 cms; imp; esp. Serie D-PLACE-13

Presenta una guía metodológica para la habilitación y operación de laboratorios móviles en la evaluación de los recursos eólicos dirigida a los países en desarrollo.

5. **SITUACION ENERGETICA 1983**

Organización Latinoamericana de Energía. Quito: OLADE, 1984. 301 pp: il; 28 cms; xer; esp; ing. Serie D-PLACE-16

En su primera parte analiza la situación energética regional e internacional, presentando su estructura energética.

La segunda parte se enfoca hacia la producción y consumo de energía comercial, haciendo un completo análisis por cada tipo de energía.

La tercera y última parte presenta el mercado energético regional, antecedentes y perspectivas energéticas de América Latina (1980-1990).

* Todas estas publicaciones pueden adquirirse en:

Departamento de Información y Relaciones Públicas
Organización Latinoamericana de Energía OLADE
Casilla 6413 CCI
Quito, Ecuador

BIBLIOGRAPHIC NOTES

1. INTERNATIONAL COOPERATION FOR RATIONAL USE OF ENERGY IN INDUSTRY: THE LIMA SEMINAR

Latin American Energy Organization, International Energy Agency. Paris: IEA, 1983. 654 pp; il; 26 cms.; Spanish/English. D-PLACE Document Series: N° 6.

This publication contains papers presented at the Seminar on Rational Use of Energy in Industry, which was held in Lima, Peru during July 4-8, 1983, with the participation of speakers of renown in the energy sector, both at the regional and international levels.

2. HYDROCARBON LEGISLATION IN LATIN AMERICA

Latin American Energy Organization. Quito: OLADE, 1984, 3 vol., 1715 pp; 21 cms; Spanish. D-PLACE Document Series: N° 11.

This publication compiles hydrocarbon laws in force in the countries of Latin America and includes the substantive norms that govern the activities of the region's petroleum industries.

It is comprised of 3 volumes: 1) Hydrocarbon legislation, 2) Service contracts, and 3) State oil company by-laws.

3. ENERGY BALANCES 1970-1982

Latin American Energy Organization. Quito: OLADE, 1984. 420 pp; 28 cms; Spanish/English. D-PLACE Document Series: N° 12.

This publication presents the energy balances of 23 OLADE member countries plus Argentina, as elaborated according to the OLADE methodology with some slight changes. The OLADE energy balances show a structured information flow within the following components: primary energy, secondary energy, transformation centers and final consumption.

4. GUIDE FOR THE DESIGN, IMPLEMENTATION AND OPERATION OF A MOBILE WIND CLIMATOLOGY LABORATORY

Latin American Energy Organization. Quito: OLADE, 1984: 200 pp; il; 28 cms. Spanish. D-PLACE Document Series: N° 13.

Geared to developing countries, this publication offers a methodology guide for the implementation and operation of mobile laboratories in the assessment of wind resources.

5. THE 1983 ENERGY SITUATION

Latin American Energy Organization. Quito: OLADE, 1984. 301 pp. il; 28 cms., Spanish/English. D-PLACE Document Series: N° 16.

The first part of this publication analyzes the regional and international energy situations and indicates energy structures.

The second part focuses on the production and consumption of commercial energy, with a complete analysis by type of energy.

The third and last part discusses the regional energy market, its background and the energy outlook for Latin America (1980-1990).

* All of these publications are available from:

Department of Information and Public Relations
Latin American Energy Organization (OLADE)
P. O. Box 6413 C.C.I.
Quito, Ecuador

ASPECTS OF THE IMPLANTATION OF SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY NUCLEAR POWER PLANTS IN LATIN AMERICA

S. Brito (Brazil)
J. Cosentino (Argentina)
J. Eidenshutz (Mexico)
A. E. Gasparian (Brazil)
W. Lepcki (Brazil)
J. Spitalnik (Brazil)

LATIN AMERICAN SECTION ANS

1. INTRODUCTION

In 1965 the Inter-American Conference on Nuclear Power Generation in Latin America was held in Mayaguez, Puerto Rico, under the auspices of the Organization of American States (OAS). On that occasion technical and economic aspects of nuclear power generation were analyzed considering the particular conditions of Latin America, and debates were held on the prospects for its use and on the projects already under study in several countries of the region.

Back then, during Puerto Rico's operational testing of the experimental 17-MW Bonus reactor, of the superheated BWR type, the Conference cited the regions of Greater Buenos Aires, the Argentine coast, southeastern Brazil and the central/southern area of Mexico as areas of immediate interest for the installation of nuclear power stations. Pre-construction studies already existed on these plants, and planning and feasibility studies were in progress in Chile and Peru.

Years later, construction got underway on the plants of Atucha, Angra, and Laguna Verde, located in the three above-mentioned regions; and the oil crisis seemed to broaden the prospects for the use of nuclear energy in Latin America. An installed nuclear capacity of 75,000 MW was anticipated in Brazil for the year 2000; and of 20,000 MW in Mexico for the same year.

This outlook is not so clear today, and the deadlines set for the nuclear programs under study or execution have had to be extended. This situation can mainly be attributed to the following factors:

- a) the repercussions of the international economic crisis on national economies, slowing down the economic growth rate and reducing the availability of funds earmarked for investment.
- b) the intensification of studies to inventory hydrographic basins and reassess the hydropower potential.
- c) the increase in cost of nuclear power ventures at the world level and the crisis in confidence in nuclear technology.
- d) the international trend to opt for large-scale stations (900 to 1300 MW) and the slight development of small - and medium - capacity reactors (which are more suitable for the scale of electric power systems existing in most of the Latin American countries).

The present-day Latin American energy panorama is characterized by a growth index for electricity consumption lower than that registered in the past (and lower than that initially estimated for the future), and by a high priority for hydropower programs.

Despite the fact that many countries carry on activities in the nuclear sector, at the level of preliminary



studies, basic research and personnel training programs to implement nuclear power plants have only been started up in Argentina, Brazil, Cuba and Mexico.*

In Argentina, the 335-MW Atucha I plant has been operating since 1974; the 600-MW Embalse plant is about to go onstream; and the 692-MW Atucha II plant is under construction. Another three natural-uranium, heavy-water plants (like the first three), with a capacity on the order of 600 -700 MW, should enter into operation within the next 20 years. Simultaneously, an industrial program is being developed in the area of nuclear fuel manufacturing and heavy water production, alongside a program aimed at higher levels of training in the country in the areas of project planning, engineering, and manufacture of components for nuclear power plants.

In Brazil, the Angra I plant (PWR, 626 MW) is now in the stage of final testing prior to start-up; and a program has been underway, in collaboration with Germany, since 1975. In full swing, this program foresees construction of eight PWR plants, of 1245 MW, and complete transfer of technology in the areas of engineering, project planning, plant construction, and component and fuel-cycle manufacturing. Of the anticipated plants, two are under construction (Angra 2 and 3) and two are expected to begin in 1985-86 (Iguape 1 and 2); according to current plans, the remaining four should be operating by the year 2000.

In Cuba the Cienfuegos plant, located in Huragua, is under construction. It is composed of two 440-MW PWR units (of the VVER type), and is expected to be operational by 1987. Another, identical plant has been programmed.

The nuclear plant of Laguna Verde in Mexico, with two 654-MW BWR units, should put a first unit onstream by 1986 and a second by 1988. The new national energy plan defined the goal as 500 nuclear MW by the turn of the century.

The following chart summarizes the situation of these four countries.

CHART 1
LATIN AMERICA: NUCLEAR POWER PLANTS UNDER DEVELOPMENT

	IN OPERATION OR UNDER CONSTRUCTION	MW ANTICIPATED	TOTAL MW (YEAR 2000)
ARGENTINA	1600	1800	3400
BRAZIL	3100	7500	10600
CUBA	900	900	1800
MEXICO	1300	3700	5000
TOTAL	6900	13900	20800

* The Bonus plant in Puerto Rico was deactivated almost immediately and new plans and projects came to a standstill.

A second group is comprised by countries which, while they grant priority to hydroelectric plants (or to other energy resources available in the country, such as coal or geothermal energy), expect to be making full use of their energy potential within the next 20 years and are therefore carrying out studies for the purpose of defining the convenience and timeliness of introducing nuclear power generation into their systems. In this group figure Chile, Peru, Venezuela and Uruguay.

The nuclear alternative has been analyzed periodically in Chile over the last 20 years. According to a recent study done by the National Energy Commission, within the most likely forecast of consumption evolution, the system will admit nearly 1700 MW of thermal complementation in the year 2000 and 5100 MW in the year 2005. The analysis of optimal programs for expansion has indicated that, at current prices, for the period 2000-2005, a 1200-MW nuclear power plant can be foreseen, complemented by coal-based thermoelectric plants. It is evident that if nuclear power costs evolve favorably in coming years, particularly the costs of medium-capacity plants (400-600 MW), which would be more suited to overall system dimensions, it would be possible to consider a broader nuclear program.

Peru has important hydroelectric resources; however, its rough terrains, unfavorable hydrology and the need to consider seismic effects makes the development and use of this potential call for extensive preliminary studies, giving rise to a slow pace of development and relatively high costs. Over a 20-year period, a more intensive use of thermal complementation could be developed, the alternatives being geothermal, coal and natural gas since the country has significant reserves of these resources, in addition to nuclear energy. Keeping in mind the dimensions of interconnected systems, in this case it would be necessary to think in terms of small - capacity reactors (200 - 400 MW).

The hydroelectric potential of Uruguay is relatively small in comparison with the size of the country and its future energy needs. Around the year 2000, an already significant part of electric power generation will depend on thermoelectric plants. Since the country does not have important amounts of fossil fuels, the nuclear alternative arouses great interest; and technically and economically speaking, the possibility of 200-to-400-MW units can be considered.

In Venezuela, the known hydroelectric potential is also insufficient from the standpoint of a planning period of 20 to 30 years; the alternatives that emerge as the most evident for complementation purposes are national coal (the reserves of which are not very significant either), heavy oils, and nuclear energy. Depending on strategy considerations and relative costs, a nuclear program of relative importance could emerge in the country close to the year 2000.



Observing this group of countries, it can be concluded that there is a potential market on the order of up to 3000 installed MW for the year 2000, but that nuclear energy could only corner this market in the event there were favorable technological evolution translating into more competitive costs and greater technical and commercial reliability, especially for small - and medium - capacity units.

In the other Latin American countries where a large hydroelectric potential is available at low costs-- and many times associated with other natural resources such as coal or small electric power systems -- the introduction of nuclear power is not very likely in the foreseeable future.

Brazil and Mexico have expressed their preference for units of 1000 to 1300 MW as the basis for their programs; Argentina and Cuba have chosen medium-capacity plants of 400 to 700 MW.

The tendency to prefer large units is international, and can be justified by economies of scale much more considerable in nuclear power plants than in conventional ones. However, in recent years, a series of evidence has made it possible to question this argument to a certain extent: the lower the operational reliability of some large plants, the longer the construction times and the higher the indirect costs.

In this regard, it should be mentioned that any electric power system, for reasons of reliability, prefers to have smaller units and to use large units only because of the advantages of economy of scale; this means that, except for economic reasons, the market for small nuclear power plants would not be restricted to countries with small-capacity electrical grids, but rather would actually include all public service utilities.

The concept of a nuclear program with small-capacity plants in a sizeable electric power system is being studied in Mexico in the light of national policy considerations. Since Mexico has always been energy self-sufficient, the country is very concerned about maintaining this situation. This means that, to the degree that nuclear power is incorporated into Mexico's energy picture, a national nuclear industry must be undertaken in order to train the country in the areas of engineering and manufacturing of components and fuel cycles, thereby keeping the electrification program identified with the country's overall development.

With the reduction in the goals of the Mexican nuclear program for the year 2000, one alternative that could prove attractive would be the construction of a larger number of smaller units. From the economic standpoint, this alternative would perhaps be feasible as long as the concept of economy of scale were set against the concepts of standardized manufacture of small plants in factory or modular units, which would lead to a reduction in manufacturing costs and in the indirect costs associated with construction (due to the

reduction in installation times). In order for the concept to prove viable, it is indispensable for all the plants to be identical, and for the policies of the countries and public utilities that use standardized nuclear power plants to be similar to those applied in the case of gas turbines or diesel generating groups, normally sold as part of a package.

It can be affirmed that there is sufficient experience both in design and manufacturing so that nuclear power plants can be made in series. It is also evident that if the nuclear power plants made in a factory or in modular units can become competitive with normal nuclear power plants, or with other sources of electric power production, it will be thanks to large-scale production. Therefrom derives the need to consider, from the outset, the existence of multinational markets when studying the possibilities for this concept.

Thus, in the search for these aims, a broad and promising field opens up for the collaboration of the countries of Latin America among themselves and with countries from outside the region, including technologically more advanced countries.

2. INFRASTRUCTURE IN NUCLEAR TECHNOLOGY

Before any decision is made as to the construction of a nuclear power plant, no matter how small, the country must establish the legal and organizational bases that will allow it to regulate aspects related to nuclear safety both for operators in the facility as well as for the population at large. The resulting infrastructure should be of a purely national cut -- although it could possibly be regional -- since the responsibilities inherent in public health and safety cannot be delegated to outside institutions.

In this respect, the responsibilities that must necessarily be exercised by national authorities are related primarily to (1):

- nuclear legislation
- nuclear licensing and regulation
- quality guarantees and
- human resources.

Nuclear Legislation

A legal framework must be established previously in order to make it possible to organize the rights and obligations of the users of nuclear energy and to define the responsibilities of each institution. Only in this way will it be possible to have an accurate idea of the technical and economic implications of the projects in each sector involved. The most relevant aspects to be considered are as follows:

- the jurisdiction of an institution of national authority,



to regulate and control the use of nuclear energy under conditions of security;

- the establishment of a body of laws and legal principles that will make it possible to carry on nuclear activities without excessive risks for the workers and public at large; and
- the establishment of laws relative to civil responsibility for nuclear damage.

In this way the country will have drawn up a set of instruments to define the concepts of radiological protection, nuclear security, requirements for nuclear power plant operation, indemnization and insurance against nuclear damage, as well as the structure and conditions under which the authorities that regulate the application of these instruments will act.

Nuclear Licensing and Regulation

The nuclear authority will have to grant licenses for plant construction and operation. For this purpose, and on the basis of pre-established regulations, codes, standards and guides, it must assure itself that the plant will offer no excessive risks for public health and safety and that the licensed organization is technically and financially qualified to carry out the project.

One element of vital importance in the licensing of operations is the existence of skilled operators, in keeping with a training system approved by the nuclear authority. Not only should the operators be competent and reliable, but so should the examiners who evaluate them.

The regulations to be applied in the project should be available from the time of the stages of plant site selection and the preparation of specifications. They can obviously be inspired in foreign models, but should be adapted to local conditions and features. All of the set of rules and regulations, technical codes, guides for practical applications and standards permit the definition of a technical/legal framework to which bids must be geared, and within which the various physical and technical tests of the plant's and systems must be run before its operating license is approved. Hence, the regulating authority can assure that the project and operational procedures of the plant will be in line with the predetermined conditions for maximum security, accident prevention, and reduction of possible effects to acceptable levels. In this category fall radiological protection regulations, handling and transport of radioactive wastes, environmental control, physical safety, safeguards, etc.

The nuclear authority should thus be endowed with a team of technicians and engineers that can make up these regulations, analyze the features of the proposals and recommend the granting of the respective licenses. In addition, it should be in a

position to aspect the works and equipment in the various stages of construction and installation, in order to verify their conformity with project plans and specifications.

Quality Assurance (QA)

In order to assure that such a sophisticated technology as is nuclear is introduced in a safe, reliable way, there should be a system of guaranteed quality. Through this system, the participants in the project will be obliged to plan, execute, verify and document its work in a systematic and coherent way.

The activities embraced by the QA system are as follows:

- planning, management and documentation of the diverse stages of the project in order to assure that they are being correctly carried out;
- control and logging of the characteristics of the components, systems or installations in order to verify that they comply with the specifications and requirements of manufacturing and operation.

The first group of activities includes the formulation of the QA program, its coordination, approval of procedures, QA audits, etc. The second group of activities, also known as quality control (QC), includes inspection, destruction and non-destruction tests, and examination and supervision of the different parts of the project.

QA and QC activities already exist in the phases prior to the contracting of the plant, when the specifications are being prepared.

QA procedures and requirements can be found in national regulations referring to the security of nuclear facilities.

The organization directly responsible for the QC system is usually the owner of the plant, which can designate specific parts of its responsibilities to the plant manufacturer, to specialized firms or to sub-contractors. It should be underscored that QA programs cover all those that execute and those that verify. Conformity with pre-established requirements should be checked by inspectors who do not pertain to the group responsible for executing the work, in order to avoid conflict-of-interests situations. Many times, independent firms of inspectors are created for this purpose.

Human Resources

One of the most critical elements in making viable a program with a high technological content, as in the case of nuclear power, is the availability of human resources with sufficient training and competency. Large amounts of engineers, technicians and operators



cannot be imported to build a nuclear power plant. These resources must be prepared with the levels of knowledge and expertise required by the nuclear industry, well in advance.

The features proper to the nuclear industry demand degrees of training far superior to those found in other types of industry. This is tied to the need for high-quality products which will not suffer defects over prolonged periods since their substitution or repair is extremely difficult.

Local labor can have an important participation not only in the tasks of law-making, licensing, regulation and quality guarantees, described previously, but also in activities such as the following:

- analysis of plant sites;
- specification of the plant;
- analysis and negotiation of bids;
- preparation of the plant site;
- plant construction;
- installation of equipment and commissioning of plant;
- plant operation and maintenance;
- fuel management in the plant.

Personnel training in these areas will be fundamental in providing the human resources necessary for the nuclear program. Therefore, the importance of the country's educational base in the sectors most tied to nuclear technology should not be underestimated. University-level engineering institutes, technical and vocational schools, and nuclear research centers are organizations that the country should foment and support well in advance so that this labor force can be given the necessary training without which any nuclear power project would be subject to technical and economic non-viability.

3. TRANSFER OF TECHNOLOGY

In developing countries, the topic of nuclear energy is closely tied to transfer of technology. For this reason, in dealing with the question of the implementation of small- and medium- capacity plants in Latin America, it becomes necessary to consider certain points with respect to transfer of technology from the country supplying the plant to the country receiving it.

The ultimate long-range objective of this transfer is to place the receiving country on the same level of technological training as that of the supplying country, in the area of know-how under consideration. From

this it can be inferred that the transfer assumes the existence of technical teams which would have the possibility of constantly applying their new-found expertise.

The failure to exercise this knowledge will cause it to wane over time. In the 1950's when nuclear energy in Latin America was taking its first steps, there were several instances of trained individuals and even whole teams that lost the technology acquired because they did not have the opportunity to put their knowledge to use. This situation brought about a waste of material and human resources which could have been avoided through better planning in the nuclear sector.

Currently, the successful transfer of nuclear technology in countries such as Brazil and Argentina lies primarily in sound long-range planning and subsequent implementation. This planning combines transfer of technology with a nuclear program that offers a permanent field of application for the technology transferred.

Such planning in turn should be implemented in coherent fashion, calling for long-term efforts. Only in this way will it be possible to correctly dimension the technical teams whose mission it is to absorb and consolidate the technology.

Thus, in speaking of the implantation of small - and medium - capacity reactors, it is always useful to place them in the context of a long-range program, even though this has been outlined only generally, in order to conceive of the aims of transfer of technology within the broadest perspective possible.

In the case of a nuclear program with several plants, the large-scale participation of local industry should be planned well in advance in order to permit the negotiation of the different contracts for transfer of technology under advantageous but realistic conditions. It should be stressed that nuclear technology is very controlled internationally owing to reasons of nuclear proliferation and that, therefore, the country must prepare itself well in order to be successful in its contractual bargaining.

Such a program should ideally anticipate the construction of a series of plants. But even in the case of a single plant, much can be done with respect to transfer of technology. Thus let us take the hypothetical case of a nuclear program that considers the implementation of only one plant, without anticipating another in the foreseeable future (this would be the most realistic model for various potential markets for small - and medium-capacity plants). In this case, we can see that even this program would permit a certain degree of transfer of technology and would demand a minimal training of technical teams, since this type of undertaking requires many years for implementation (a lead time of nearly 10 years) and

operation (approximately 30 years). These time periods consequently offer a reasonable labor market for certain professional categories. Nonetheless, much care should be taken in organizing the teams, in order to avoid their idleness.

The following areas could be considered in transfer-of-technology programs:

— Quality Assurance

As indicated previously, it is imperative, for the success of the venture, to form technical teams capable of organizing systematic mechanisms to guarantee quality in all stages of the project, including operation. The case of Brazil can be cited, where national participation in the diverse industrial sectors was possible because of the implementation, in advance, of systems to guarantee quality. In the case that further plant construction is not scheduled, as in the hypothesis analyzed herein, the professional teams that are formed can easily be tapped by other branches of the industry, once the project has been concluded.

— Project Supervision

The construction of a nuclear power plant is a complex undertaking which requires the application of the best management techniques. Such management cannot be successful without significant local participation incorporating elements familiar with the working methods (commercial, administrative, legal and technical) particular to each country. In turn, local managers can learn about the methodologies that are proper to the nuclear area. Thus, transfer of technology in this field is of immediate application.

— Project Engineering

The transfer of technology in the field of project engineering is the most significant since it provides the training necessary for the future independent elaboration of projects.

In the case of a program that contemplates only one plant, the training of the project's technical team will call for large investments which are not justified if it is thought that, once the plant in question is concluded, this team will not be used again. For this reason, it is more reasonable to limit the transfer of technology to those engineering activities in which the country already has sufficient competency.

— Civil Structures/Electromechanical Installations

The civil structures of nuclear power plants should meet specific requirements. Thus, it is advisable for the construction to be entrusted to local companies associated with firms with experience in plants, through technical assistance contracts. The same model can be applied to electromechanical installations, although here the participation of the technology supplier should

be more intensive, and sometimes dominant (for example in the installation of the primary circuit).

— Component Manufacturing

The participation of industry on a larger or smaller scale is essentially conditioned by the economic profitability of investments in the equipment, technology and human resources required in manufacturing nuclear components. This ultimately depends on the existence of a market that would justify these investments. For the sake of illustration, the Brazilian experience showed that only the construction of a series of plants would assure for the diverse sectors the market necessary to make a worthwhile participation of local industry viable.

In this case, a program of transfer of technology found a trade-off in the area of component manufacturing.

— Operation and Maintenance

Since a plant should operate in a safe and reliable manner during a prolonged period (several decades), the transfer of technology for operation and maintenance is of prime importance. The TMI accident was dramatic evidence of the fact that even developed countries had not paid enough attention to this aspect.

At present, after 30 years of nuclear activity in Latin America, it is possible to have transfer of technology among the Latin American countries themselves, with the great advantages for the beneficiary countries that there is greater cultural and technological affinity with the suppliers.

4. LATIN AMERICAN NUCLEAR INDUSTRY

The term nuclear industry includes engineering and architectural activities, civil structures, electromechanical installations, manufacturing and supply of materials and equipment.

It is worthwhile to note that the nuclear industry in Latin America, which has been developing constantly over the last fifteen years, has reached a degree of maturity which permits the construction of nuclear power plants using the countries' own resources and making less and less use of imported goods and services from the industrial countries. This development came initially through the supply of goods and services mainly for the secondary cycle and later managed to broaden its capacity to provide supplies earmarked for the nuclear sector.

There are now three nuclear plants operating in Latin America, and seven more are under construction in Argentina, Brazil, Cuba, and Mexico. Of these ten, eight could be considered of medium capacity (of less than 700 MW). Each one of the aforementioned countries followed its own path, but all of them

coincided in their concern about transfer of technology and the development of national industry. At present these countries have a certain degree of nuclear technology, with different technological approaches: natural-uranium reactors and enriched-uranium reactors with boiling water and pressurized water.

In Argentina between the first and second nuclear power plants there was an important evolution in terms of transfer of technology. In the case of Atucha I, the country's first plant, provided through a turnkey contract, transfer of technology was relatively slight, both in terms of basic and detailed engineering. For the case of the Embalse plant, the National Atomic Energy Commission (CNEA) placed emphasis on these engineering activities, without neglecting the participation of Argentina's manufacturing industry. The most significant components built nationally for the Embalse plant were the moderator pumps, the outage cooling pumps, the portable platform for the reactor's control mechanisms, the air exhausts, the 38-ton crane for the powerhouse, 200-mm-diameter valves, armored doors for the maintenance room for irradiated fuel piles, conventional instruments, etc. The Argentine firms, execution of the civil structures and electro-mechanical installations of this plant also deserve special mention. It is estimated that national participation in Atucha 2 will be even more significant:

steam generators, pressurizers and coolers for the moderator are now being manufactured in Argentina, as well as a large part of the conventional equipment. The following chart indicates the percentage of national integration in different aspects of the Argentine nuclear power program.

To these supplies manufactured by local industry can be added others, also in the nuclear area, such as the recipient for the experimental nuclear reactor RA-6 of the Bariloche Atomic Center, and the recipient for the heavy ion accelerator 20UD for the Constituyentes Atomic Center.

Argentine firms have also participated in the Peruvian nuclear program with detailed engineering services, supplies, construction, installations, work supervision, start-up of the reactor RP-10 and of the primary and secondary cooling systems, as well as with the mounting of auxiliary systems. This constitutes an important example of Latin American cooperation.

In the Brazilian case, the first plant was already able to rely on a significant participation of national engineering capabilities, on the order of 50%. The civil structures and assembly were handled by Brazilian firms and approximately 10% of the plant's equipment was supplied by national industry. In the Angra 2 plant, the participation of Brazilian industry will be

**CHART 2
PERCENTAGE OF NATIONAL INTEGRATION
IN DIFFERENT ASPECTS OF THE
NUCLEAR POWER PROGRAM**

		DIRECT PLANT COSTS	OTHER OWNER EXP.	FIRST HEAVY WATER INITIAL CORE
ATUCHA 1	According to contract values (1)	36.78	41.96	37.72
EMBALSE		51.15	56.04	49.02
ATUCHA 2		54.70	58.88	63.03
IV CENTRAL PLAN NUCLEAR	CANDU hypothesis	77.34	79.60	82.15
	Rec. pressure hypothesis	73.28	75.48	77.96

(1) This methodology is considered most representative.

SOURCE: Embalse Nuclear Plant, by Jorge O. Cosentino and Bernardo Murmis, Report of the Latin American Section of the ANS, IX 1983.

much more significant still. The Brazilian-German agreements established that for the plants Angra 2 and 3 the minimal participation of Brazilian industry in equipment supplies would be 30%, a percentage which was to increase with subsequent stations. This limit, established contractually in 1976, is already being surpassed in Angra 2. It should be noted that despite the fact that in Angra 2 the participation of Brazilian industry should be restricted to non-nuclear equipment, at this moment NUCLEBRAS Heavy Equipment S.A. (NUCLEP) is manufacturing in Brazil the condensers and accumulator for Angra 2 and 3 and the pressurizer for Angra 3. For the plants Iguape 1 and 2 all of the heavy equipment is being manufactured, including the pressure recipient for the reactor and the steam generators.

Private Brazilian firms are also taking part in the supply of nuclear equipment for Angra 2, by providing pressure recipients, heat exchangers, pumps, pipes and accessories, ventilation and air-conditioning systems, and the container recipient, in addition to detailed engineering services. The participation in the Angra 2 project has highlighted the technical and managerial training of Brazilian firms acting in the areas of advanced technology such as calculation and planning of projects for nuclear components considering dynamic loads, seismic structural calculations, generation of floor response spectra for buildings, etc.

In November 1983 NUCLEP finished manufacturing the lower part of the pressure recipient of the reactor for the Atucha 2 nuclear power plant. Argentina is also providing Brazil with nuclear plant components, specifically, with zircaloy pipes for the fuel elements. These are practical instances of active regional cooperation between the nuclear industries of the two countries.

With respect to Mexico, there is currently no intention to manufacture components for its nuclear plants. Mexico has acted in the direction of optimizing the participation of national engineering firms in certain stages of plant construction. However, as Mexico's nuclear program takes off, its industry could begin to supply some equipment, thanks to the metal-mechanics industry developed during the country's period of accelerated crisis (1979-1981), among other things.

Latin America's nuclear industry, considered in its broadest sense (engineering, construction, manufacturing, etc.), is already quite developed and can make an important contribution at the regional level, although it will not be self-sufficient in the short run.

Therefore, in imagining the implantation of a nuclear plant with small- and medium-capacity reactors in Latin America, including plants of up to 700 MWe, it is useful to think in terms of the application of regional cooperation mechanisms. Nowadays, any Latin American country that intends to install a

nuclear power plant should first assess the condition of its national industry, in order to seek **a posteriori** complementation, preferably from among the industries existing in the region.

