

LA CONTRIBUCION DE LA ENERGIA NUCLEAR

AL

ABASTECIMIENTO ENERGETICO DE AMERICA LATINA

Junio de 1974

Ing. Béla José CSIK

LA CONTRIBUCION DE LA ENERGIA NUCLEAR AL ABASTECIMIENTO ENERGETICO DE AMERICA LATINA

Ingeniero Béla José CSIK

En vista del desarrollo alcanzado por la tecnología nuclear resulta claro que, cualquier análisis energético a nivel mundial, regional o nacional sería incompleto, de no considerarse la contribución que las centrales nucleares puedan aportar al abastecimiento de la demanda de energía; más aún, el rol cada vez más importante de la energía nuclear en este campo es ampliamente reconocido.

Las condiciones que determinan el desarrollo del sector energético y en particular la participación de la energía nuclear en dicho sector, van cambiando constantemente. Algunos cambios son graduales y derivan de desarrollos tecnológicos y las consecuencias económicas de los mismos. Otros cambios son más bruscos, son productos de situaciones de carácter político y pueden afectar profundamente las condiciones vigentes, tanto en forma inmediata como a mediano y largo plazo. La reciente crisis energético-petrolera es un ejemplo.

El carácter dinámico de la evolución energética, su complejidad, la necesidad de planificar a plazos relativamente largos, el volumen de inversiones involucradas y la condición esencial del abastecimiento energético en toda actividad industrial y económica, llevan al requerimiento de replantear periódicamente la situación.

El principal objetivo del presente trabajo es estudiar el probable desarrollo de centrales nucleares en América Latina. A los efectos de establecer las condiciones de contorno pertinentes, se analiza en primer término la situación energética mundial como así también el estado de la tecnología nuclear en cuanto a sus aplicaciones para la producción de energía eléctrica. Luego, se encara el problema energético de América Latina.

El carácter del análisis es eminentemente estadístico y global, estableciéndose tendencias y obteniéndose órdenes de magnitud. La tarea de la elaboración de planes y programas concretos a corto y mediano plazo, sólo puede encararse por medio de estudios específicos de cada país y situación particular.

1.- SITUACION ENERGETICA MUNDIAL

Los resultados y conclusiones que se pueden obtener del análisis de la situación energética mundial, por cierto no deben ser interpretados como aplicables en forma general e indiscriminada a cada país en particular; sin embargo, influyen en la formulación de las políticas y planes energéticos a nivel nacional y regional. Ningún país o región puede considerarse aislada del resto del mundo y por lo tanto, problemas y tendencias de orden global pueden afectar las situaciones particulares y viceversa, como lo confirman los sucesos recientemente desatados por la crisis del petróleo.

La producción y el consumo de energía es un aspecto esencial de la civilización moderna, es un factor de progreso y está íntimamente ligada al grado de desarrollo y

nivel de vida de los pueblos. Por su importancia, ha sido y es objeto de constantes estudios, cuyo propósito fundamental es tratar de prever el futuro y consecuentemente programar la acción a desarrollar, para asegurar de esta manera el adecuado abastecimiento de la demanda energética proyectada. La proyección de la demanda energética global constituye un marco de referencia para el análisis de la composición del abastecimiento, basándose los métodos de proyección generalmente adoptados en la extrapolación de la tendencia histórica, aplicando correlaciones entre el crecimiento económico y el energético global, ambos per cápita. Los resultados obtenidos, por supuesto, son función de los datos, criterios, hipótesis y métodos de cálculo empleados.

Es usual adoptar el año 2000 como meta de proyección, posiblemente por sus connotaciones mágicas. Por otra parte, un plazo de 25-30 años en materia energética parece razonable, aun cuando es de notar, que últimamente hay tendencia a prorrogar dicho plazo hasta unos 50 años, en función del tiempo requerido para obtener resultados en el desarrollo ingenieril de tecnologías nuevas; sin embargo, es de notar también que el grado de verosimilitud de las proyecciones es inversamente proporcional al plazo abarcado. (1) (2) (4) (7)

Se prevé, que para fin del siglo el actual consumo energético per cápita se triplicará, llegando al orden de 4 toneladas equivalentes de carbón (t.e.c.). Con una población prevista de aproximadamente 6.000 millones, esto significa un consumo anual de 24.000 millones t.e.c. Según los criterios de aplicar el efecto de saturación, los valores previstos de población y consumo energético global se modificarían en el orden de un 10% en más o en menos, variación que es perfectamente admisible en proyecciones de este tipo y a tal plazo. (1) (2) (3)

Resulta más complejo proyectar la composición del consumo energético global en cuanto a la probable participación de las diversas fuentes energéticas, dado que existe en cierta medida la posibilidad de sustitución entre dichas fuentes. La evolución histórica es sólo un elemento de juicio más a tener en cuenta; los resultados obtenidos por el método de extrapolación directa de las tendencias históricas son poco confiables.

Razones económicas coyunturales han tenido predominante influencia en el pasado en la evolución de la participación relativa de las fuentes energéticas. Sin duda los factores económicos, tanto la competencia entre fuentes, mínimo costo y menores inversiones en el sector energético, como la disponibilidad de capitales y "last but not least", los intereses económicos involucrados, seguirán influyendo en la evolución futura. Sin embargo, además de estos factores económicos hay otros, tales como la seguridad de suministro, la conservación y óptima utilización de los recursos naturales y la protección ambiental, que también harán sentir su influencia.

La evolución del grado de electrificación, vale decir la participación de esta forma de energía en el consumo global, afecta en forma sustancial los consumos previstos de combustibles convencionales (carbón, petróleo, gas natural), principalmente por el efecto sustitutivo de la energía nucleoelectrica.

Actualmente, alrededor del 25% del consumo energético global es empleado para producir energía eléctrica (se utiliza la equivalencia de 2.300 kcal/kWh). Para el año 2000, de acuerdo con las tendencias históricas, es previsible que se llegue por lo menos al 50%. Aceptar el pronóstico de un 60% de participación parece razonable, en vista de los múltiples usos y sustituciones posibles, que podrían llevar dicha cifra a un 80%, como algunos estudios lo indican. (2) (4) (5) (12)

Es probable, que del orden del 60% de la potencia eléctrica total instalada sea nuclear al año 2000, lo que a su vez significa, teniendo en cuenta las curvas de carga y factores de utilización, que del orden del 85% de la energía eléctrica generada provenga de centrales nucleares. Las centrales hidroeléctricas proveerán posiblemente un 10% de la energía generada. Es de notar que para llegar al 60% de electrificación, la producción de energía eléctrica tendría que crecer con una tasa anual del orden del 7,5% en promedio; para llegar al 80% de participación, la tasa anual tendría que ser del orden del 9%, cifra que parece excesiva.

Asignando a la energía eléctrica, como así también a la energía nuclear e hidráulica la evolución mencionada, los combustibles convencionales tendrán que proveer un consumo per cápita del orden de 1,6 t.e.c. en el año 2000, o sea un total de 9.600 millones t.e.c., suponiendo una población de 6.000 millones. Esto significa incrementar el nivel del consumo actual en un 50%. De incrementarse el consumo de carbón en el orden de 4% por año, podría abastecer la totalidad de los aumentos requeridos de los combustibles convencionales, manteniéndose en consecuencia el consumo anual de petróleo y gas en su nivel actual o inclusive menor. El uso de los hidrocarburos quedaría reservado para el abastecimiento de las demandas en las que resulte difícil o cara su sustitución.

Tal evolución de la composición del consumo energético global satisfaría en general los objetivos que surgen de la evaluación de los factores pertinentes, siendo las metas en cuanto a las tasas de crecimiento, razonables y alcanzables.

La evolución del consumo energético, en particular en cuanto a la composición por fuentes, está ligado con la disponibilidad de recursos.

El análisis de los recursos de combustibles se complica por la multiplicidad de definiciones en uso para calificar las categorías respectivas. Se emplean definiciones tales como: reservas conocidas, comprobadas, inferidas, indicadas, de desarrollo posible, de desarrollo probable, razonablemente aseguradas, recursos potenciales, totales recuperables, adicionales probables, posibles, hipotéticas, etc. Además, las cifras son función del entorno de costos y de las técnicas de recuperación adoptadas para su determinación.

La cantidad de los recursos potenciales hidroeléctricos disponibles depende de lo que se entiende por técnicamente realizable y económicamente aprovechable.

Considerando recursos energéticos tales como la radiación solar o la energía nuclear proveniente del proceso de la fusión, el significado de la cuantificación está sujeto a tecnologías aún por desarrollar para posibilitar su aprovechamiento industrial.

No obstante las dificultades mencionadas, que explican -por lo menos parcialmente- las discrepancias entre las cantidades citadas en diversos estudios, resulta posible establecer órdenes de magnitud a los efectos comparativos entre demanda y recursos de diferente tipo. Se adopta como unidad de energía el Q, definido así:

$$1 Q = 10^{18} \text{ BTU} = 36.000 \text{ millones t.e.c.}$$

Los recursos carboníferos ocupan el lugar más importante entre los combustibles convencionales. Los recursos mundiales totales se estiman en el orden de 210 Q. Hasta el año 2000, previsiblemente se consumirán unos 4 Q, o sea aproximadamente el 2% de dichos recursos. Como valor de comparación, el nivel de consumo energético global en el año 2000 se estimó en 24.000 millones t.e.c., o sea $2/3$ Q por año. (1) (5)

En materia de recursos de petróleo, la situación resulta sumamente confusa, posiblemente debido a las características muy particulares del mercado mundial en la materia, además de las dificultades que se encuentren al tratar de evaluar o comparar las cifras disponibles en función de la indeterminación de las definiciones respectivas. En general, las cifras estimadas indican reservas "totales" del orden de 10-15 Q, sin incluir esquistos ni areniscas petrolíferas y de 25-35 Q, incluyéndolos. Aun cuando existen estimaciones muy por debajo de las mencionadas, hay también otros que llegan a superarlas, a veces por márgenes sustanciales. En vista de esta indeterminación, parece conveniente adoptar una actitud prudente, aceptando las cifras aquí mencionadas a los efectos de formular previsiones a mediano y largo plazo, pero sin asignarles carácter definitivo ni alto grado de certeza. Las reservas y los recursos petrolíferos mundiales han sido tradicionalmente subestimadas, resulta probable que actualmente también lo sean. (1) (5) (12)

Los recursos mundiales de gas natural se estiman en general del orden de 10 Q, siendo el grado de conocimiento de los mismos inadecuado y muy limitado. Por lo tanto, es muy probable que esta cifra también resulte inferior a los recursos realmente disponibles. (1) (5)

El orden de magnitud de los recursos mundiales del conjunto de combustibles convencionales (carbón, petróleo y gas natural), resulta ser de unos 250 Q. Sólo a los efectos de acotar dicha magnitud, 250 Q alcanzarían para abastecer la totalidad de la demanda de energía durante unos 80 años, o sea hasta mediados del próximo siglo, suponiendo un incremento anual acumulativo del 5%. Por otra parte, de mantenerse en el futuro el consumo de combustibles convencionales en el nivel estimado anteriormente para el año 2000, estos alcanzarían por 1000 años.

Contrariamente a los combustibles convencionales, los recursos hidroeléctricos son recursos renovables. El potencial mundial total se estima en una capacidad de generación anual del orden de 23 millones de GWh, equivalente a 0,2 Q (equivalencia 2300 kcal/kWh). Otras fuentes energéticas renovables son las mareas (0,1 Q) y eólicas (0,001 Q). (1) (5)

La energía solar (5.000 Q/año) y la fusión nuclear (10^{10} Q) ofrecen potencialmente, fuentes prácticamente inagotables. Asimismo la energía geotérmica, dependiendo de los métodos de aprovechamiento desarrollados o por desarrollar, puede ofrecer desde 0,01 Q/año hasta centenares de Q en total. (1) (5)

En cuanto a los recursos mundiales de combustibles nucleares, siendo el proceso de producción de energía la fisión nuclear, interesa primordialmente el uranio. El uranio es un elemento relativamente abundante (0,0004% de la corteza terrestre), se encuentra en yacimientos de minerales y también en agua de mar. Las reservas normalmente se clasifican en función del costo de extracción y concentración del uranio, hasta la obtención del producto llamado "pasta amarilla" (yellow cake), donde el uranio se encuentra en la forma de U_3O_8 . Las reservas conocidas actualmente son del orden de un millón de toneladas, a un costo menor de 10 U\$S/lb U_3O_8 . Con la tecnología de reactores térmicos, sin reciclado de plutonio en los mismos reactores, el contenido energético se triplica y considerando el uso de reactores rápidos reproductores, el valor podrá llegar a unos 25 Q. (12) (13)

Estas reservas uraníferas sólo representan una pequeña parte de los recursos totales disponibles. Un límite económico de 10 U\$S/lb pierde significado en análisis a largo plazo como el presente. Incrementando dicho límite en un orden de magnitud a 100 U\$S/lb, el costo de la energía eléctrica generada en las centrales de diseño actual sólo se aumentaría en un 40%; en reactores reproductores rápidos, el efecto de incremento del costo es prácticamente despreciable. Los recursos a costos menores que 100 U\$S/lb podrían representar considerando el reciclado térmico, unos 70 Q; con reproductores rápidos, la cifra anterior pasaría a 1.500 Q y teniendo en cuenta el uso del thorio además del uranio, a varios miles de Q. El thorio, aun cuando no es un combustible nuclear, es un elemento fértil, que irradiado en un reactor nuclear se transforma en U233, que a su vez es fisiónable y por lo tanto, un combustible nuclear. (12)

Es de notar, que la determinación de los recursos en función de un costo de producción, implica adoptar un límite económico, que resulta siempre arbitrario. Extendiendo o inclusive eliminando dicho límite los recursos correspondientes se incrementarían proporcionalmente.

Del análisis comparativo entre consumo energético global y recursos totales disponibles surge la conclusión, que no habrá escasez energética mundial, ni a muy largo plazo, a causa de una eventual falta de recursos.

Se observa asimismo, que las grandes reservas energéticas de la humanidad corresponden a la energía nuclear (fisión y fusión) y a la solar, que en definitiva también es nuclear. Los recursos renovables, hidroeléctricos, mareas y eólicos, sólo podrán tener una participación limitada en el abastecimiento energético del mundo, como así también la energía geotérmica. Entre los combustibles convencionales, los recursos carboníferos son los más importantes, mientras que los recursos petrolíferos y de gas natural parecen ser los más limitados. Aun siendo los más limitados, si se tiene en cuenta la previsible composición del consumo energético global y si se analiza la situación a nivel mundial, los temores por la escasez de petróleo o gas a causa de reservas insuficientes, parecen infundados.

Las proyecciones, cuya realización resulta indispensable para poder formular políticas, planes, programas y adoptar decisiones, se obtienen analizando en primer instancia la evolución del mercado energético en el pasado. Es de notar, que la extrapolación directa del desarrollo histórico es inclusive uno de los métodos frecuentemente adoptados, aún cuando se reconocen las limitaciones implícitas del mismo, en particular tratándose de proyecciones a mediano o largo plazo.

El análisis histórico de la situación energética mundial presenta ciertas dificultades, que derivan principalmente de lo incompleto de los datos estadísticos disponibles y de la indeterminación de dichos datos en función de la inexistencia de definiciones universalmente aceptadas y adoptadas. A pesar de esto, dado el carácter estadístico de la información, resulta posible extraer conclusiones generales y determinar tendencias, que permiten definir el panorama energético global. (1) (2) (3) (8) (12)

-Se puede individualizar ciertos indicadores, tales como el consumo de energía, el de energía eléctrica, el producto bruto interno (PBI) y la población, cuyos valores y tasas de evolución se encuentran vinculados.

-El análisis histórico de los indicadores nombrados (podrían seleccionarse otros también) muestra una tendencia de crecimiento sostenido en cada uno, con determinadas tasas. En el promedio mundial la tasa anual de crecimiento demográfico es del orden del 2%; las tasas de crecimiento del PBI y del consumo de energía

- total son similares y del orden del 5%, siendo la del consumo de energía eléctrica aproximadamente del 7% anual.
- Se encuentra que las correlaciones más significativas resultan de considerar los valores y tasas per cápita, que resultan del orden del 3% anual para el PBI y el consumo energético total y del 5% para la energía eléctrica.
 - Se observa que las tasas de crecimiento varían en función del grado de desarrollo alcanzado (mayor tasa corresponde a menor grado de desarrollo), habiendo una tendencia a la disminución de las tasas por efectos de saturación. La relación entre las tasas se mantiene razonablemente constante.
 - Las correlaciones entre indicadores marcan tendencias que se cumplen en períodos suficientemente largos; hay desviaciones en períodos cortos y en situaciones de carácter extraordinario, debido a la influencia temporaria de factores coyunturales.

Basándose en el análisis del pasado, resulta posible proyectar la evolución probable de la demanda energética en el futuro. Salvo cambios bruscos que se produzcan por motivos de alguna catástrofe universal imprevisible, la población mundial requerirá cada vez más energía, siguiendo el ritmo de crecimiento del PBI. A su vez, el grado de electrificación aumentará, ocupando esta forma de energía gradualmente un rol preponderante en el consumo energético global. Los efectos de la saturación, cuando se produzcan, se harán sentir disminuyendo gradualmente las tasas respectivas de crecimiento.

Además del análisis de la evolución histórica de los indicadores mencionados, es necesario tener en cuenta también otras características del panorama energético mundial, que influyen en el desarrollo de este Sector.

La disponibilidad de recursos energéticos, que previsiblemente no afectará la evolución de la demanda energética global, hará sentir su influencia en la composición del consumo en cuanto a fuentes energéticas, como así también en la evolución del grado de electrificación.

Es de notar que durante el pasado cuarto de siglo, la participación de las diversas fuentes de energía evolucionó con tendencias totalmente opuestas a lo que resultaría de aplicarse una política racional de conservación de recursos naturales, salvo el caso de la energía nuclear. En efecto, el carbón que en 1950 proveía el 61% del consumo energético mundial, ha bajado al 27%, aun cuando en valor absoluto el consumo se incrementó en el orden de 2% por año. Simultáneamente los hidrocarburos, que en 1950 sólo proveían el 32% del consumo total mundial (25% petróleo y 7% gas) actualmente abastecen el 65% de los requerimientos (48% petróleo y 17% gas). En hidroelectricidad, hubo una leve disminución de la participación, mientras que el aporte de la energía nuclear recién ahora está adquiriendo un volumen significativo (2%). Estas dos últimas fuentes abastecen en conjunto del orden del 8% de la demanda. (1) (2) (6)

Las tendencias comentadas son evidentemente consecuencias de una acción basada primordialmente en aspectos económicos coyunturales, que concurrieron al objetivo a corto plazo de producir energía a mínimo costo. La posición de competencia económica entre los diversos tipos de combustible ha sufrido un brusco cambio recientemente, a causa del incremento sustancial del precio del petróleo en el mercado mundial. Esto, no sólo incide cambiando para el futuro la tendencia histórica observada en la participación de los hidrocarburos, sino también actúa asignando al factor de la competencia económica inmediata un nuevo marco de referencia, restándole importancia.

El déficit de combustible, otro de los aspectos de la crisis del petróleo, también influye en la elaboración de proyecciones para el futuro. Ha sido demostrado para el público por los hechos, que la actividad económica industrial como así también el estilo de vida dependen del abastecimiento energético. Las graves consecuencias de la falta de combustible han creado una conciencia energética que presiona a los gobiernos y planificadores a establecer condiciones que aseguren un abastecimiento adecuado. La utilización de los recursos nacionales, en particular de los renovables, el autoabastecimiento energético y la diversificación de fuentes, tienden a incrementar el grado de la seguridad de suministro energético de un país. Siendo la evolución energética mundial el promedio de las evoluciones particulares de los países, quedará definido por las acciones desarrolladas en cada uno de ellos.

Finalmente, es de esperar que también influirá en la evolución del panorama energético, la preocupación creciente a nivel mundial por los aspectos de protección ambiental y por la conservación del medio.

2.- SITUACION DE LA TECNOLOGIA NUCLEOELECTRICA

Luego de algo más de 30 años de desarrollo, las centrales nucleares ocupan un lugar de creciente importancia en el panorama energético mundial.

De acuerdo con los datos estadísticos del Organismo Internacional de Energía Atómica, en 1973 se encontraban en operación 167 reactores de potencia en 17 países, con una capacidad total instalada de 60.900 MW. En 1974 habrá en operación unos 200 reactores en 18 países, con una capacidad total del orden de 85.000 MW. A esta cifra se llega partiendo de unos 100 MW en 1956 y pasando por 1.300 MW en 1960; 7.000 MW en 1965; y 20.000 MW en 1970. (9)

El incremento futuro de la capacidad nuclear instalada se realizará previsiblemente a un ritmo tal, que en 1980 se encuentren en operación 300-350.000 MW, cifra que se cuadruplicaría para 1990. En el año 2000, habrá del orden de 4-5 millones de MW instalados en centrales nucleares. Tal ritmo de incremento corresponde a una tasa anual del orden de 14%, vale decir, la potencia instalada se duplicaría cada cinco años en promedio. (4) (5) (9) (11)

Es de notar que prácticamente todos los programas nacionales de desarrollo nuclear han sido intensificados últimamente, en función de la crisis energético-petrolera; sin embargo, analizando las previsiones anteriores a dicha crisis, no se observa diferencia en cuanto a la tendencia general y relativamente poca variación respecto a las tasas aquí citadas. Los 5 millones de MW instalados, con un factor de utilización promedio de 7.000 hs/año, producirían 35 millones de GWh lo que equivale aproximadamente a la mitad del consumo energético global previsto para el año 2000, resultado que concuerda con las previsiones anteriores respecto al desarrollo mundial.

La experiencia acumulada en la operación de centrales nucleares supera los 1.000 años-reactor; además, también debe considerarse la experiencia obtenida a lo largo de 30 años en la operación de reactores de investigación. Ya en 1963 se encontraban funcionando en 38 países 250 reactores de investigación, mientras que en 1973 existían en 47 países 360 reactores de este tipo. (9) (10)

El análisis de la situación actual del mercado mundial en cuanto a los diferentes tipos de reactor de potencia, indica que los reactores a uranio enriquecido, moderados y refrigerados por agua natural (PWR y BWR) ocupan el lugar de preponderancia. Los reactores a uranio natural, moderados y refrigerados por agua pesada (PHWR) constituyen la base del programa de centrales nucleares de algunos países, Canadá, India, Pakistán y Argentina. Los reactores moderados por grafito y refrigerados por gas CO₂ (GCR y AGR) han dejado de ser instalados, aún en los países que los desarrollaron originalmente (Inglaterra y Francia). Existen varios tipos de reactor en diferentes grados de desarrollo, pero ninguno ha llegado aún a la etapa de central comercial, excepto el de alta temperatura refrigerado a gas (HTGR), con el cual se están construyendo varias centrales.

De acuerdo con las previsiones, es de esperar que por un plazo de 10-15 años, la situación actual no cambie, manteniéndose el predominio en el mercado mundial de los tipos PWR y BWR. Los PHWR probablemente seguirán construyéndose en los mismos países que actualmente los instalan y posiblemente en algunos más, debido al interés que ofrece el uso de uranio natural por sus implicancias en cuanto a la posibilidad de auto-abastecimiento y seguridad de suministro. Tanto el HTGR como otros tipos en desarrollo, de los cuales el que presenta mayores perspectivas actualmente es el moderado por agua pesada y refrigerado por agua natural (HWR), posiblemente participen en menor grado en el mercado de centrales nucleares a corto plazo.

A mediano y largo plazo, comenzando hacia fin de la década del ochenta, es previsible que los reactores reproductores se introduzcan gradualmente, compartiendo el mercado nuclear con los tipos de reactores que actualmente lo dominan. El grado de participación de los reproductores dependerá fundamentalmente de sus características técnicas y económicas, como así también de la disponibilidad del plutonio producido por el parque de generación nuclear.

Por ahora, el mercado principal de centrales nucleares lo constituyen los países en estado avanzado de desarrollo. Solamente pocos países en desarrollo han iniciado programas de generación nucleoelectrónica; de estos, tres se encuentran en América Latina: Argentina, Brasil y México. Los países que hasta ahora han exportado reactores de potencia son: Gran Bretaña, EE.UU., Canadá, URSS, Francia y la República Federal Alemana.

La potencia unitaria de las centrales comerciales ha evolucionado en pocos años, partiendo de los prototipos de menos de 100 MW. Se han instalado módulos de 200, 300, 500 MW y más, hasta llegar a 1.300 MW, que por ahora constituye el límite tecnológico alcanzado. Mientras la potencia de la mayoría de las centrales en operación es inferior a los 600 MW, los módulos comerciales que actualmente se ofrecen y se adquieren en el mercado mundial se encuentran entre 600 y 1.300 MW; sólo en muy contadas ocasiones y debido a circunstancias excepcionales, se construye una unidad inferior a 600 MW.

Lo anterior no debe interpretarse como la existencia de un límite inferior de competitividad económica; es consecuencia de las características del mercado, que concentrado en países altamente industrializados y desarrollados, admite la instalación de unidades relativamente grandes, aprovechando así los beneficios emergentes de la disminución del costo unitario en función del aumento del tamaño. Las empresas constructoras de reactores a su vez, en función de las características de la demanda, concentran

su atención, dedicación y limitada capacidad de realización, en los módulos más requeridos. Es probable que en el futuro los módulos comerciales abarquen un espectro más amplio, tanto aumentando las potencias de las unidades a más de 1.300 MW como consecuencia del desarrollo tecnológico, como incluyendo potencias menores, posiblemente del orden de 300 MW, de manifestarse un mercado de suficiente envergadura en los países en desarrollo para unidades de tal capacidad.

Los plazos de realización de las centrales nucleares son de 8-9 años como mínimo, que resultan de agregar a un plazo de construcción razonable de 6 años, del orden de 2-3 años en concepto de gestiones previas a la iniciación de la obra. Tales gestiones, que pueden abarcar un tiempo más largo, pero difícilmente más corto, corresponden a estudios de preinversión, licitación, preparación y evaluación de ofertas, decisión, adjudicación, contratación y licenciamiento. (17)

Merece mención especial el ciclo de combustible, que constituye una de las características particulares de las centrales nucleares. Contrariamente a lo que ocurre con el combustible fósil quemado en las centrales térmicas convencionales, el combustible nuclear no se consume íntegramente en el reactor. El combustible parcialmente "quemado" se reprocesa, recuperándose el material fisiónable y el fértil remanente, que se vuelve a utilizar en el mismo u otro reactor de potencia, produciendo energía. Por otra parte, el combustible nuclear puede emplearse en su composición natural o bien enriqueciéndolo en el contenido de isótopo fisiónable, U235.

El ciclo de combustible y el enriquecimiento dan lugar a la constitución de industrias nucleares complementarias, tales como la extracción, concentración y purificación de uranio, el enriquecimiento, la fabricación de elementos combustibles y el reprocesamiento.

El empleo de las centrales nucleares implica la aceptación de cierto riesgo radiológico. Aun cuando la industria nuclear hasta el presente haya sido una de las industrias más seguras, se debe aceptar el concepto, que la seguridad absoluta no existe. Las normas y las medidas de protección radiológica para resguardar la seguridad de los operadores de las instalaciones nucleares, como así también del público en general, son extremadas; rige el criterio de "tan seguro como sea practicable". La probabilidad de accidentes, como así también las posibilidades de polución y contaminación radiactiva, deben mantenerse por debajo de los límites de los riesgos probabilísticos normales de la actividad humana. Estos son los criterios de diseño y operación de las centrales nucleares, en las que la posibilidad de una explosión nuclear, queda excluida. El desarrollo nuclear previsto implica un incremento proporcional de la acumulación de productos de fisión y de desechos radiactivos y un aumento de la probabilidad de la ocurrencia de algún accidente; corresponde adoptar medidas de protección radiológica, a los efectos de salvaguardar la seguridad limitando los riesgos, los que no se deben ni exagerar ni subestimar. Es de notar, que el uso de los combustibles convencionales también implica riesgos, al constituir estos una de las principales fuentes de contaminación del ambiente. No se espera que el riesgo radiológico constituya un freno al desarrollo nuclear. Hasta el presente no hubo accidente nuclear mayor en ninguna central nuclear.

La participación nacional en la construcción y en la operación de las centrales nucleares constituye un deseo e intención de todo país, sea cual fuese el grado de desarrollo en que se encuentre. Las posibilidades de la implementación local son amplias y abarcan desde los rubros obvios como la obra civil, montaje y personal de operación de la usina, hasta la fabricación de componentes electromecánicos especiales, elementos com-

bustibles o ingeniería. La capacidad de realización de la industria nacional es el factor, que en la práctica limita las posibilidades de participación. Incrementando dicha capacidad mediante la transferencia de tecnología, la realización de desarrollos propios, la aplicación de medidas de fomento y la adaptación, transformación o creación de establecimientos industriales, se logra el objetivo propuesto.

En cuanto a las características económicas de la energía nuclear, las cifras sólo adquieren significado real si se acompañan con clara definición y si se refieren a casos particulares. Como orden de magnitud de la inversión requerida, los costos unitarios actuales pueden oscilar alrededor de 400-600 U\$S/kW instalado; son función de la potencia y tipo de reactor, ubicación, volumen de suministros, criterio impositivo, consideración de gastos financieros, modalidad de contratación, competencia comercial, etc.etc. Los gastos de explotación (sin carga de capital) serían del orden de 2-4 mills/kWh, en función del tipo y costo de combustible, rendimiento, política y costo de personal, seguros, impuestos, servicios de apoyo necesarios, consumibles, factor de utilización, etc. etc. (12) (17)

Antes de la crisis de petróleo, cuando se comparaban centrales nucleares con termoeléctricas convencionales, el principal competidor económico de las nucleares era la usina a fuel-oil. En una central térmica convencional moderna, con un consumo específico de 2.000 kcal/kWh, el costo de combustible con el fuel-oil a 16 U\$S/t, era de 3,2 mills/kWh.

Luego de producirse los incrementos de precio en el mercado mundial de hidrocarburos y aceptando que no se trata de un fenómeno excepcional y pasajero, la generación de energía eléctrica a base de derivados de petróleo ha quedado totalmente fuera de competencia respecto a la generación nucleoelectrica, aún en unidades de tamaño muy inferior al rango comercial antes citado.

Con el fuel-oil a un costo del orden de 100 U\$S/t, el costo de combustible en una central convencional moderna resulta ser de 20 mills/kWh, comparado con los 2-4 mills/kWh de gasto de explotación en una central nuclear.

Actualmente, el carbón y el lignito establecen el límite de competitividad económica de las centrales nucleares, comparándolos con centrales térmicas convencionales. Como resulta prácticamente imposible definir un precio válido en general en el orden mundial, sólo la consideración de costos aplicables a países, regiones o ubicaciones particulares puede tener significado práctico para determinar las condiciones de competitividad económica, caso por caso.

En cuanto a la competencia económica entre centrales nucleares e hidroeléctricas, es de notar que en la mayoría de los casos estas dos fuentes de generación son complementarias y no competitivas; las nucleares son típicamente centrales de base, mientras que las hidráulicas suelen ofrecer la posibilidad de ser optimizadas como centrales de punta o seguimiento de carga, por lo menos parcialmente. Cuando se presenta el caso de la generación hidroeléctrica de base como fuente alternativa de centrales nucleares, sólo es válido el análisis comparativo específico, sin poder establecerse reglas generales. En tales análisis deben tenerse en cuenta los eventuales beneficios adicionales o marginales.

Analizando las demás fuentes energéticas, tampoco resulta posible establecer condiciones generales de competitividad, aplicables a todos los casos que se puedan presentar.

Evidentemente, existen y existirán situaciones particulares que favorezcan a una u otra solución indistintamente. Uno de los objetivos de un estudio de factibilidad es justamente la determinación de la solución económicamente más conveniente entre las alternativas disponibles.

La introducción de la energía nuclear presenta un problema financiero, en especial para países con escasos recursos de capital, por ser las centrales nucleares más capital-intensivas que las centrales térmicas convencionales (la inversión necesaria es del orden de 50 a 100% mayor). Tales países, de no obtener financiación de fuentes externas en condiciones convenientes, pueden verse obligados a optar por alguna solución que requiera menores inversiones iniciales, aun cuando esta solución no sea la más conveniente del punto de vista económico global.

Un programa de desarrollo nuclear significa más que la adquisición de centrales nucleares de proveedores externos. Por supuesto, hoy un país no necesita desarrollar previamente su propia tecnología de reactores de potencia para poder iniciar la producción de energía nucleoelectrica; puede recurrir a los resultados de la experiencia ajena, evitando la necesidad de un largo y complejo programa de desarrollos previos, que involucra cuantiosas inversiones de dinero, materia gris y mano de obra calificada.

Con la compra de su primera central nuclear, un país adquiere simultáneamente una serie de compromisos que no puede dejar de cumplir. Una central nuclear no es una serie autocontenida ni aislada, requiere personal altamente calificado y capacitado, una infraestructura científica y técnica de apoyo, la implementación de legislación nuclear, una adecuada estructura de protección radiosanitaria, normas de seguridad y licenciamiento. Además, la central nuclear debe formar parte de un programa de desarrollo nuclear previamente formulado y luego implementado, ajustado a las posibilidades y necesidades del país. Tal programa generalmente incluye el desarrollo de recursos de combustible nuclear, industrias complementarias del ciclo de combustible, materiales nucleares, transferencia de tecnología y desarrollos propios, educación y capacitación especializada, implementación de la industria nacional, etc. etc. Es condición necesaria contar con una organización capaz de llevar adelante el programa nuclear formulado. No es posible improvisar. La complejidad e importancia del problema requiere conocimientos técnicos, capacidad de decisión, medios materiales y humanos y tiempo.

3.- SITUACION ENERGETICA DE AMERICA LATINA

Al analizar la situación energética mundial, se han considerado la población, la producción económica, el consumo energético global y el grado de electrificación, todos ellos relacionados entre sí. Respecto al mundo, la población de América Latina (280 millones de habit.)* es del orden del 7%, el PBI el 4,5%, el consumo energético global el 3,5% y la producción de energía eléctrica el 3,1%. (2) (25) (26)

En cuanto a los valores por habitante, América Latina se encuentra por debajo del promedio mundial en función de su producción relativamente baja comparada con su población. Tienden a corregir esta posición las relativamente altas tasas de crecimiento de estos indicadores, que resultan mayores que el promedio mundial, situación que previsiblemente se mantendrá en el futuro. Con un crecimiento demográfico del orden de 2,9%, se estima que para el año 2000 A. Latina llegue a tener más de 600 millones de habitantes, que representarán el 10% de la población mundial. Las tasas de crecimiento por habitante del PBI, consumo energético global y energía eléctrica generada son del orden del 3%, 4,6% y 6,4% respectivamente. (2) (14) (24) (25) (26)

Proyectando al año 2000, es de esperar que América Latina consuma del orden de 1.700 millones t.e.c (7% del consumo mundial), o sea 2,8 t.e.c por habitante, lo que a su vez corresponde al 70% del promedio mundial. Si el 50% de la energía se consumiese bajo la forma de energía eléctrica, meta que parece modesta en vista del

*Nota: en el presente trabajo, todos los valores correspondientes a la situación actual son extrapolaciones al año 1974, partiendo de datos estadísticos disponibles para años anteriores.

desarrollo previsto y del promedio mundial esperado, se producirían 2,6 millones GWh por año, lo que equivale a 4.300 KWh por habitante en promedio. Tal desarrollo corresponde a una tasa de crecimiento de la producción de energía eléctrica por habitante del orden del 7% anual acumulativo. La potencia total requerida, que corresponde a dicha generación de energía, sería del orden de 600.000 MW.

La composición del consumo energético global de América Latina muestra un cuadro en el cual predominan los hidrocarburos, que proveen en conjunto del orden del 85% del consumo total. Mientras que el petróleo abastece el 65% del consumo total, el gas natural, cuyo empleo ha tenido un fuerte incremento en los últimos 20 años, provee el 20%. (14) (16)

La participación del carbón ha sido reducida y de tendencia decreciente; actualmente provee del orden del 5% del consumo global. La hidroelectricidad, por otra parte, cuya tendencia de participación ha sido creciente, abastece el 10% restante. Es de notar que en América Latina proviene de las centrales hidráulicas más de la mitad de la energía eléctrica total generada, proporción que resulta prácticamente el doble del promedio mundial. La participación de la energía nuclear es, por ahora, insignificante, dado que se limita al aporte de una única central nuclear (320 MW) que recién en 1974 entró en funcionamiento. Se hace notar, que la contribución de los combustibles vegetales, cuyo empleo muestra una tendencia decreciente, no se ha considerado aquí.

La situación en cuanto a recursos energéticos muestra una relativa abundancia de hidrocarburos y de potencial hidroeléctrico y escasez de carbón. Del orden del 5% de las reservas mundiales de petróleo se encuentran en América Latina, siendo la producción más del doble del consumo interno y aproximadamente el 10% del total mundial. (6) (16) (24)

En carbón, sólo se dispone del orden del 0,2% de las reservas mundiales. El potencial hidroeléctrico se estima en 320.000 MW, del cual hasta ahora sólo el 8% es aprovechado. Para evaluar los recursos energéticos de América Latina, es necesario tener en cuenta que los 20 millones de kilómetros cuadrados de la región, que corresponden casi al 14% de la superficie terrestre, han sido poco explorados hasta el presente. (15) (24)

En cuanto al volumen de los recursos de combustibles nucleares de América Latina, prácticamente resulta imposible arriesgar una estimación global. Los pocos países que iniciaron trabajos de exploración y de desarrollo de reservas han obtenido resultados positivos, de los cuales se puede inferir la existencia de recursos uraníferos adecuados, aun cuando hasta ahora no se han encontrado yacimientos excepcionales que permitiesen la ubicación de América Latina entre las principales regiones uraníferas del mundo. El potencial de thorio, por otra parte, es uno de los más importantes mundialmente.

El panorama de recursos energéticos permite prever, que a nivel latinoamericano, no habrá déficit energético causado por la eventual insuficiencia de los recursos propios, ni a muy largo plazo.

Al analizar la probable evolución futura del consumo energético de América Latina en cuanto a la participación de las diversas fuentes, es necesario tener en cuenta

el panorama mundial, además del propio. La crisis mundial de petróleo y sus consecuencias, tanto económicas como relativas a la seguridad del suministro de energía, indudablemente afectaron a todos los países. La predominante dependencia del abastecimiento energético latinoamericano de los hidrocarburos implica, que los efectos de la crisis se sientan en forma intensa, imponiendo una revisión de las políticas energéticas aplicadas y una probable modificación de las tendencias históricas.

El desarrollo energético futuro de América Latina será el resultado de la sumatoria de las evoluciones individuales de los países que la componen y estas evoluciones a su vez, corresponderán a las políticas energéticas que cada país aplique.

La distribución de la riqueza petrolífera latinoamericana no es homogénea, existen algunos países exportadores mientras que los más importan por lo menos parte de sus requerimientos, significando este rubro una pesada carga para sus respectivas balanzas de pago y economías internas. Para estos últimos países se impone la implementación de una política energética tendiente a la sustitución de derivados del petróleo y por ende a la disminución gradual de la participación de dicho combustible en el consumo energético total. Aún para los países exportadores, cuya seguridad de suministro energético no es amenazada, la sustitución de petróleo resulta atractiva por razones económicas, dada la posibilidad de comercialización de sus excedentes en el mercado mundial a precios que incentivan tal sustitución.

América Latina sólo produce la mitad de sus requerimientos de carbón, aun siendo el nivel de consumo de este combustible relativamente bajo. Considerando las características de su potencial carbonífero y la incidencia relativamente alta del costo de transporte en el precio del carbón, resulta poco probable que este combustible logre alcanzar un rol de importancia en el abastecimiento energético global, contribuyendo de esta manera la sustitución del petróleo. El gas natural, cuyo grado de participación ya resulta relativamente alto, posiblemente mantendrá en el futuro su contribución en el consumo global. (24)

Parece razonable esperar que el aporte principal a una política de sustitución del petróleo provenga de fuentes hidráulicas y nucleares, por intermedio de la generación de energía eléctrica.

Proyectando al año 2000, la situación energética de América Latina podría presentar un cuadro en el cual el 50% del consumo energético global corresponde a la energía eléctrica.

Las diversas fuentes energéticas participarían en la siguiente proporción: petróleo, gas natural y carbón con el 30%, 20% y 5% respectivamente; hidráulica con el 18% y nuclear con el 27%.

Para el sector eléctrico, lo que antecede implica que de los 600.000 MW de potencia total requerida 250.000 MW sean de origen hidráulico, 150.000 MW térmicos convencionales y 200.000 MW nucleares. La generación hidroeléctrica abastecería el 35% de la demanda, la térmica convencional el 10% y la nuclear, operando de base, el 55%.

Aun cuando estas proyecciones indiquen una disminución en la participación de los hidrocarburos, el consumo anual de los mismos prácticamente se triplicaría en valor absoluto. Por otra parte, instalar 250.000 MW en centrales hidráulicas, significa aprovechar casi el 80% de potencial total estimado.

Al evaluar los resultados de proyecciones a largo plazo, como la presente, debe tenerse en cuenta que el objetivo primordial de los mismos consiste en la determinación de las tendencias y de los órdenes de magnitud. Las cifras resultantes podrán obtenerse unos años antes o después del año 2000, como resultado de un desarrollo algo más rápido o lento, sin que esto afecte las conclusiones generales. No debe perderse de vista, que tales análisis a largo plazo no se realizan a los efectos de elaborar la planificación detallada del desarrollo energético, sino para definir las condiciones de contorno que permitan la formulación e implementación de una política energética adecuada.

4.- DESARROLLO DE CENTRALES NUCLEARES EN AMERICA LATINA

Son pocos los países de América Latina que no hayan alcanzado algún grado de desarrollo nuclear.

En la lista de los países miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica figuran 19, que son: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Jamaica, México, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. (9)

Contar con reactores de investigación puede interpretarse como un indicador del grado de desarrollo alcanzado en la utilización de energía nuclear con fines de generación de energía eléctrica; planes respecto a centrales nucleares constituyen una poderosa motivación para la instalación y operación de reactores de investigación. La lista de países latinoamericanos poseedores de tales reactores es la siguiente: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Uruguay y Venezuela. De estos, Argentina, Brasil y México figuran con 5, 3 y 2 reactores respectivamente; cada uno de los demás tiene 1 reactor. Se espera que Perú sea el siguiente país que integre la lista. (9)(14)(15)

Tres países, Argentina, Brasil y México tienen centrales nucleares en construcción y sólo uno, Argentina, opera una planta de este tipo (Atucha, 320 MW). Lo que acontece en estos tres países, influye decisivamente en el desarrollo de América Latina, dado que los mismos reúnen del orden del 65% de la población, potencia instalada y producción de energía eléctrica de la región. En materia de energía nuclear, son indudablemente los más avanzados y sus planes y programas correspondientes marcan las pautas del desarrollo electronuclear esperable en América Latina. Sumando a estos tres, los otros cuatro países que figuran en la lista de poseedores de reactores de investigación (Colombia, Chile, Uruguay y Venezuela), el conjunto reúne más del 80% de la población, potencia instalada y energía eléctrica generada de América Latina. (2)

A los efectos de analizar el probable desarrollo nuclear de la región, se impone estudiar en primer término la situación particular de cada uno de los tres países con centrales nucleares en operación o en construcción.

Argentina (17)(18)(19)

Para abastecer sus 25 millones de habitantes, produce aproximadamente 30.000 GWh con una potencia total instalada del orden de 9.000 MW. La tasa del crecimiento demográfico es de 1,6%. El rol del petróleo y gas natural es predominante (más de 90%) en su abastecimiento energético. La energía hidroeléctrica sólo produce el 13% de la energía eléctrica total generada.

El mercado eléctrico del país es conformado por varios sistemas eléctricos independientes, siendo el más importante el del Gran Buenos Aires-Litoral. La calidad del abastecimiento eléctrico es en general deficiente; existen distorsiones de todo tipo, exceso de autoproducción injustificada, demanda insatisfecha, alto costo de generación y restricciones. A pesar de eso, con su producción de 1.200 kWh por habitante, resulta ser uno de los países más electrificados de América Latina, sólo aventajado en este sentido por Venezuela y Trinidad-Tobago. Su consumo per-cápita casi duplica el correspondiente a Brasil y México. La frecuencia en todo el país es de 50 Hz; la unidad térmica mayor en funcionamiento es de 320 MW y la mayor en construcción de 600 MW; la transmisión se realiza en tensiones de hasta 500 kV.

Argentina posee reservas de petróleo, gas y carbón, pero su producción no llega a abastecer sus requerimientos internos. La importación del petróleo en particular, aun cuando sólo representa del orden de 15-20% de la demanda, es una pesada carga económica, considerando los precios que se pagan (13-16 U\$S/barril FOB). Se encuentran en aplicación medidas restrictivas a la circulación de automotores, a los efectos de reducir el consumo de derivados.

Sus recursos hidroeléctricos totales son del orden de 45.000 MW, con una capacidad de generación anual de 170.000 GWh. Sólo parte de los mismos (10-12.000 MW) corresponde a aprovechamientos para generar energía de base. Menos del 3% del potencial total se encuentra en explotación y aún sumándole las obras en construcción, sólo se llega al 9%. Es de notar que la mayoría de los aprovechamientos posibles del país corresponden a centrales de gran envergadura, ubicados a distancias considerables de los centros de consumo, siendo las inversiones requeridas relativamente elevadas.

Existe una central nuclear de 320 MW en funcionamiento (Atucha), otra de 600 MW en construcción (Córdoba) y una tercera, también de 600 MW, decidida.

Se encuentra en ejecución la interconexión de sistemas eléctricos, de manera de formar antes de 1980 un sistema nacional interconectado, que abarcará más del 90% del mercado eléctrico total del país. La tasa de crecimiento adoptada en la planificación del desarrollo eléctrico del servicio público es del 11,4% para lo que resta de la

presente década, siendo la intención corregir gradualmente las deficiencias existentes. Durante la próxima década, la tasa prevista resulta menor, 10,5%. El equipamiento eléctrico se realiza y se programa principalmente con generación hidroeléctrica y nuclear. La política energética en vigor, que se elaboró sobre la base de análisis electroenergéticos a largo plazo, tiende a la sustitución de hidrocarburos. Es de notar, que las decisiones respecto a la intensificación del desarrollo hidroeléctrico y nuclear, como así también de la producción de carbón nacional, son anteriores a la crisis mundial del petróleo.

De acuerdo con los programas de equipamiento en marcha, para el año 1980 estarán en funcionamiento las primeras dos centrales nucleares, con una potencia eléctrica neta, en conjunto, de 920 MW, que corresponderá aproximadamente al 6% de la potencia total instalada en el país. La generación hidroeléctrica proveerá del orden de 6.000 MW (37% del total) siendo todavía predominante la participación de las usinas térmicas convencionales. Antes de 1985, se prevé la instalación de tres centrales nucleares más, cada una de 600 MW, con lo cual la potencia nuclear pasará a 2.700 MW. Para 1990, la potencia nuclear llegará a casi 7.000 MW (20% del total), mientras que las centrales hidroeléctricas proveerán unos 18.000 MW (50%).

Al año 2000, la generación hidráulica junto con la nuclear proveerá, de acuerdo con las previsiones, el 90% de la potencia total requerida, la que podrá llegar al orden de 80.000 MW. De desarrollarse para esta fecha el 90% (40.000 MW) del potencial hidráulico total estimado, habría unos 30.000 MW en centrales nucleares, que a su vez corresponden al 40% de la potencia total instalada, meta razonable en vista de las características del país y de las previsiones en el orden mundial y latinoamericano.

El desarrollo nuclear argentino se inicia en 1950 con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), aunque cuando existen algunos antecedentes jurídicos anteriores a dicha fecha, por ejemplo un decreto de Septiembre de 1945 que se refiere a minerales nucleares. Sucesivas disposiciones legales reglamentan y completan la estructura legal de la CNEA, que es el ente actualmente a cargo de todo lo relacionado con la energía nuclear, incluyendo entre otros la prospección y producción de uranio y la construcción, licenciamiento y operación de centrales nucleares. La intervención de las empresas de electricidad se ha limitado hasta el presente a la colaboración con la CNEA en estudios de factibilidad y en la formación de personal. A medida que se progrese en la instalación de centrales nucleares, es previsible que las empresas de electricidad intervengan en forma más directa en el sector nuclear, haciéndose cargo de la operación y eventualmente de la construcción de tales centrales. La protección radiológica, el ciclo de combustible y los servicios de apoyo técnico y científico seguirían bajo la esfera de acción de la CNEA.

Los primeros 15 años de la actividad nuclear argentina se concentran en la formación de científicos y técnicos y en la realización de tareas de investigación y

desarrollo. En materia de reactores, el primer curso de especialización se dicta en 1953; en 1957 se realiza la construcción del primer reactor del país (RA-1) junto con los elementos combustibles correspondientes. Este reactor se pone en funcionamiento en febrero de 1958 y se opera desde entonces.

En cuanto a reactores de potencia, hasta 1965 sólo se efectúan estudios de carácter general. En 1965/66 la CNEA realiza el estudio de factibilidad de una central nuclear para la zona del Gran Buenos Aires-Litoral, montando para ello su propia organización. El resultado del estudio es la Central Nuclear en Atucha, cuya construcción se decide en 1967 y se inicia en 1968, firmándose un contrato llave en mano. Antes de la decisión de Atucha, se inician los estudios de factibilidad de la segunda central (Córdoba). Una vez decidida su construcción en 1971, la CNEA prepara las especificaciones, realiza un concurso de ofertas, adjudica y finalmente firma el contrato de instalación en Diciembre de 1973. La construcción de la tercera central nuclear se decide a principios de 1974. Todas corresponden al tipo de reactor uranio natural-agua pesada.

En materia de combustible nuclear, desde la creación de la CNEA, las tareas de prospección, desarrollo de reservas uraníferas, explotación de yacimientos y producción de concentrado se van intensificando. El uranio de la Central Atucha es producido en el país. El volumen de reservas hasta 30 U\$S/lb U₃O₈ es actualmente de 15.000 tU estimándose los recursos en más de 60.000 tU. De acuerdo con la composición geológica del país y los conceptos que actualmente rigen sobre la génesis de los depósitos uraníferos, puede establecerse que de los 2.800.000 km² que cubre el territorio continental argentino, cerca de la mitad presenta posibilidades favorables para la existencia de tales yacimientos. En vista de la creciente demanda interna y la reducida capacidad de producción actual, se ha decidido iniciar la instalación de un complejo minero-fabril en San Rafael (Pcia. de Mendoza), con una capacidad de producción de 600 tU/año. La explotación del complejo previsiblemente se hará a partir de 1979.

La CNEA fabrica elementos combustibles para sus reactores de investigación desde 1957 y ha llegado a producir prototipos para reactor de potencia. Una planta para abastecer de elementos combustibles sus centrales nucleares, con una capacidad anual de 270 tU, se encuentra en proyecto, previéndose su puesta en operación en 1977. Se programa la instalación de una planta de producción de agua pesada, con una capacidad del orden de 600 t D₂O/año.

La integración de la tecnología nuclear es preocupación constante de la CNEA, en particular en lo referente a reactores de potencia; al firmarse el contrato por la adquisición de la Central Córdoba, se concierta un convenio con la Comisión de Energía Atómica canadiense para la transferencia de la tecnología de reactor de potencia uranio natural-agua pesada. La CNEA cuenta actualmente con un personal total del orden de 3.500 agentes, que incluyen unos 700 profesionales y otros tantos técnicos.

La participación nacional en la construcción de centrales nucleares es otro aspecto que se considera de fundamental importancia en el programa nuclear. De un 40% de participación en Atucha, se pasa a más del 50% en la Central Córdoba.

ba, previendo y programando un gradual incremento en cada nueva unidad, hasta alcanzar niveles del orden del 80% a partir de la quinta central. Es de notar, que la política de implementación e incentivación de la industria nacional es de orden general y no se limita a la energía nuclear.

La primera central nuclear ha sido financiada totalmente con recursos provenientes de fuentes externas, como así también más del 60% de la inversión requerida en la segunda, que resulta ser en total del orden de 270 millones de U\$S equivalentes (valor mayo 1972). El programa de inversiones reales brutas del sector nucleoelectrico en el período 1974-1990, se estima en el orden de 4.000 millones de U\$S equivalentes (valor 1973). Para el mismo período, las inversiones requeridas en la industria nuclear complementaria (combustible y moderador) se estiman en el orden de 600 millones de U\$S equivalentes. Estas cifras, en conjunto, significan del orden del 15% de la inversión real bruta estimada en el mismo período para el sector electroenergético global, incluyendo generación, transmisión, distribución e industrias complementarias. Se calcula que la energía nuclear generada entre 1974 y 1990 sustituirá del orden de 50 millones de toneladas de fuel-oil, que a un costo de 100 U\$S/t representaría un gasto total de 5.000 millones U\$S.

Brasil (14)(15)(16)(20)(21)(22)(24)(26)

Los 100 millones de habitantes del país representan el 35% de la población total de América Latina; la tasa de crecimiento demográfico es alta, del orden de 2,9% anual.

El petróleo constituye el componente fundamental de la estructura del consumo energético del país, pero la producción propia sólo alcanza a abastecer la cuarta parte de los requerimientos anuales, que son del orden de 40 millones de toneladas. Dada la cantidad y calidad de sus recursos petrolíferos, Brasil no se puede incluir entre los países ricos en petróleo. Sus reservas de carbón, por otra parte, que entre probadas y calculadas suman más de 10.000 millones de toneladas, son importantes. La producción anual es del orden de 2,5 millones de toneladas, con lo cual Brasil ocupa el primer lugar en América Latina, aun cuando es de notar que dicha cifra equivale a sólo el 4% del consumo energético global del país. La situación brasileña en materia de combustibles convencionales, es netamente deficitaria.

Del orden de 17.000 MW instalados producen aproximadamente 70.000 GWh/año, que equivale a 700 kWh/habitante en promedio para el país entero. La distribución del mercado eléctrico no es homogénea; la región Centro-Sur, con 40 millones de habitantes, consume del orden del 80% de la energía eléctrica total generada. Esta situación, de acuerdo con las previsiones, no se modificaría en las próximas décadas. La producción de energía eléctrica se encuentra bajo el control de Eletrobrás, empresa holding, dependiente del Ministerio de Minería y Energía. La mayor de sus empresas subsidiarias, Furnas Centrais Electricas S.A., se encuentra construyendo la primera central nuclear brasileña, de 600 MW, en Agra dos Reis, a unos 130 km al sur-oeste de Río de Janeiro. Dicha central previsiblemente entrará

en funcionamiento en 1977.

El rol de la energía hidráulica es predominante en el sector eléctrico del Brasil. Más del 80% de la electricidad generada proviene de centrales hidroeléctricas, produciéndose el resto en centrales térmicas convencionales. La capacidad hidroeléctrica instalada representa menos del 10% del potencial hidráulico total, que se estima en el orden de 150.000 MW. Unos 40.000 MW se encuentran ubicados en la región Centro-Sur, 20.000 MW en la región Sur y otros 20.000 MW en el Noreste. La mayor parte del resto corresponde a la región amazónica, muy distante de zonas densamente pobladas y centros de consumo.

Las tasas de crecimiento, tanto del PBI como del consumo energético global y de la energía eléctrica, son relativamente elevadas. De acuerdo con las proyecciones de demanda, para el año 2000 se requerirán del orden de 150.000 MW instalados, de los cuales casi 120.000 MW corresponderán a la región Centro-Sur. Para esta región, la capacidad nuclear prevista para el año 2000 resulta ser del orden de 50.000 MW, o posiblemente más. Para las demás regiones del país, las proyecciones indican el requerimiento de unos 15.000 MW nucleares, de los cuales la mayor parte se ubicaría en la región Sur, y el resto en el Noreste. Para el país entero, la participación nuclear prevista resulta ser en consecuencia, del orden del 43% de la potencia total instalada, o sea 65.000 MW. En la región Centro-Sur en particular, para la fecha considerada, prácticamente la totalidad de los recursos hidráulicos se habría aprovechado.

Para 1980, el aporte nuclear al abastecimiento eléctrico del Brasil se limitará a los 600 MW de la Central de Angra, que se encuentra en construcción desde 1971. Durante la década 1980-1990, se prevé la instalación adicional de 10-15.000 MW nucleares, realizándose el aporte principal a partir de 1990.

En cuanto a los recursos de combustibles nucleares, el potencial uranífero del Brasil aún no está determinado. Se ha desarrollado una intensa actividad de prospección, en especial durante los últimos cinco años, que llevó al descubrimiento de miles de anomalías agrupadas en varias áreas favorables. Las reservas medidas se encuentran en el orden de 2.500 t de uranio (Poços de Caldas). Se prevé, que a medida que progresen los trabajos de prospección y desarrollo de reservas, se descubran suficientes recursos para abastecer la demanda del mercado propio. Es de notar, que Brasil es potencia mundial en cuanto a sus recursos de torio.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), creada en 1956, es el organismo ejecutivo de la política de energía nuclear brasileña. Fue precedida por la creación del Consejo Nacional de Investigaciones en 1951 y la del Instituto de Investigaciones Radiactivas en 1953. En 1956, se crea el Instituto de Energía Atómica (Sao Paulo) y en 1962 el Instituto de Energía Nuclear (Rio de Janeiro). En 1971 se constituye la Compañía Brasileña de Tecnología Nuclear (CBTN), sociedad estatal de econo-

nomía mixta, concebida para actuar como brazo ejecutivo de la CNEN en las áreas industriales y tecnológicas de los reactores de potencia y del ciclo de combustible nuclear. La construcción y operación de las centrales nucleares se encuentran bajo responsabilidad de las empresas de electricidad; en el caso de la Central de Angra, corresponde a Furnas, subsidiaria de Electrobrás.

El desarrollo nuclear de Brasil se inicia con la formación de técnicos y la organización de tareas de investigación. El primer reactor nuclear se instala en 1957 en Sao Paulo y el segundo en 1960 en Belo Horizonte. El tercero, que se encuentra en Río de Janeiro, alcanza criticidad en 1965 y es íntegramente construido en el país. Los primeros estudios tendientes a la instalación de una central nuclear datan de 1959; en 1967 se decide la instalación de la Central de Angra. Luego de un proceso de preselección de oferentes, se realiza la licitación y la adjudicación para un reactor del tipo de uranio enriquecido, moderado y refrigerado por agua natural a presión (PWR). Del orden del 55% del costo de la central, cuya inversión total es de unos 250 millones U\$S, es financiada por fuentes externas. Recientemente se decidió ampliar la capacidad de la central de Angra.

Son objetivos del desarrollo nucleoelectrico del Brasil, implementar la tecnología nuclear nacional e incrementar gradualmente la participación local en la construcción y aprovisionamiento de las centrales nucleares a instalar. La CNEN cuenta con unos 2.200 agentes, de los cuales del orden de 500 son profesionales. El programa nuclear recibe recursos del orden de 35 millones U\$S (equivalentes) anuales, monto que se espera será incrementado en el futuro y que no incluye las inversiones en la instalación de centrales nucleares.

México (12) (14) (15) (23) (24) (25) (26)

El país cubre una superficie de casi 2 millones de km² y su población de 55 millones de habitantes crece con una tasa del 3,2% anual.

La velocidad de desarrollo de México ha sido y es relativamente elevada; mientras el PBI y el consumo energético global se incrementaron con tasas anuales del orden de 7% y 6,3% respectivamente, la producción de energía eléctrica ha crecido con una tasa anual del 9,8% en promedio, durante la década pasada. En este último sector, de acuerdo con lo programado para la evolución de la presente década, se prevé un crecimiento del orden del 11,5% anual.

México cuenta con ciertos recursos energéticos tanto de combustibles fósiles como hidráulicos. Los hidrocarburos abastecen del orden del 85% de su consumo energético global.

Las reservas de petróleo ascienden a unos 700 millones de m³, mientras que su producción cubre menos del 80% de la demanda, que resulta ser del orden de 37 millones de m³ por año. Gas natural es relativamente importante, produciéndose 18.000 millones de m³/año; las reservas equivalen a la mitad de las reservas de petróleo. La producción de carbón por otra parte, que se mantiene en el orden de 1,5

millones de toneladas anuales, es de poca incidencia en el cuadro energético global; su uso prácticamente se limita a la siderurgia. Las reservas probadas de carbón ascienden a unos 180 millones de toneladas, cifra que se eleva a 3.500 millones de t, agregando las calculadas.

Los recursos hidráulicos de México no son abundantes, se estiman en una capacidad de producción anual del orden de 50.000 GWh, que corresponde a una potencia total instalable de 15-20.000 MW. Hasta el presente, la generación hidroeléctrica abasteció prácticamente la mitad del consumo eléctrico, proporción que previsiblemente disminuirá en el futuro, en vista de la magnitud de los recursos disponibles aún no desarrollados. En consecuencia, el rol de la generación termoeléctrica será cada vez más importante.

Aún no se han descubierto en el país recursos uraníferos apreciables, siendo las reservas comprobadas algo más de 4.000 tU a costos inferiores a 15 U\$S/lb U_3O_8 . Existe capacidad de producción de concentrados de uranio, que se está incrementando de 50 tU/año a más del doble. Es intención del país abastecer su demanda con la producción interna, a cuyos efectos se realizan tareas de prospección y desarrollo de reservas. Los indicios son prometedores y hay razones para suponer que las metas fijadas sean alcanzables.

El mercado eléctrico del país se abastece por medio de casi 12.000 MW instalados, que generan del orden de 42.000 GWh/año. La producción de energía eléctrica, en promedio, resulta ser de 770 kWh por habitante. El Sistema Central Interconectado, que incluye a la ciudad de México, es el más importante del país. Los demás sistemas se van interconectando gradualmente con éste, de manera que es de esperar que antes de 1980 prácticamente todo el mercado eléctrico del país se encuentre eléctricamente conectado, excepto las penínsulas de Yucatán y de Baja California. Asimismo, se habrá unificado la frecuencia en 60 Hz. El sector eléctrico se encuentra totalmente bajo control estatal, por intermedio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE); en los aspectos relativos a centrales nucleares, también interviene el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN).

La CFE se encuentra a cargo de la instalación de la primera Central Nuclear de México, que se construye desde 1972 en Laguna Verde, a unos 280 km al este de la ciudad de México y 70 km al norte de Veracruz, sobre el Océano Atlántico. Es una central de 670 MW, con un reactor de potencia tipo uranio enriquecido, moderado y refrigerado por agua natural en ebullición (BWR). Su puesta en marcha se prevé para 1977. Recientemente se ha decidido la instalación de una segunda unidad del mismo tipo, valiéndose de la opción obtenida al adquirirse la primera. Previsiblemente, también esta central se pondrá en funcionamiento antes de 1980.

Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento actual del sector eléctrico y previendo una gradual disminución de dicha tasa en el futuro, resulta que para el año 2000 se generarán del orden de 500.000 GWh, con una potencia total instalada de 130.000 MW.

La participación nuclear será previsiblemente importante ya desde un principio, dadas las condiciones particulares del país, en especial en lo referente a recursos energéticos propios. En 1980 habría 1.340 MW nucleares en funcionamiento, que corresponden al 6% de la potencia total instalada para esta fecha. Para 1990, la potencia nuclear llegaría al orden de 17.000 MW (30 % del total instalado), considerando el aprovechamiento prácticamente total de los recursos hidroeléctricos disponibles. De no concretarse para esa fecha la realización de algún proyecto hidráulico de envergadura, la potencia nuclear probablemente llegará a 20.000 MW. Es de notar, que uno de los mayores aprovechamientos hidroeléctricos posibles (4-5.000 MW), que se encuentra en el área de Usumacinta, involucra la inundación de un área considerable del territorio de Guatemala, lo que le asigna un carácter binacional. Para el año 2000, la participación de potencia nuclear llegará previsiblemente al 50% del total instalado, lo que equivale a 65.000 MW.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear de México se crea en diciembre de 1955, con los objetivos de fomentar, controlar, supervisar y coordinar el uso de la energía nuclear. En 1972 se establece el Instituto Nacional de Energía Nuclear, sucesor de la Comisión anterior, enfatizándose la intención de expandir los usos pacíficos de la energía nuclear para el beneficio del país.

Tal como ocurre en todos los organismos similares, la primera etapa de la evolución en materia nuclear corresponde a la formación de técnicos especializados y a la iniciación de trabajos de investigación y desarrollo, abarcando un espectro amplio. El primer reactor de investigación (PR-1) se pone en funcionamiento en 1968 en el Centro Nuclear en Salazar y un segundo reactor en 1972, en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Los estudios iniciales respecto a la utilización de centrales nucleares datan de los primeros años de la década del sesenta y son de carácter general. En 1966 la CFE, en colaboración con la CNEN, inicia el estudio de factibilidad de una central nuclear, que llega a resultados positivos. En 1969, la CFE decide instalar una Central Nuclear y se realiza un concurso de ofertas. Las gestiones culminan en 1972 con la contratación de la primera unidad nuclear a ser instalada en Laguna Verde.

Además de la producción de energía eléctrica de origen nuclear, es de notar que México se ha interesado seriamente en la aplicación de la energía nuclear para la desalación del agua.

La implementación de la tecnología nuclear y la participación nacional en los proyectos de centrales nucleares, como así también el desarrollo de una industria nuclear complementaria, es preocupación constante de los organismos mexicanos involucrados en este campo.

Otros Países (12)(14)(15)(24)(25)(26)

Exceptuando los tres países anteriormente analizados (Argentina, Brasil y México), los demás países de América Latina no tienen proyectos de centrales nucleares en proceso de realización, ni han formulado planes definidos para la utilización de la energía nucleoelectrica. Estudios generales e inclusive particulares referidos a proyectos especiales se han llevado a cabo en varios países, tales como Chile, Perú y Uruguay, pero estos estudios, por ahora, no han culminado en decisiones concretas. Las características técnicas, económicas y comerciales de las centrales nucleares y las condiciones particulares de los mercados eléctricos y energéticos de estos países, explican tal situación.

Al analizar la situación de la tecnología nucleoelectrica, se ha observado que los módulos comerciales de los reactores de potencia son relativamente grandes, encontrándose actualmente entre 600 y 1.300 MW.

La potencia de la unidad mayor a instalar en un sistema eléctrico queda en principio determinada por la potencia total interconectada, además de consideraciones derivadas de la composición del parque de generación existente y del grado de seguridad de servicio que se quiere obtener. En la práctica, la potencia de la unidad mayor suele ser del orden del 10 al 20% de la potencia total interconectada. Esto significa, que una central de 600 MW, se podría integrar sin inconvenientes a un sistema eléctrico, que interconecta del orden de 3.000 MW como mínimo.

La conveniencia económica de instalar un determinado tipo de central eléctrica depende de los resultados del análisis comparativo de todas las soluciones posibles. La seguridad de abastecimiento del mercado eléctrico a su vez, depende de los recursos propios del país en cuestión y de las características del mercado mundial en caso de no disponerse de fuentes de abastecimiento internas.

Analizando los países de América Latina desde el punto de vista de la posibilidad y eventual conveniencia de la participación de la energía nuclear en su abastecimiento eléctrico, se observa que hasta ahora, excepto en Argentina, Brasil y México, las condiciones imperantes no han favorecido la instalación de centrales nucleares. La reducida magnitud de la demanda de los mercados eléctricos y el pequeño tamaño de los sistemas eléctricos interconectados en particular, sólo admitía la instalación de unidades de generación con potencias muy por debajo de los módulos considerados como comercialmente atractivos para las centrales nucleares. Asimismo, tanto las fuentes hidroeléctricas disponibles, como el petróleo de provisión local o proveniente del exterior a los precios vigentes en el mercado mundial antes de los incrementos recientes, presentaban una fuerte competencia a la energía nuclear. La seguridad de suministro energético de un país no parecía correr riesgos excesivos, aun cuando no se disponía de suficientes recursos propios.

Algunas condiciones que definieron la situación imperante han cambiado bruscamente en función de la crisis de petróleo. El incremento sustancial de los precios de hidrocarburos en el mercado mundial, ha modificado totalmente la situación de com

petencia económica entre centrales nucleares y convencionales a derivados de petróleo, favoreciendo las primeras aún para unidades de mediano o pequeño tamaño. La amenaza a la seguridad de suministro energético ha provocado la reacción de los pueblos, intensificando el deseo e interés en el autoabastecimiento, o en caso si eso no fuese alcanzable por falta de recursos, en la diversificación de fuentes energéticas, favoreciendo las soluciones menos susceptibles a acciones unilaterales o arbitrarias de proveedores externos.

Otras condiciones de contorno van cambiando gradualmente, en función de la evolución de los mercados eléctricos. Los incrementos de la demanda de energía y del grado de electrificación, determinan un rápido crecimiento de los sistemas eléctricos interconectados y por ende, de la potencia óptima de las unidades de generación a instalar. Es de notar, que un sistema eléctrico no sólo crece debido al aumento vegetativo de la demanda del mercado que sirve, sino también por la ampliación del área abarcada, produciéndose además, incrementos bruscos por el efecto de la interconexión entre sistemas eléctricos individuales, tanto regionales como nacionales. A medida que se progrese en el grado de aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos disponibles, se incrementarán los requerimientos del aporte de la generación térmica.

El efecto conjunto de los cambios precedentemente mencionados favorece netamente la evolución de la energía nuclear en América Latina.

Proyectando al futuro y refiriéndose siempre a los países de América Latina excepto Argentina, Brasil y México, se observa que debido al plazo que requiere la realización de una central nuclear, ningún país podrá tener una unidad nuclear en operación para 1980. Antes de 1990, varios podrán concretar la participación nuclear en su abastecimiento energético; es previsible, que se instalen del orden de 10.000 MW nucleares, que representan el 10% de la potencia eléctrica total instalada. Para el año 2000, se estima que se llegará a instalar 40.000 MW nucleares, que corresponden a algo más del 15% de la potencia instalada en ese entonces.

Tales porcentajes resultan ser notoriamente inferiores a los obtenidos en el análisis de la situación mundial, como así también latinoamericana, incluyendo todos los países de la región. Las razones derivan de la relativa abundancia de recursos hidroeléctricos aprovechables en muchos de estos países y de la existencia de excedentes de combustibles convencionales en otros, dándose también casos donde ambas características se presentan simultáneamente en un país determinado. Además, la mayoría de los mercados y sistemas eléctricos involucrados son aún de tamaños reducidos y tardarán cierto tiempo en desarrollarse.

Colombia, Chile, Venezuela, Perú, Paraguay, Bolivia y Costa Rica poseen relativamente importantes recursos hidráulicos aprovechables; en especial Venezuela

y también Ecuador, Bolivia y Colombia son países petroleros. La potencia eléctrica instalada sólo excede los 2.000 MW en cinco países, sin superar en ningún caso los 5.000 MW. Estos son: Venezuela, Colombia, Chile, Perú y Cuba. Cuatro países, Uruguay, Jamaica, Trinidad-Tobago y Panamá poseen una potencia eléctrica instalada entre 500 y 1.000 MW; ninguno de los demás de la región supera los 500 MW.

Los países cuyas características más favorecen el desarrollo nuclear, ya sea en todo su territorio o bien en alguna región particular, son: Jamaica, Cuba, Uruguay, Chile y Perú. Se estima, que de los 40.000 MW nucleares previstos para el año 2000, 30.000 se instalen en estos países. Antes de 1990, sólo estos mismos tendrían centrales nucleares en funcionamiento, las que en conjunto no sobrepasarían los 10.000 MW.

América Latina

De los resultados del análisis de los desarrollos nucleares previsibles se concluye que en el año 1980 sólo habría 5 centrales nucleares en operación en tres países de América Latina: Argentina, Brasil y México, con una potencia total de 2.860 MW, que representa menos del 3% de la potencia eléctrica total instalada en la región.

Para 1990, la potencia nuclear instalada llegaría a unos 50.000 MW, que equivale al 20% de la potencia total instalada en América Latina. El 80% de dicha potencia nuclear (40.000 MW) corresponde a los tres países antes mencionados y el resto (10.000 MW) probablemente se distribuiría entre Cuba, Chile, Perú, Uruguay y Jamaica.

En el año 2000, habrá 200.000 MW nucleares, que corresponden a la tercera parte de la potencia total instalada. El 80% de la potencia nuclear se ubicaría en Argentina (30.000 MW), Brasil (65.000 MW) y México (65.000 MW), distribuyéndose el resto (40.000 MW) entre los demás países de América Latina.

La instalación de 200.000 MW en centrales nucleares significa una inversión real bruta del orden de 100.000 millones U\$S (valor 1974), suponiendo una inversión unitaria del orden de 500 U\$S/kW instalado. Este monto incluye además del costo de instalación de las centrales, una cantidad del orden del 15% del mismo, en concepto de inversiones en la industria nuclear complementaria, principalmente relacionada con el ciclo de combustible. Del orden del 30% de la inversión total correspondería a gastos en divisas, de acuerdo con el desarrollo previsible de la participación local.

REFERENCIAS

- (1) UN Resources and Transport Division, Department of Economic and Social Affairs, World Energy Requirements and Resources in the Year 2000; A/Conf.49/P/420, Geneve (Sept.1971).
- (2) Fremont Félix. World Markets of Tomorrow; Harper & Row, Publishers (1972).
- (3) Weinberg A.M., Hammond R.P.; Global Effects of increased use of Energy, A/Conf.49/P/033, Geneva (Sept. 1971).
- (4) Forecasting Branch, Office of Planning and Analysis USAEC, Nuclear Power 1973-2000, WASH - 1139 (December 1972).
- (5) Ross, Philip N. Implications of the Nuclear-Electric Economy, Conference on Research for the Electric Power Industry, Washington D. C. (December 1972).
- (6) Centro de Investigaciones Energéticas, Combustibles, Información Estadística. Comparada entre Argentina y Otros Países, Buenos Aires (1973).
- (7) Seaborg, Glenn T. Energy and the future; Joint Conference of the Chemical Institute of Canada and The American Chemical Society, Toronto, Canada. (May 25, 1970).
- (8) Dilloway, James A. Energy and economic growth: how close the relation? Energy International (March 1974).
- (9) IAEA; Power and Research Reactors in Member States, Vienna, 1973 Edition.
- (10) IAEA; Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1972; IAEA-155, Vienna (1973).
- (11) Spinrad, B.I. The role of nuclear power in meeting world energy needs; Enviromental Aspects of Nuclear Power Stations. IAEA publication STI/PUB/261. Vienna 1971.
- (12) International Atomic Energy Agency, Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, General Report, Vienna (1973).
- (13) USAEC, Survey of United States Uranium Marketing Activity. WASH-1196 (74). April 1974.
- (14) Vélez, C. Reactores Nucleares en la América Latina, CIEN, A/Conf.49/P/757, Ginebra (Sept. 1971).
- (15) Casa A.F., Perilli M.L., Sansom M.M., L'energia Nucleare nell' America Latina; Notiziario Comitato Nazionale Energia Nucleare, Anno 18, Nro. 1 (Gennaio 1972).

- (16) Végh Villegas, Alejandro, Integración Energética de la Cuenca del Plata, Buenos Aires, (Dic. 1968).
- (17) Csik, B.J., Marrero, H.M., Sarraillet, H.E.; Análisis Electroenergético Argentino, CNEA (dic.1973).
- (18) International Atomic Energy Agency, Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, Argentina, Vienna (1973).
- (19) Alegría, J.L., Coll, J.A., Suter, T. Una breve reseña histórica de la CNEA, Segundo Congreso Argentino de Historia de la Ciencia, Sociedad Científica Argentina (Nov.1972).
- (20) Comissão Nacional de Energia Nuclear. Brasil . Anuario (1972).
- (21) Brazilian Nuclear Technology Corporation. Essential Information (Agosto 1972).
- (22) Castro, J.C.; Lepecki, W., Marques de Souza, J.A., De Moraes Filho, J.E.; A Nuclear Power Forecast for Brazil; A/Conf. 49/P/802, Ginebra (1971)
- (23) Vélez, C. Definición de un Programa de Reactores de Potencia para México; A/Conf. 49/P/788; Ginebra (1971).
- (24) América Latina: Anexo Estadístico 1972; Revista Progreso (Oct. 1973).
- (25) OEA, América en Cifras. Situación Económica (1972).
- (26) CEPAL, Boletín Estadístico de América Latina. Vol VIII, Nro. 2 (Oct.1971)