

# REVISTA ENERGETICA

AÑO 8  
**4/84**

Julio - Agosto/84  
July - August/84



## olade

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

# LOS REACTORES DE PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA EN EL ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA NUCLEOELECTRICO PARA EL PERU

Orlando Constantini, Ignacio Frisancho,  
Victor Cava, Luis Montes

INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR  
LIMA - PERU

## RESUMEN

Se exponen brevemente los resultados del estudio de Planificación Nucleoeléctrica para el Perú, poniendo énfasis en el estudio del mercado eléctrico nacional; la selección de los tamaños apropiados de las plantas nucleoelectricas; y algunos aspectos económicos y de ingeniería, lo que da por resultado la constatación que para nuestro país, y probablemente para países en similar estado de desarrollo al nuestro, los Reactores de Pequeña y Mediana Potencia son los más apropiados y deseables.

## 1. ANTECEDENTES

El Perú, desde la creación de la Junta de Control de Energía Atómica, se ha interesado por estudiar las posibilidades de implementación de un Proyecto Nucleoeléctrico. Como el antecedente concreto más lejano, podemos señalar, el "Anteproyecto para la Utilización de las Aguas del Lago Titicaca" (1960) en el que se incluía la instalación de un reactor nuclear de 100 MWe en los alrededores de Puno, cuya energía serviría para bombear unos 10 m<sup>3</sup>/seg. iniciales de las aguas del Lago Titicaca para finalmente obtener algo más de 1400 MW, en una serie de centrales hidroeléctricas hacia la cuenca del Pacífico, brindando a partir de los 1000 m. s.n.m. agua de regadía para unas 100,000 hectáreas en la Costa Sur del Perú.

En 1976, al ser presentado oficialmente el Plan Nuclear del Perú, se ingresa a una nueva etapa de resurgimiento de estas inquietudes, las que a partir de 1977

comienzan a hacerse realidad en los nuevos planes del gobierno peruano.

Este instrumento de política determina claramente un propósito y una actitud definida del interés del Perú en participar activamente en la obtención de los beneficios que la ciencia y la tecnología nucleares ofrecen.

El Ministerio de Energía y Minas, es desde su creación, el ente del gobierno peruano que se ocupa del sector energético y bajo su ámbito se encuentran el Instituto Peruano de Energía Nuclear y ELECTROPERU.

La Ley Orgánica del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), fue aprobada por Decreto Ley de 5 de julio de 1977, por el cual se constituye en el Organismo Público descentralizado, encargado de promover, asesorar, coordinar, controlar, representar y organizar las acciones para el desarrollo de la energía nuclear y sus aplicaciones en el país de acuerdo con la política del sector Energía y Minas.

Entre sus funciones generales están las de:

- Promover y efectuar investigaciones tendientes a la incorporación y transferencia tecnológica en las aplicaciones de la energía nuclear en los diversos campos de interés nacional.
- Promover, ejecutar y controlar las acciones relacionadas con la utilización de la energía nuclear en las diferentes áreas de aplicación, coordinando con diversos sectores según corresponda.



- Proyectar, construir y adquirir reactores de entrenamiento de investigación y de potencia, así como las instalaciones, equipos y materiales necesarios para impulsar el desarrollo de la energía nuclear.

Una de las primeras acciones, para cumplir con estos objetivos, fue la de capacitar profesionales en las diversas áreas de la ciencia y tecnología nucleares, de modo que a fines de 1982, se formó un grupo de profesionales peruanos con el encargo de realizar un estudio de pre-factibilidad, con el fin de hacer los correspondientes análisis técnico-económicos que permitan obtener alternativas que incluyan la posibilidad de integrar plantas nucleares de potencia, en condiciones adecuadas al sistema de oferta eléctrica.

Este estudio de pre-factibilidad comprende: el análisis del mercado energético y eléctrico actuales y su proyección al futuro, hasta el año 2015; la selección del o los tamaños más convenientes de plantas nucleares de potencia; su localización probable; los aspectos de ingeniería de las principales plantas comerciales probadas y ofertadas en el mercado mundial; los aspectos económicos correspondientes; los recursos humanos requeridos y los actualmente existentes en el país; y los aspectos relacionados con la posible participación nacional.

### POTENCIAL ENERGÉTICO NACIONAL

El Perú posee un importante potencial energético, el que, sin embargo, se encuentra insuficientemente evaluado y desarrollado como se desprende de las cifras que se dan en las siguientes tablas:

TABLE 1  
POTENCIAL ENERGÉTICO NACIONAL -  
FUENTES COMERCIALES

FUENTES	POTENCIAL
Petróleo	835 x 10 <sup>6</sup> Barriles (a)
Gas Natural	641 x 10 <sup>9</sup> pies <sup>3</sup>
Carbón	28 x 10 <sup>6</sup> Toneladas (b)
Hidroenergía	58,000 MW

\*FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

- a) Reservas probadas al 31 - Diciembre - 1981  
Las reservas probables se estiman en 4 x 10<sup>9</sup> Bls.
- b) Incluye reservas probadas (27 x 10<sup>6</sup> Tm), probables (123 x 10<sup>6</sup> Tm) y posibles (850 x 10<sup>6</sup> Tm).

TABLE 2  
RELACION ENTRE LA PRODUCCION Y EL  
POTENCIAL DE FUENTES ENERGÉTICAS  
COMERCIALES

FUENTES	Potencial (a)		Producción 1981	
	10 <sup>6</sup> TEP	%	10 <sup>6</sup> TEP	%
Petróleo	115.2	5.1	9.9	83.9
Gas Natural	15.0	0.7	1.0	8.5
Carbón	18.9	0.8	0.0	
Hidroenergía	2096.3	93.4	0.9	7.6
	<b>2245.4</b>	<b>100.0</b>	<b>11.8</b>	<b>100.0</b>

FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

a) Se considera los potenciales de la Tabla 1.

Vemos que de un potencial total de 2245.4 millones TEP sólo se utiliza 11.8 millones TEP, es decir, aproximadamente un 0.5%, pese a que en casi todo el territorio nacional existen problemas de suministro eléctrico no sólo en pequeñas localidades sino incluso en capitales departamentales.

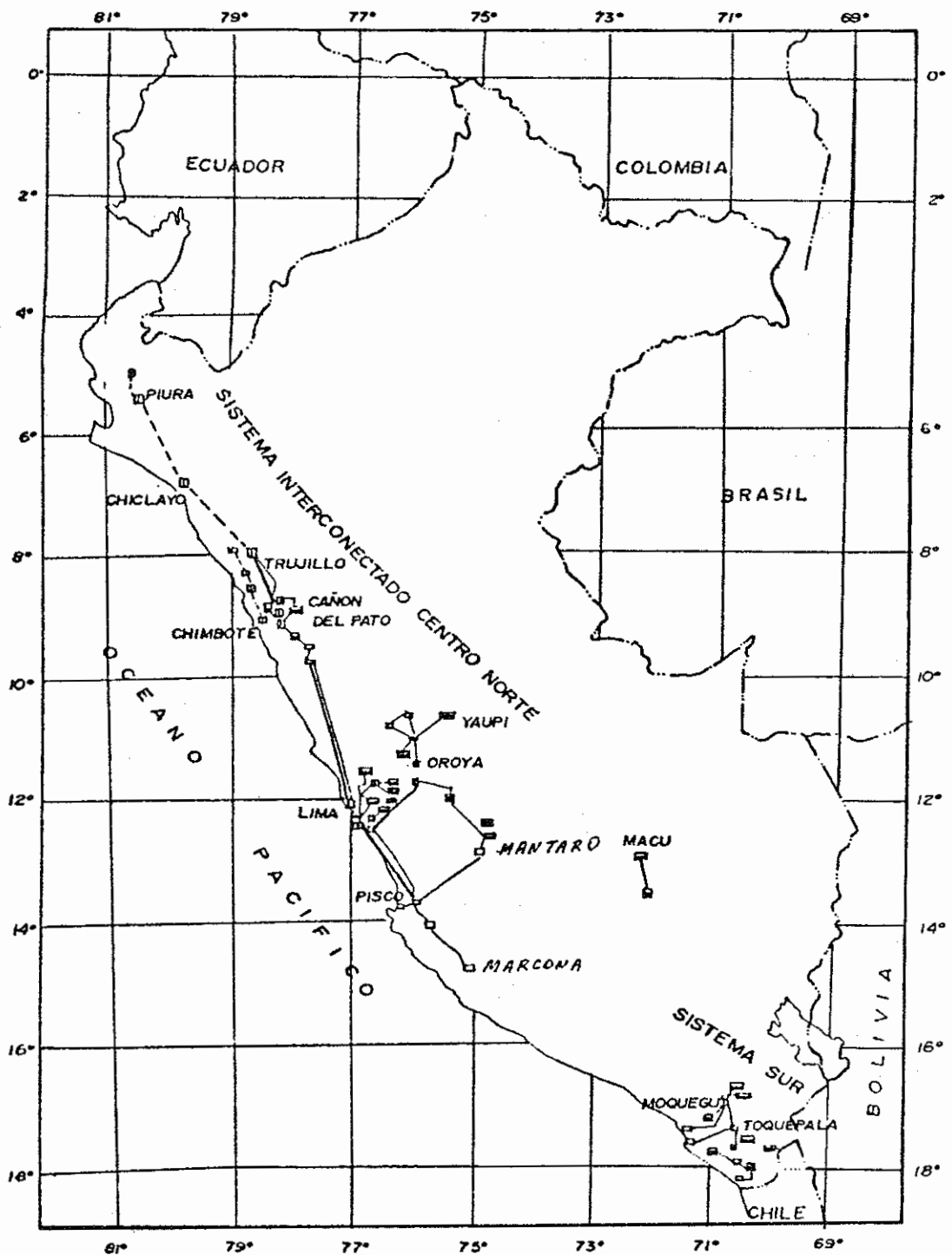
Los análisis realizados respecto a la producción y reservas de petróleo nos hacen ver que, de no descubrirse mayores existencias de petróleo, corremos el riesgo de pasar, a muy corto plazo, de pequeños exportadores del mismo a importadores.





El objetivo debe ser, pues, el mayor aprovechamiento posible de la hidroelectricidad, con el fin de disminuir el consumo de petróleo, complementándola con otros recursos energéticos como la nucleoelectricidad, y la geotermia, por ejemplo, en los plazos más cortos, técnica y económicamente compatibles.

### 2. ESTUDIO DE MERCADO

En el Perú el Sector Energía y Minas a través de ELECTROPERU, ha planificado la expansión de los sistemas eléctricos mediante la gradual integración del conjunto de equipos de generación, transmisión, transformación y distribución de energía eléctrica con el objeto de conformar sistemas interconectados que permitan la transferencia de energía eléctrica en cualquier sentido, reduciendo costos y garantizando, además, el abastecimiento y la estabilidad del sistema. En este sentido se han previsto tres sistemas interconectados: Centro - Norte, Sur - Oeste y Sur - Este; siendo el primero el más grande involucrando a la región de mayor demanda eléctrica por comprender a los centros industriales y mineros más importantes.

Esta situación indica que la localización de la central nuclear debería estar en la región de influencia del sistema Interconectado Centro-Norte, tal como se muestra en la Fig. 1.

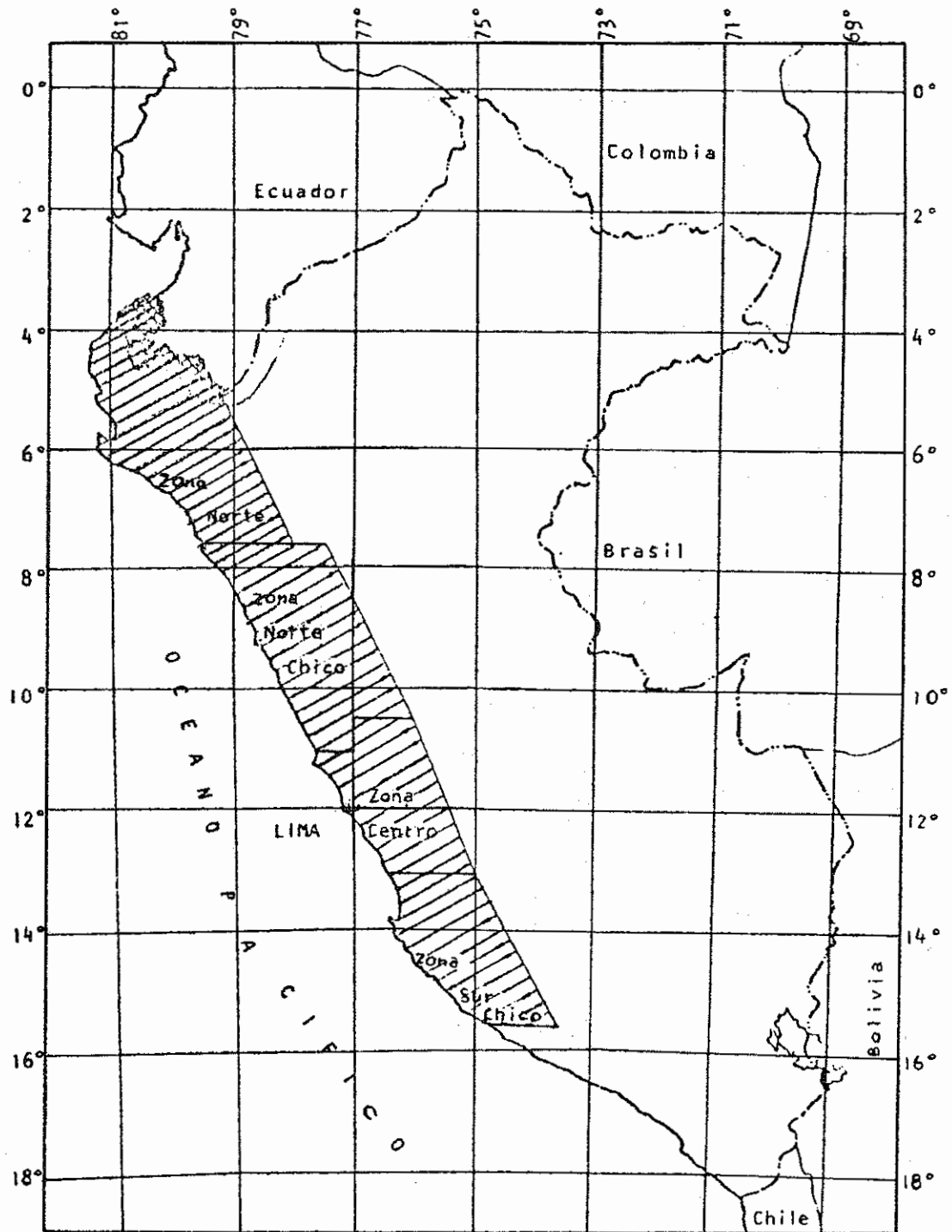



CENTRAL HIDROELECTRICA   
 SUB ESTACION   
 LINEA DE TRASMISION EXISTENTE   
 LINEA DE TRASMISION PROYECTADA 

IPEN  
 PROYECTO NUCLEOELECTRICO  
 Emplazamientos  
 Plano mostrando los sistemas  
 interconectados del Perú

FUENTE: ELECTROPERU

FIGURA 1



 Zona del "Area de Interés"

IPEN  
PROYECTO NUCLEOELECTRICO

Emplazamientos  
 Plano mostrando el Area de Interés

**FIGURA .2**

La zona de interés mostrada en la Fig. 2 comprende la faja costera, árida y desértica, con secciones agrícolas poco extensas a lo largo de los pequeños ríos que la cruzan transversalmente y la parte occidental de la Cordillera de los Andes que avanza paralela a la costa, con un topografía abrupta, de clima seco y frío pese a estar en plena zona tropical.

La tasa de crecimiento de su población concentrada en poblaciones y dispersa fuera de los centros poblados en porcentaje entre 1972 y 1980 se muestra en la siguiente tabla 3:

Las cifras de este cuadro se explican por la migraciones de grandes contingentes de población hacia las ciudades más desarrolladas, debido a la mayor concentración de industrias y otras actividades productivas y que por tanto ofrecen mayores oportunidades de progreso personal.

El consumo de energía eléctrica a nivel nacional ascendió en 1980 a 8,526 millones de Kwh habiendo evolucionado con una tasa de incremento promedio de 5.6% en el período 1969-1980. (Ver Tablas 4, 5, 6 y 7).

**TABLA 3  
TASAS DE POBLACION**

REGION	COSTA	SIERRA
<b>Norte</b>		
Concentrada	4.8	3.2
Dispersa	1.4	-0.4
<b>Centro</b>		
Concentrada	4.25	4.5
Dispersa	-5.39	1.6
<b>Todo el País</b>		
Concentrada	4.4	4.65
Dispersa	-0.24	0.35

**TABLA 4  
PRODUCCION Y CONSUMO  
DE ENERGIA ELECTRICA**  
(Millones de Kwh)

AÑO	SECTORES					CSP	TOTAL CONSUMO	PER	PRODUC- CION
	RYC	AGR	PSQ	MMT	IND				
1969	1306	312	145	1681	1381	16	4781	447	5288
1970	1440	324	130	1683	1419	17	5013	516	5529
1971	1417	330	165	1612	1772	19	5315	634	5949
1972	1655	338	76*	1731	1866	21	5687	602	6289
1973	1775	347	70*	1841	1995	23	6051	604	6655
1974	1973	366	86*	1910	2133	24	6493	783	7276
1975	2206	357	86*	1903	2376	27	6955	531	7486
1976	2290	349	85*	1958	2320	29	7031	880	7911
1977	2605	360	198*	2209	2267	35	7675	952	8627
1978	2546	360	198*	2337	2291	35	7767	998	8765
1979	2755	384	221*	2522	2464	35	8381	1092	9473
1980	2797	392	222*	2459	2609	47	8526	1096	9622
Creci- miento %	7.8	1.7	4.4	4.2	5.5	9.5	5.6	8.3	5.9

\* Datos no considerados para el ajuste estadístico

FUENTE: Balance Nacional de Energía  
Ministerio de Energía y Minas



**TABLA 5**  
**ESTRUCTURA PORCENTUAL DEL CONSUMO**  
**DE ENERGIA ELECTRICA POR SECTORES**  
**ECONOMICOS**  
 (%)

AÑO	SECTORES					CSP	TOTAL CONSUMO	PER	PRODUCCION
	RYC	AGR	PSQ	MMT	IND				
1969	24.7	5.9	2.7	31.8	26.1	0.3	91.5	8.5	100.0
1970	26.0	5.9	2.4	30.4	25.7	0.3	90.7	9.3	100.0
1971	23.8	5.5	2.8	27.1	29.8	0.3	89.3	10.7	100.0
1972	26.3	5.4	1.2	27.5	29.7	0.3	90.4	9.6	100.0
1973	26.7	5.2	1.1	27.7	30.0	0.3	90.9	9.1	100.0
1974	27.1	5.0	1.2	26.3	29.3	0.3	89.2	10.8	100.0
1975	29.5	4.8	1.1	25.4	31.7	0.4	92.9	7.1	100.0
1976	28.9	4.4	1.1	24.8	29.3	0.4	88.9	11.1	100.0
1977	30.2	4.2	2.3	25.6	26.3	0.4	89.0	11.0	100.0
1978	29.0	4.1	2.3	26.7	26.1	0.4	88.6	11.4	100.0
1979	29.1	4.1	2.3	26.6	26.0	0.4	88.5	11.5	100.0
1980	29.1	4.1	2.3	25.6	27.1	0.5	88.6	11.4	100.0

FUENTE: Columna Nacional de Energía  
 Ministerio de Energía y Minas

RYC: Residencial y Comercial      MMT: Minero metalúrgico  
 AGR: Agricultura y Agroindustria      IND: Industrial  
 PSQ: pesquería e industria pesquera      CSP: Consumo Propio  
 PER: Pérdidas

**TABLA 6**  
**EVOLUCION DE LA PRODUCCION DE ENERGIA**  
**ELECTRICA POR TIPO DE GENERACION**

AÑO	HIDRAULICA		TERMICA		TOTAL
	GWh	%	GWh	%	GWh
1969	3701.0	70.0	1507.0	30.0	5288.0
1970	3820.6	69.1	1708.2	30.9	5528.8
1971	4282.9	72.0	1666.0	28.0	5948.9
1972	4536.3	72.1	1753.0	27.9	6289.3
1973	4769.1	71.7	1886.2	28.3	6655.3
1974	5220.4	71.7	2054.8	28.3	7275.2
1975	5470.0	73.0	2016.2	27.0	7486.2
1976	5797.7	73.3	2113.4	26.7	7911.1
1977	6027.0	69.9	2600.0	30.1	8627.0
1978	6198.0	70.7	2567.0	29.3	8765.0
1979	6695.0	70.7	2778.0	29.3	9473.0
1980	7228.8	75.1	2393.5	24.9	9622.3
1981	8684.6	82.8	1804.1	17.2	10488.7
Incremento Promedio Anual %	6.6		5.2		5.9

FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

**TABLA 7**  
**EVOLUCION DE LA PRODUCCION DE**  
**ENERGIA ELECTRICA POR TIPO DE SERVICIO**

AÑO	SERVICIO PUBLICO		AUTOPRODUCTORES		TOTAL GWh
	GWh	%	GWh	%	
1970	2929.7	53.0	2599.5	47.0	5528.8
1971	3296.8	55.4	2652.1	44.6	5948.9
1972	3525.2	56.0	2764.1	44.0	6289.3
1973	3892.2	58.5	2763.1	41.5	6655.3
1974	4315.5	59.3	2959.6	40.7	7275.2
1975	4665.7	62.3	2820.5	37.7	7486.2
1976	5031.9	63.6	2879.2	36.4	7911.1
1977	5349.6	62.0	3277.4	38.0	8627.0
1978	5489.8	62.6	3275.0	37.4	8764.8
1979	6184.3	65.3	3288.8	34.7	9473.1
1980	6612.5	68.7	3009.8	31.3	9622.3
1981	7698.7	73.4	2790.0	26.6	10488.7
Incremento Promedio Anual	8.3		3.1		5.9

FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

Por otra parte, la proyección de la demanda de energía para la zona Centro-Norte nos da una evolución, como la que se muestra en los gráficos 1 y 2.

Para satisfacer, en parte, estas demandas se han considerado los siguientes proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos, que se muestran en los gráficos N° 3, 4 y 5.

Sin embargo, debemos hacer notar que, frente a las dificultades, tanto económicas como técnicas, que se presentan para el desarrollo de algunos de estos proyectos, se hace necesario considerar otras alternativas, incluyendo entre ellas la nuclear.

### 3. EL TAMAÑO DE LA PLANTA NUCLEAR

Considerando unos 12 años como promedio de implementación de una Planta Nucleoeléctrica, en nuestros países en desarrollo, hasta el momento de su puesta en operación comercial, y teniendo en cuenta una evolución de la demanda eléctrica, para nuestro Siste-

ma Interconectado Centro-Norte, en las magnitudes siguientes:

AÑO	DEMANDA EN MWe
1983	1190.3
1987	1810.8
1991	2512.5
1995	3127.1
2000	4150.8
2005	5595.7
2006	5985.5
2010	7915.7
2015	10776.6

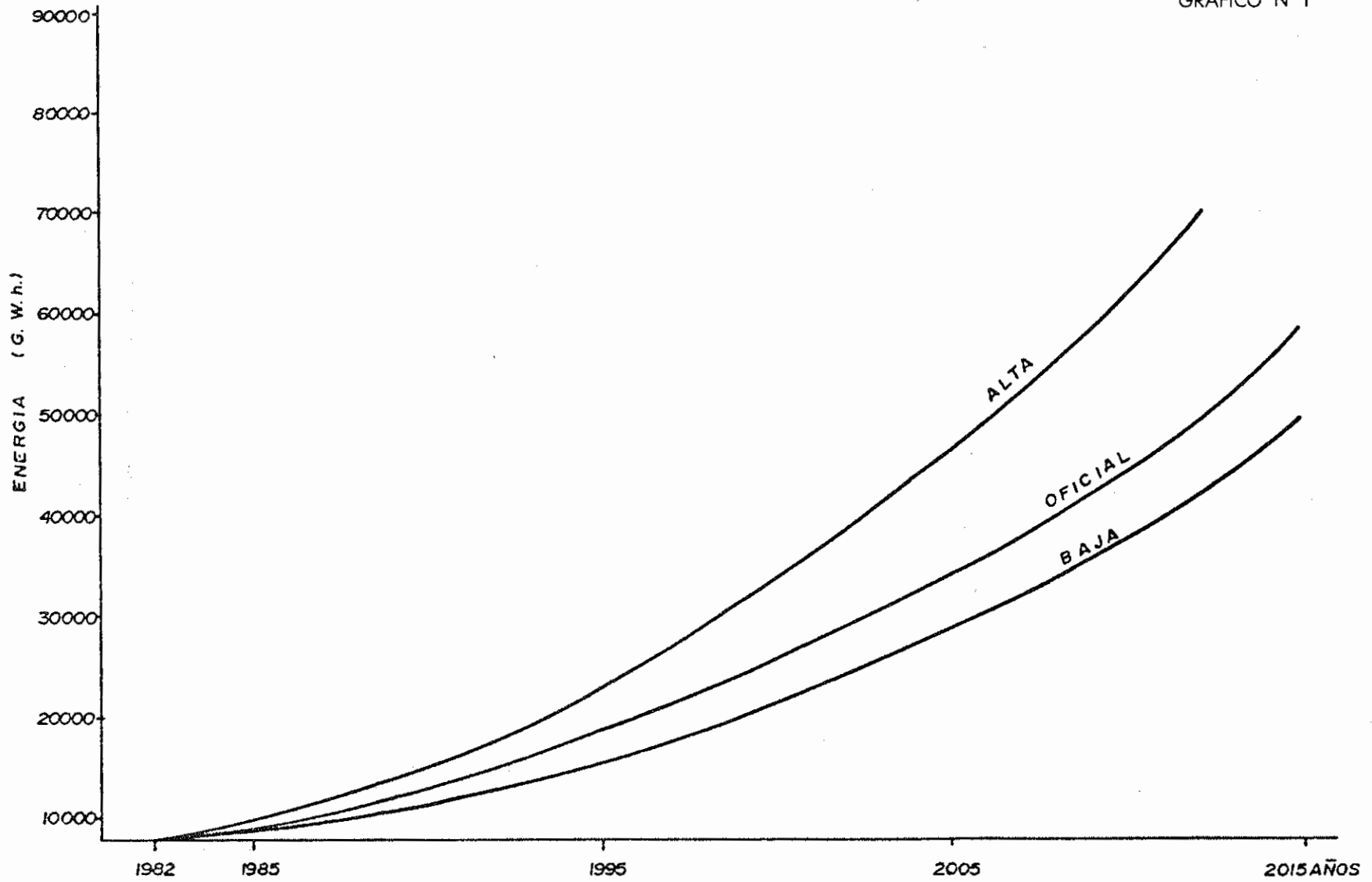
y, aceptando, además, que la seguridad del servicio aconseja que la mayor unidad del sistema no exceda el 10% de la demanda del sistema interconectado, vemos que a partir del año 1995, este sistema ya podría admitir plantas de 300 MWe; a partir del año 2000 podría admitir plantas de 400 MWe y a partir del año 2007, lo podría hacer con plantas del orden de los 600 MWe, siendo éstos los tamaños que con preferencia estamos considerando en el estudio y que caen dentro del rango de los RPMP, con un techo superior de 600 MWe.

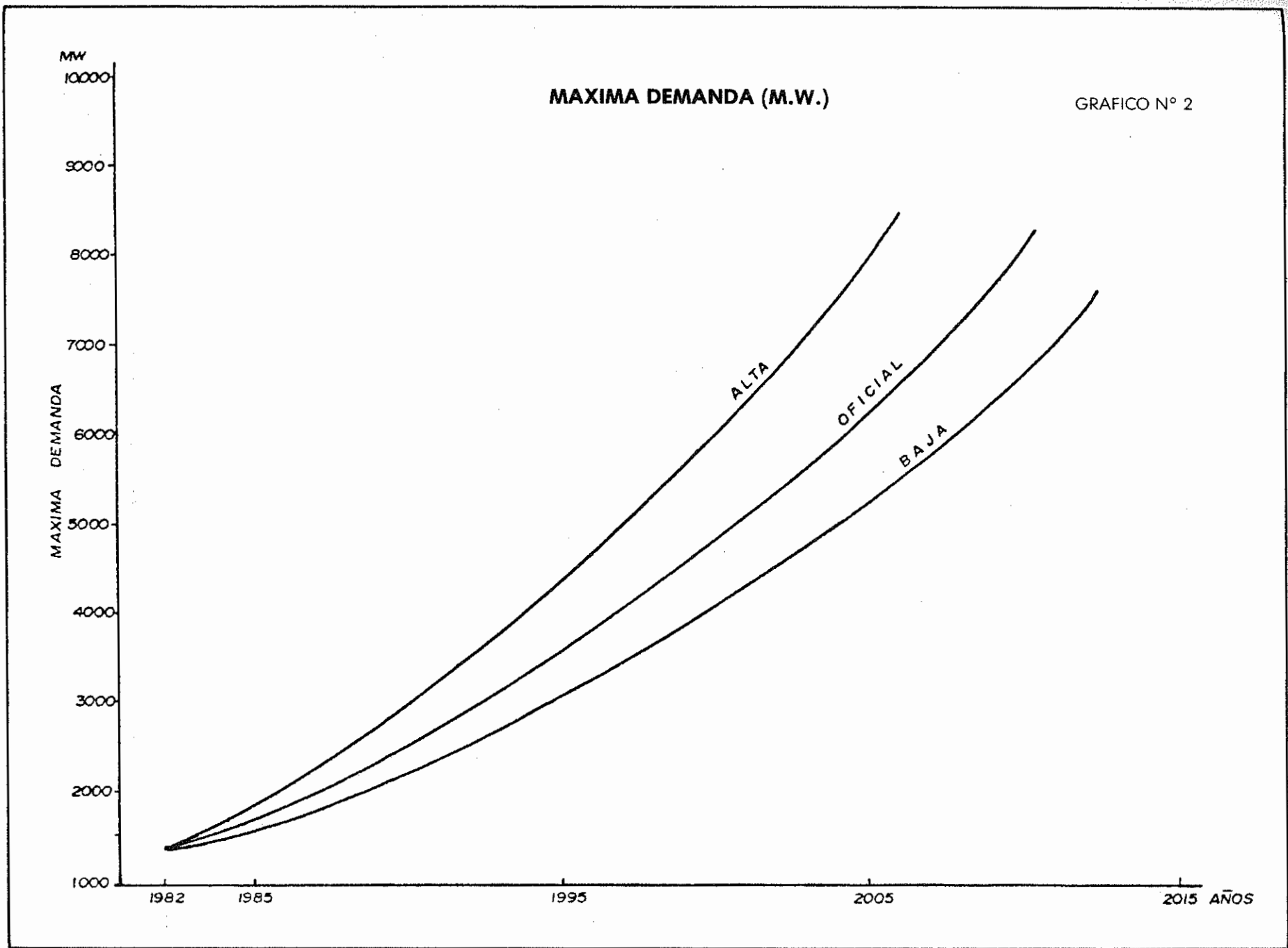




ENERGIA (GWh)

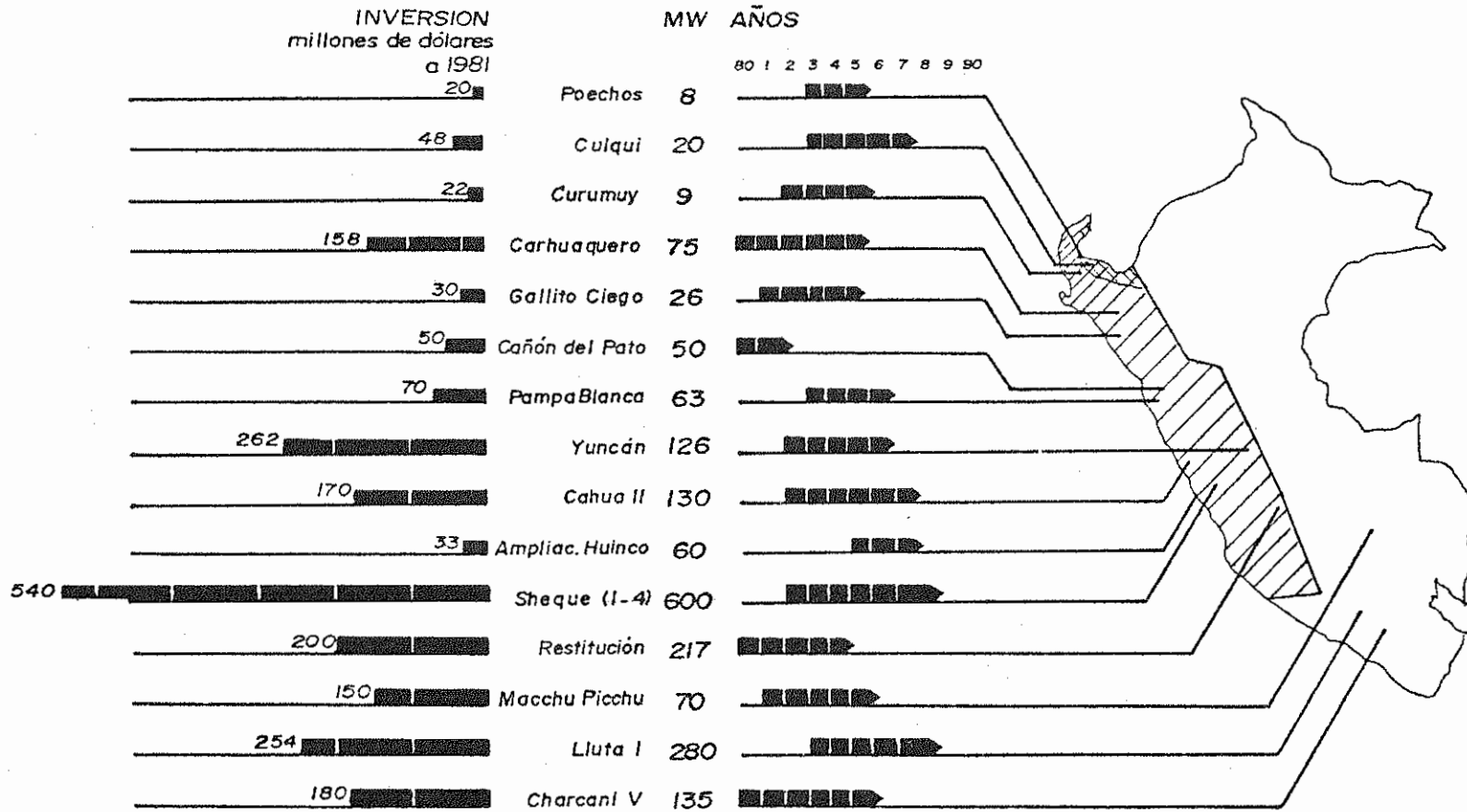
GRAFICO N°1

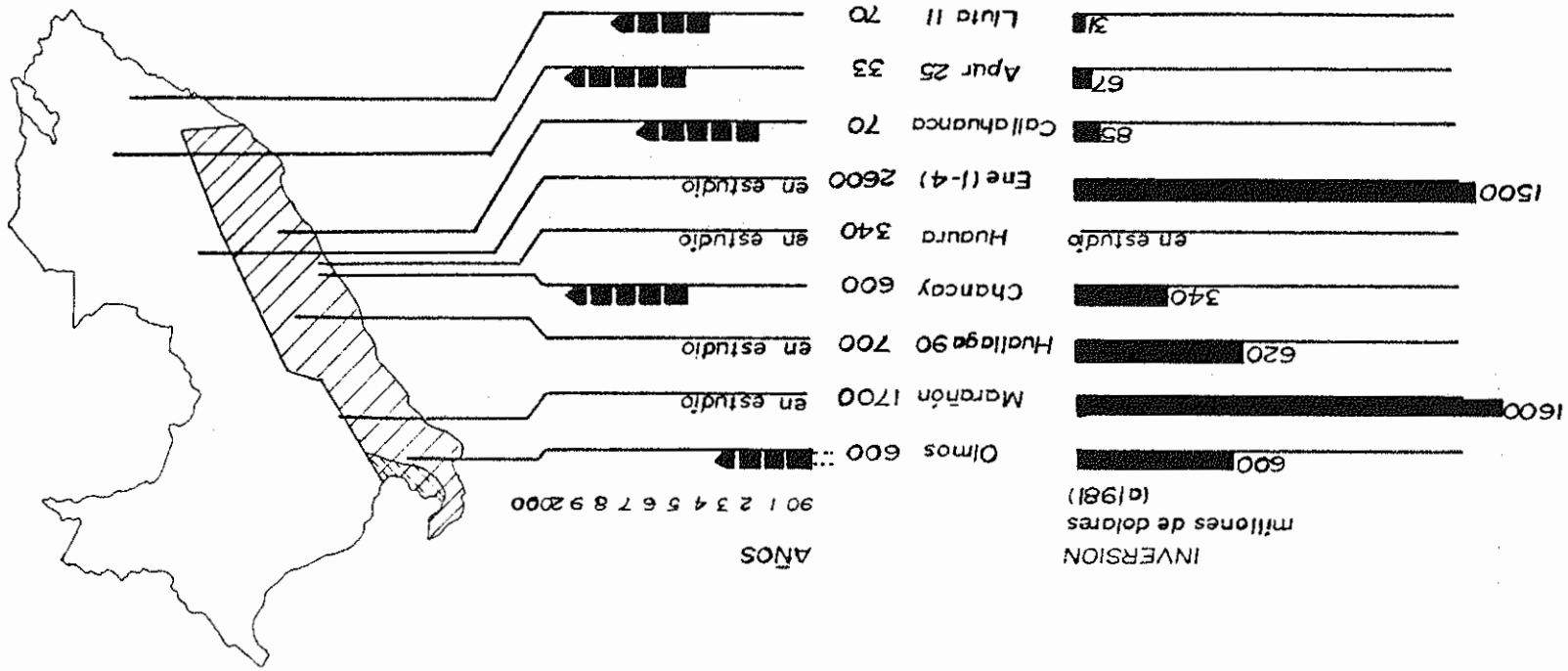




### PRINCIPALES PROYECTOS HIDROELECTRICOS 1980 - 1990

GRAFICO N° 3





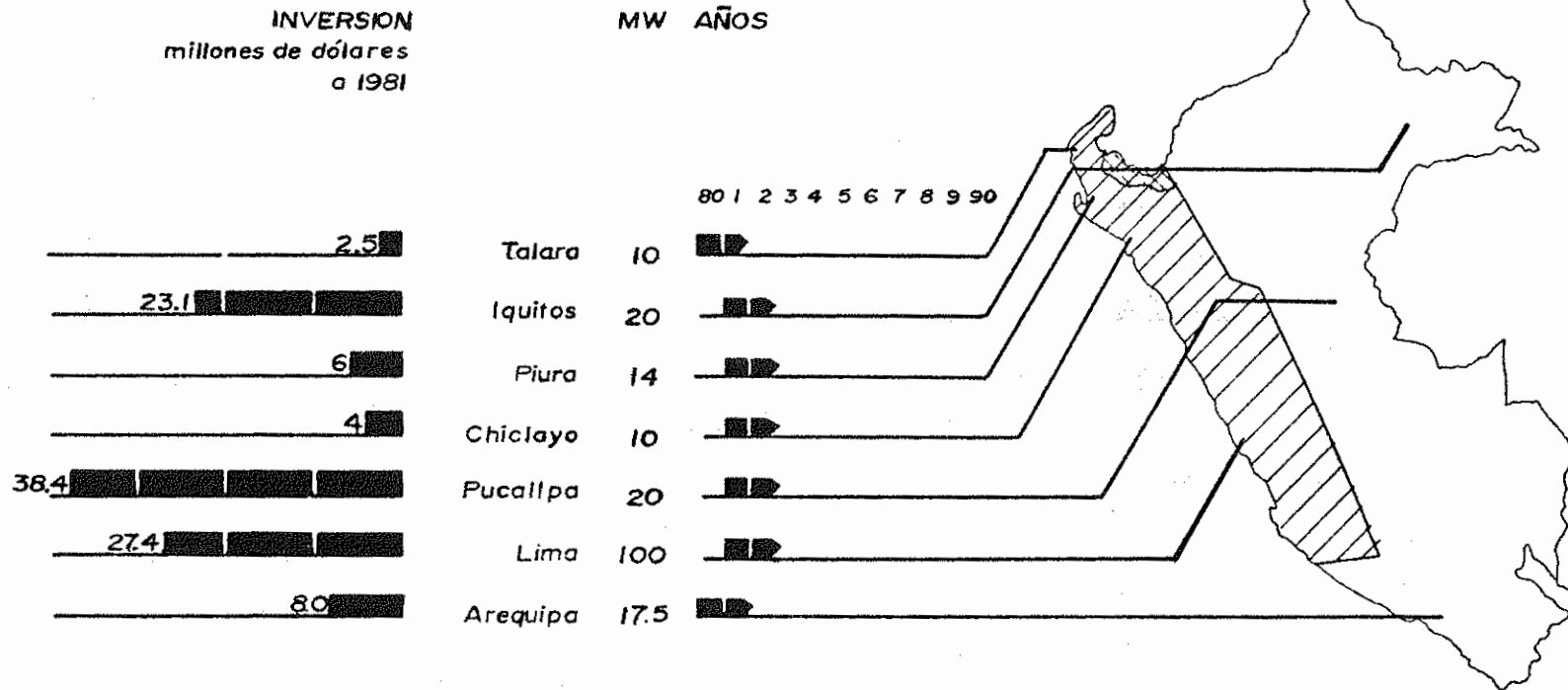
**PRINCIPALES PROYECTOS HIDROELECTRICOS 1990-2000\***

(\*) En proceso de revisión  
MW

GRAFICO Nº 4

# PROYECTOS TERMOELECTRICOS 1980-1990

GRAFICO N° 5



#### 4. ALGUNOS ASPECTOS DE INGENIERIA

Las características técnicas de las plantas nucleares de potencia comercialmente más utilizadas a nivel mundial, son bastante bien conocidas, y existen otros aspectos igualmente importantes.

En primer lugar se encuentra la **disponibilidad de recursos hídricos** para generación de energía eléctrica que en el Perú, alcanzan a los 58000 MW, estando, por desgracia, la mayoría de estos recursos bastante alejados de los centros de consumo, lo cual, en caso de querer utilizarlos, redundará en un incremento muy significativo de sus costos debido a las fuertes inversiones que habrá que realizar en el desarrollo de la infraestructura de caminos y comunicaciones en general, así como del tendido de largas líneas de transmisión que sobrepasen la Cordillera de los Andes.

Por otro lado no es aconsejable desarrollar un abastecimiento de energía eléctrica basado exclusivamente en recursos hídricos que puedan, como ya tenemos experiencia, conducir a un desabastecimiento por defecto de los mismos.

De modo que, en este caso, resulta muy conveniente analizar la alternativa nuclear.

En segundo lugar, la **disponibilidad de combustibles fósiles** que, en nuestro caso, como dijimos, las reservas están en los siguientes órdenes de magnitud:

Petróleo	800 x 10 <sup>6</sup> barriles
Gas Natural	650 x 10 <sup>6</sup> pies <sup>3</sup>
Carbón	28 x 10 <sup>6</sup> T.M.

Respecto al petróleo, nuestras reservas no son muy grandes, y si bien hasta hoy hemos podido abastecer nuestras necesidades, a mediano plazo no sabemos si aún podremos seguir autoabasteciéndonos.

El carbón que existe en el Perú es de difícil explotación y no siempre de buena calidad.

Este es otro argumento que obliga a estudiar la alternativa nuclear.

En tercer lugar, los **recursos uraníferos**, los trabajos de prospección realizados en los últimos años, nos hacen pensar con optimismo en su existencia, no en una, sino en varias regiones del territorio nacional tal como se expone en los trabajos e informes correspondientes.

En cuarto lugar tenemos **el impacto sobre el desarrollo científico y tecnológico del país**, que significan las diversas actividades que un país se obliga a realizar antes, durante y después de la implementación de los correspondientes proyectos nucleoelectrónicos, en estos campos del desarrollo de la ciencia y de la tecnología, no sólo en lo que significa capacitación humana, sino, también, desarrollo de la investigación y la industria en general.

#### 5. CONCLUSIONES

- a) Para países como el Perú, que, a pesar de contar con recursos hidráulicos considerables, que no son de fácil desarrollo, conviene analizar la alternativa nuclear.
- b) Dentro de la alternativa nuclear la decisión, en cuanto al tamaño de las plantas, habrá que tomarla dentro de los rangos que incluyen a los RPMP.

# SMALL - AND MEDIUM - CAPACITY REACTORS AND THE NUCLEAR POWER PLANNING STUDY IN PERU

**Orlando Constantini, Ignacio Frisancho,  
Victor Cava and Luis Montes**

PERUVIAN INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY  
PERU

## SUMMARY

The results of the Nuclear Power Planning Study for Peru are discussed briefly, with emphasis on the study of the national electricity market; the selection of suitable plant size; and some economic and engineering aspects, all of which lead to the confirmation that for our country and, most likely, other countries having similar states of development, small- and medium- capacity reactors are the most appropriate and most desirable.

## 1. BACKGROUND

Since the creation of the Atomic Energy Control Board, Peru has been interested in studying the possibilities of implementing a nuclear power project. As the earliest concrete antecedent, we can cite the Proposal for a Project for the Use of Water from Lake Titicaca (1960), which included the installation of a 100-MWe nuclear reactor in the outskirts of Puno, the energy from which would initially pump some 10 m<sup>3</sup>/s of water from Lake Titicaca, eventually yield more than 1400 MWe in a series of hydropower plants along the Pacific Basin, and provide irrigation water for some 100,000 hectares on Peru's southern coast, at altitudes of more than 1000 meters above sea level (1).

In 1976, when Peru's Nuclear Power Plan was officially submitted, a new stage began in which these concerns began to surface once again; as of 1977 they began to materialize in the new plans of the Peruvian Government.

This policy instrument determines clear and definite aims and attitudes, reflecting Peru's interest in participating actively in, and reaping benefits from, nuclear science and technology (2).

The Ministry of Energy and Mines, since its creation, has been the entity of the Peruvian Government that has concerned itself with the energy sector; and under its auspices fall the Peruvian Institute of Nuclear Energy and ELECTROPERU.

The by-laws of the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN) were approved by Law-Decree on July 5, 1977, thereby constituting a decentralized public organization in charge of promoting, advising, coordinating, controlling, representing and organizing nuclear energy development activities and their application in the country, in keeping with the policy for the energy and mining sector.

Among its general functions figure the following:

- To promote and carry on research geared to the incorporation of, and transfer of technology in, nuclear energy applications in the different fields of national interest.
- To promote, carry out and monitor activities related to the use of nuclear energy in the different areas of application, coordinating with the different sectors, as necessary.
- To plan, construct and purchase experimental

research and power reactors, as well as the facilities, equipment and materials needed to spur the development of nuclear energy.

In order to fulfill these objectives, one of the first actions was to train professionals in the different areas of nuclear science and technology, so that by the end of 1982 a group of Peruvian professionals was formed to be in charge of carrying out a prefeasibility study and the corresponding technical and economic analyses that would make it possible to discern alternatives, including the possibility of integrating nuclear power plants under conditions suitable for the electric power supply system.

This prefeasibility study included: analyses of current energy and electric power markets and their projection to the future (up to the year 2015); selection of one or more convenient nuclear plant sizes; locating of probable sites; engineering aspects for the main commercial plants already tested and available on the world market; relevant economic aspects; human resources required and those currently existing in the country; and aspects related to possible national participation.

### Another Energy Potential

Peru has an important energy potential, which nonetheless has been insufficiently evaluated and developed, as can be seen in the figures in the following tables:

TABLE 1  
NATIONAL ENERGY POTENTIAL  
COMERCIAL SOURCES

SOURCE	POTENTIAL
Oil	835 x 10 <sup>6</sup> barrels (a)
Natural Gas	641 x 10 <sup>9</sup> cubic feet
Coal	28 x 10 <sup>6</sup> tons (b)
Hydroenergy	58,000 MW

SOURCE: Ministry of Energy and Mines

- a) Proven reserves as of December 31, 1981  
Probable reserves are estimated as 4 x 10<sup>9</sup> barrels.
- b) Including proven reserves (27 x 10<sup>6</sup> metric tons), probable reserves (123 x 10<sup>6</sup> metric tons) and possible reserves (850 x 10<sup>6</sup> metric tons).

TABLE 2:  
RATIO BETWEEN PRODUCTION AND  
POTENTIAL OF COMMERCIAL  
ENERGY SOURCES

SOURCE	POTENTIAL (a)		1981 Production	
	10 <sup>6</sup> TOE	%	10 <sup>6</sup> TOE	%
Oil	115.2	5.1	9.9	83.9
Natural Gas	15.0	0.7	1.0	8.5
Coal	18.9	0.8	0.0	
Hydroenergy	2096.3	93.4	0.9	7.6
	<b>2245.4</b>	<b>100.0</b>	<b>11.8</b>	<b>100.0</b>

SOURCE: Ministry of Energy and Mines

- a) Considering the potentials from Table 1.

Thus, it can be seen that of a total potential of 2245.4 million TOE, only 11.4 million TOE are being used, i.e., approximately 0.5%, despite the fact that throughout almost all of the national territory there are electricity supply problems, not only in small settlements but even in departmental capitals.

The analyses done with respect to oil production and reserves show that if larger amounts of oil are not found, the country will run the risk of going, in the short term, from a small exporter to an importer.

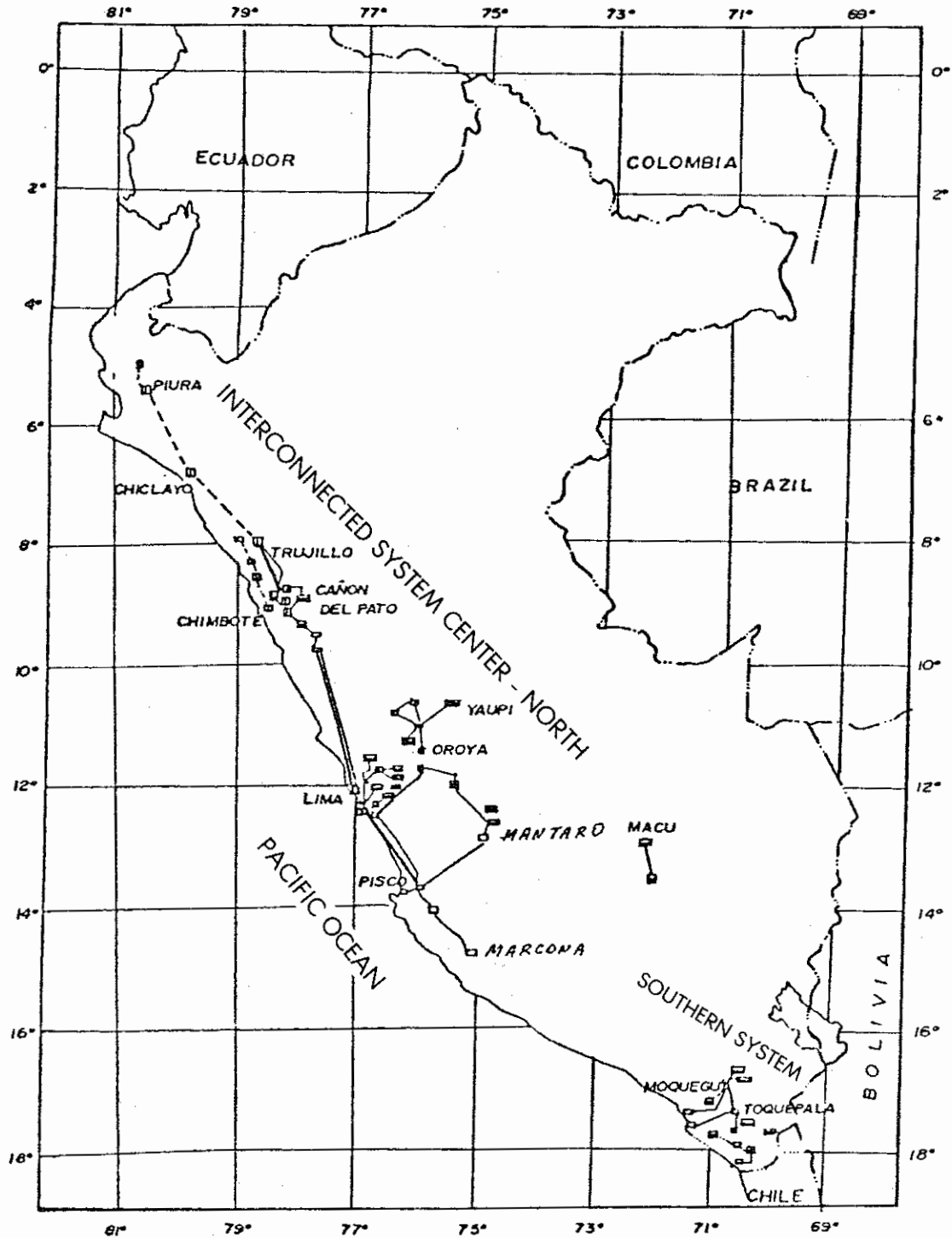
Our aims should thus be to tap hydroelectricity as much as possible, in order to reduce oil consumption, and to complement it with other energy resources such as nuclear power and geothermal, for example, in the shortest technically and economically compatible time period.





## 2. MARKET STUDIES

In Peru the energy and mining sector, through ELECTROPERU, has planned the expansion of the electric power systems through the gradual integration of electricity generation, transmission, transformation and distribution equipment, for the purpose of forming interconnected systems that will permit the transfer of electricity in any direction, while reducing costs and guaranteeing supply and system stability. In this regard, three interconnected systems have been foreseen: Center-North, South-West and South-East, the first being the largest and involving the region having the largest electric power demand since it embraces the major industrial and mining centers.

This situation indicates that the location of the nuclear power plant should fall within the area of influence of the Center-North interconnected system, as shown in Figure 1.





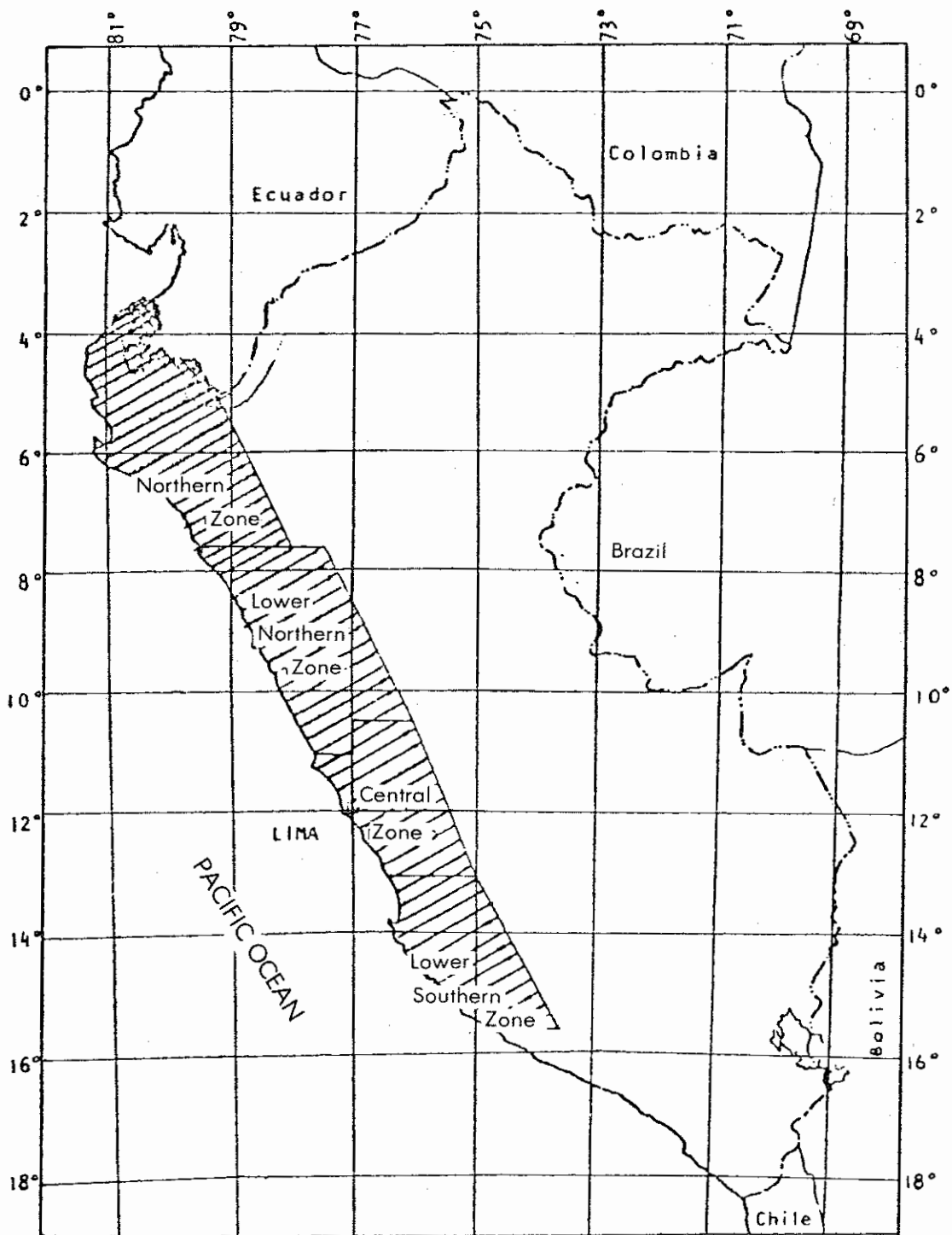
HYDROPOWER STATION   
 SUBSTATION   
 EXISTING TRANSMISSION LINE   
 PROJECTED TRANSMISSION LINE 


IPEN  
 NUCLEAR POWER PROJECT

Sites  
 MAP SHOWING PERU'S  
 INTERCONNECTED SYSTEMS

SOURCE: ELECTROPERU

FIGURE 1



 Area of Interest

IPEN  
NUCLEAR POWER PROJECT

Sites  
 Map Showing area of interest

FIGURE 2

The area of interest shown in Figure 2 includes the coastal belt, an arid desert area with small agricultural zones along small rivers that run transversally, as well as the western part of the Andes Mountains, which runs parallelly to the coast with rough topography and a dry, cold climate, despite the fact that it is situated in the middle of a tropical zone.

The growth rate of the population concentrated in settlements, and of the population scattered outside those centers, can be seen in percentages for the

1972-1980 period in Table 3:

The figures in this chart can be explained by the migrations of large numbers of people to the more developed cities, due to the greater concentration of industries and other productive activities found therein and, consequently, the better opportunities for personal advancement.

Electric power consumption at the national level rose to 8,526 kWh in 1980, having grown at an average rate of 5.6% during the 1969-1980 period. (See Tables 4, 5, 6 and 7).

**TABLE 3  
POPULATION GROWTH RATES**

REGION	COAST	SIERRA
<b>North</b>		
Concentrated	4.8	3.2
Disperse	1.4	-0.4
<b>Center</b>		
Concentrated	4.25	4.5
Disperse	-5.39	1.6
<b>Country as a whole</b>		
Concentrated	4.4	4.65
Disperse	-0.24	0.35

**TABLE 4:  
ELECTRICITY PRODUCTION  
AND CONSUMPTION**  
(millions of kWh)

YEAR	SECTORS					SCNS	TOTAL CONSUMP.	LOS	PRODUCTION
	RSCM	AGLV	FSH	MIN	IND				
1969	1306	312	145	1681	1381	16	4781	447	5288
1970	1440	324	130	1683	1419	17	5013	516	5529
1971	1417	330	165	1612	1772	19	5315	634	5949
1972	1655	338	76*	1731	1866	21	5687	602	6289
1973	1775	347	70*	1841	1995	23	6051	604	6655
1974	1973	366	86*	1910	2133	24	6493	783	7276
1975	2206	357	86*	1903	2376	27	6955	531	7486
1976	2290	349	85*	1958	2320	29	7031	880	7911
1977	2605	360	198*	2209	2267	35	7675	952	8627
1978	2546	360	198*	2337	2291	35	7767	998	8765
1979	2755	384	221*	2522	2464	35	8381	1092	9473
1980	2797	392	222*	2459	2609	47	8526	1096	9622
Grow %	7.8	1.7	4.4	4.2	5.5	9.5	5.6	8.3	5.9

\* Data not considered for statistical fits

SOURCE: National Energy Balance, Ministry of Energy and Mines

TABLE 5:  
PERCENTAGE-WISE STRUCTURE OF  
ELECTRICITY CONSUMPTION  
BY ECONOMIC SECTORS

(%)

YEAR	SECTORS					SCNS	TOTAL CONSUMP.	LOS	PRODUCTION
	RSCM	AGLV	FSH	MIN	IND				
1969	24.7	5.9	2.7	31.8	26.1	0.3	91.5	8.5	100.0
1970	26.0	5.9	2.4	30.4	25.7	0.3	90.7	9.3	100.0
1971	23.8	5.5	2.8	27.1	29.8	0.3	89.3	10.7	100.0
1972	26.3	5.4	1.2	27.5	29.7	0.3	90.4	9.6	100.0
1973	26.7	5.2	1.1	27.7	30.0	0.3	90.9	9.1	100.0
1974	27.1	5.0	1.2	26.3	29.3	0.3	89.2	10.8	100.0
1975	29.5	4.8	1.1	25.4	31.7	0.4	92.9	7.1	100.0
1976	28.9	4.4	1.1	24.8	29.3	0.4	88.9	11.1	100.0
1977	30.2	4.2	2.3	25.6	26.3	0.4	89.0	11.0	100.0
1978	29.0	4.1	2.3	26.7	26.1	0.4	88.6	11.4	100.0
1979	29.1	4.1	2.3	26.6	26.0	0.4	88.5	11.5	100.0
1980	29.1	4.1	2.3	25.6	27.1	0.5	88.6	11.4	100.0

SOURCE: National Energy Balance, Ministry of Energy and Mines

RSCM: Residential and commercial  
AGLV: Agricultural/livestock  
FSH: Fishing and related industry  
MIN: Mining and metallurgical

IND: Industrial  
SCNS: Self-consumption  
LOS: Losses

TABLE 6:  
EVOLUTION OF ELECTRICITY PRODUCTION  
BY TYPE OF GENERATION

YEAR	HYDRAULIC		THERMAL		TOTAL
	GWh	%	GWh	%	GWh
1969	3701.0	70.0	1507.0	30.0	5288.0
1970	3820.6	69.1	1708.2	30.9	5528.8
1971	4282.9	72.0	1666.0	28.0	5948.9
1972	4536.3	72.1	1753.0	27.9	6289.3
1973	4769.1	71.7	1886.2	28.3	6655.3
1974	5220.4	71.7	2054.8	28.3	7275.2
1975	5470.0	73.0	2016.2	27.0	7486.2
1976	5797.7	73.3	2113.4	26.7	7911.1
1977	6027.0	69.9	2600.0	30.1	8627.0
1978	6198.0	70.7	2567.0	29.3	8765.0
1979	6695.0	70.7	2778.0	29.3	9473.0
1980	7228.8	75.1	2393.5	24.9	9622.3
1981	8684.6	82.8	1804.1	17.2	10488.7
Average annual growth %	6.6		5.2		5.9

SOURCE: Ministry of Energy and Mines



**TABLE 7**  
**EVOLUTION OF ELECTRICITY PRODUCTION**  
**BY TYPE OF SERVICE**

YEAR	PUBLIC UTILITIES		SELF-PRODUCERS		TOTAL GWh
	GWh	%	GWh	%	
1970	2929.7	53.0	2599.5	47.0	5528.8
1971	3296.8	55.4	2652.1	44.6	5948.9
1972	3525.2	56.0	2764.1	44.0	6289.3
1973	3892.2	58.5	2763.1	41.5	6655.3
1974	4315.5	59.3	2959.6	40.7	7275.2
1975	4665.7	62.3	2820.5	37.7	7486.2
1976	5031.9	63.6	2879.2	36.4	7911.1
1977	5349.6	62.0	3277.4	38.0	8627.0
1978	5489.8	62.6	3275.0	37.4	8764.8
1979	6184.3	65.3	3288.8	34.7	9473.1
1980	6612.5	68.7	3009.8	31.3	9622.3
1981	7698.7	73.4	2790.0	26.6	10488.7
Average annual growth %	8.3		3.1		5.9

SOURCE: Ministry of Energy and Mines

The projection of energy demand for the Center-North area shows the evolution illustrated in Figures 1 and 2.

In order to partially satisfy these demands, the hydroelectric and thermoelectric projects indicated in the following figures have been considered (3).

Nonetheless, note should be made of the fact that given both the technical and economic difficulties entailed by the development of some of these projects, it becomes necessary to consider other alternatives, including nuclear power.

### 3. THE SIZE OF THE NUCLEAR PLANT

Considering 12 years as the average time needed for the implementation of a nuclear power plant in our developing countries, up until the moment that it is commercially operational, and taking into account the following evolution of electricity demand for the

Center-North Interconnected System:

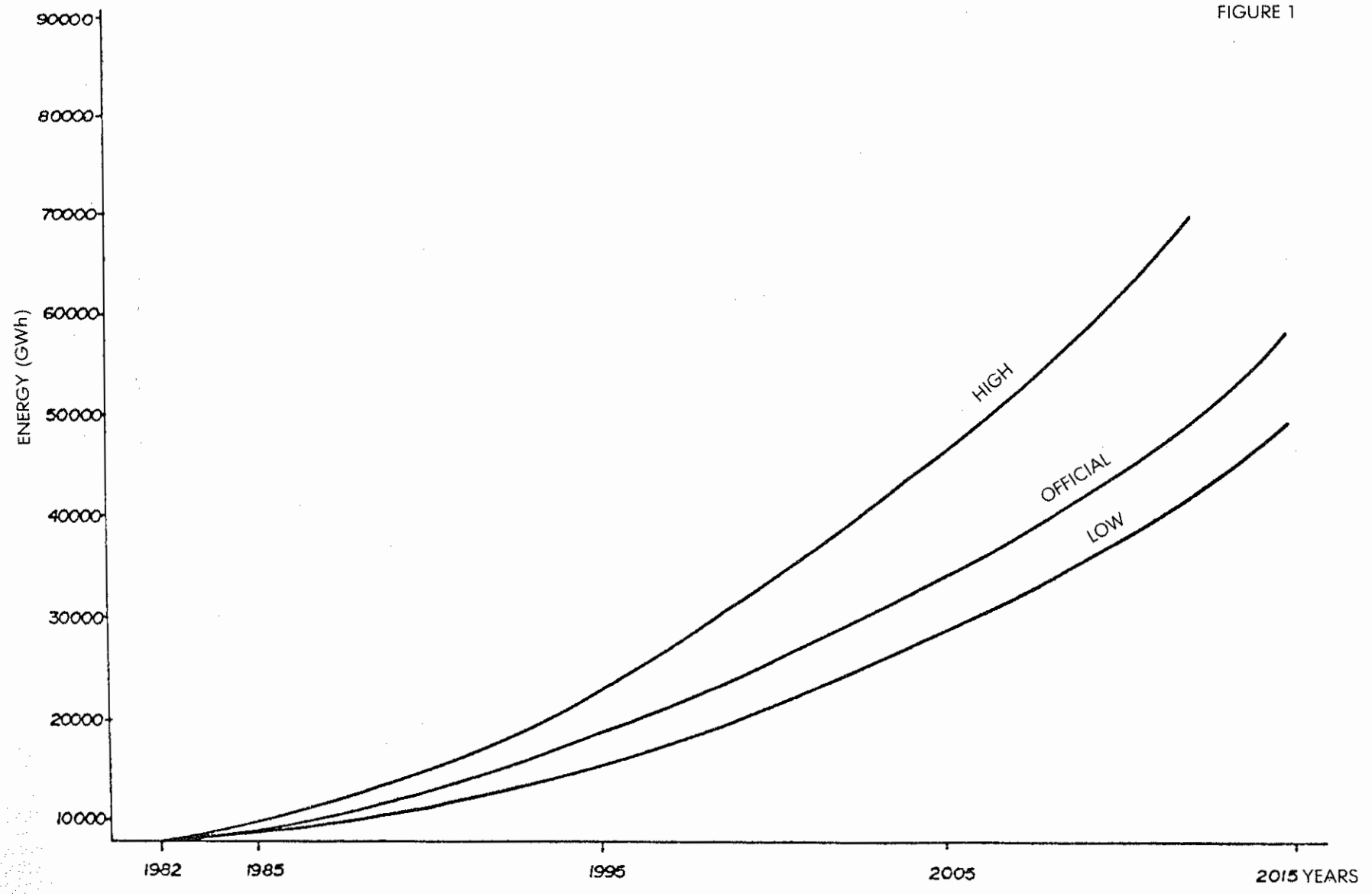
YEAR	DEMAND in MWe
1983	1190.3
1987	1810.8
1991	2512.5
1995	3127.1
2000	4150.8
2005	5595.7
2006	5985.5
2010	7915.7
2015	10776.6

And accepting, too, that the security of the service warrants that the largest unit of the system not exceed 10% of the demand of the interconnected system, it can be seen that as of the year 1995 this system could admit 300-MWe plants; as of the year 2000, 400-MWe plants; and as of the year 2007, plants with a capacity on the order of 600 MWe, these being the sizes whose consideration is being given preference in the study, and sizes that fall within the range of SMCR's, with a ceiling of 600 MWe.



ENERGY (GWh)

FIGURE 1



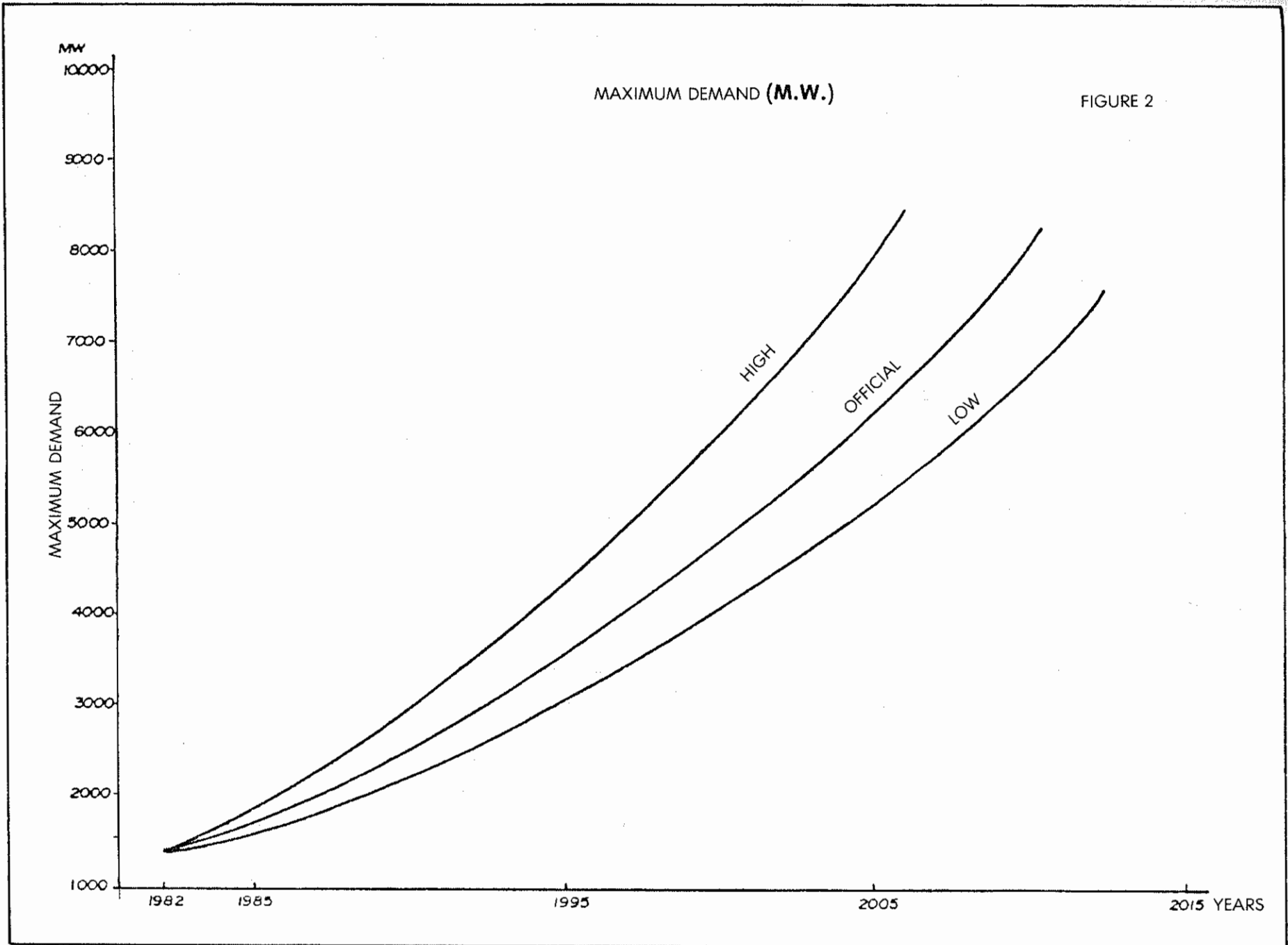
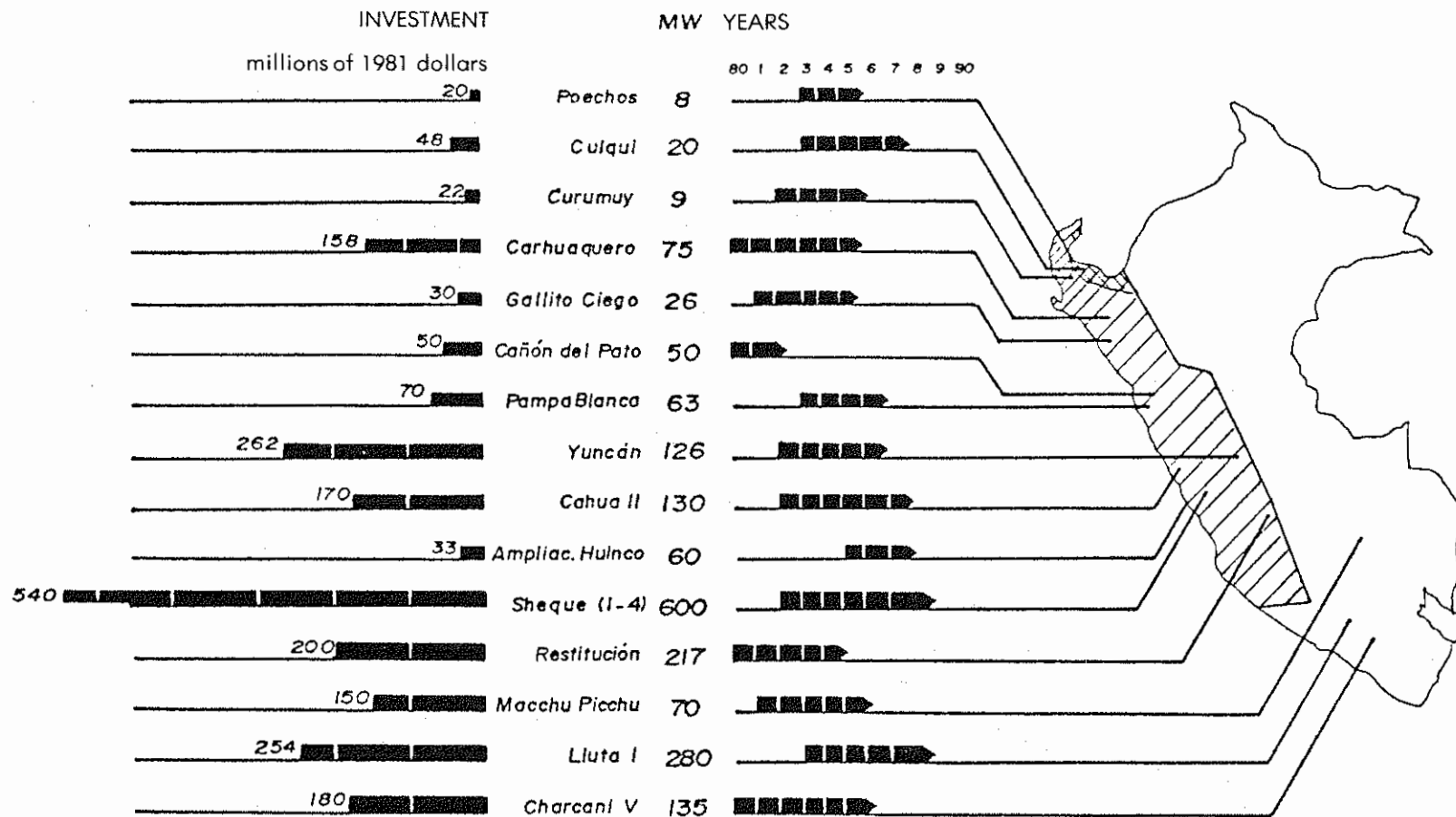


FIGURE 2

MAJOR HYDROELECTRIC PROJECTS 1980-1990

FIGURE 3

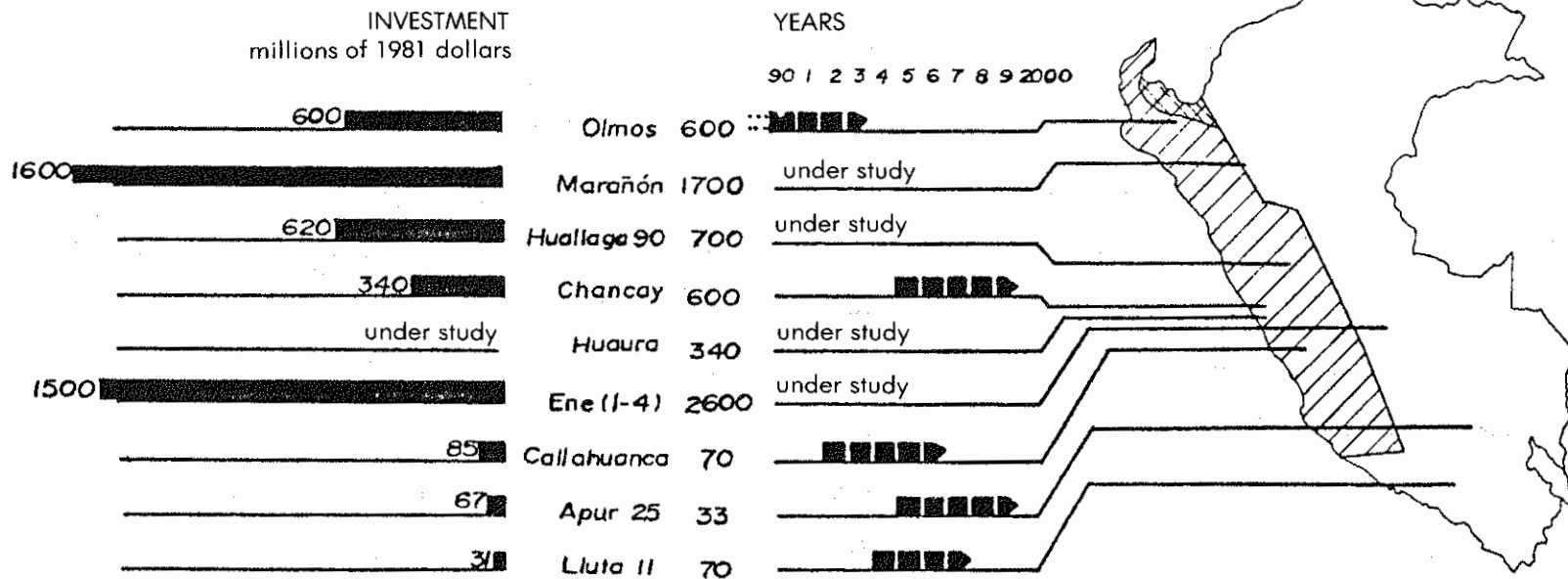




MAJOR HYDROELECTRIC PROJECTS 1990-2000\*

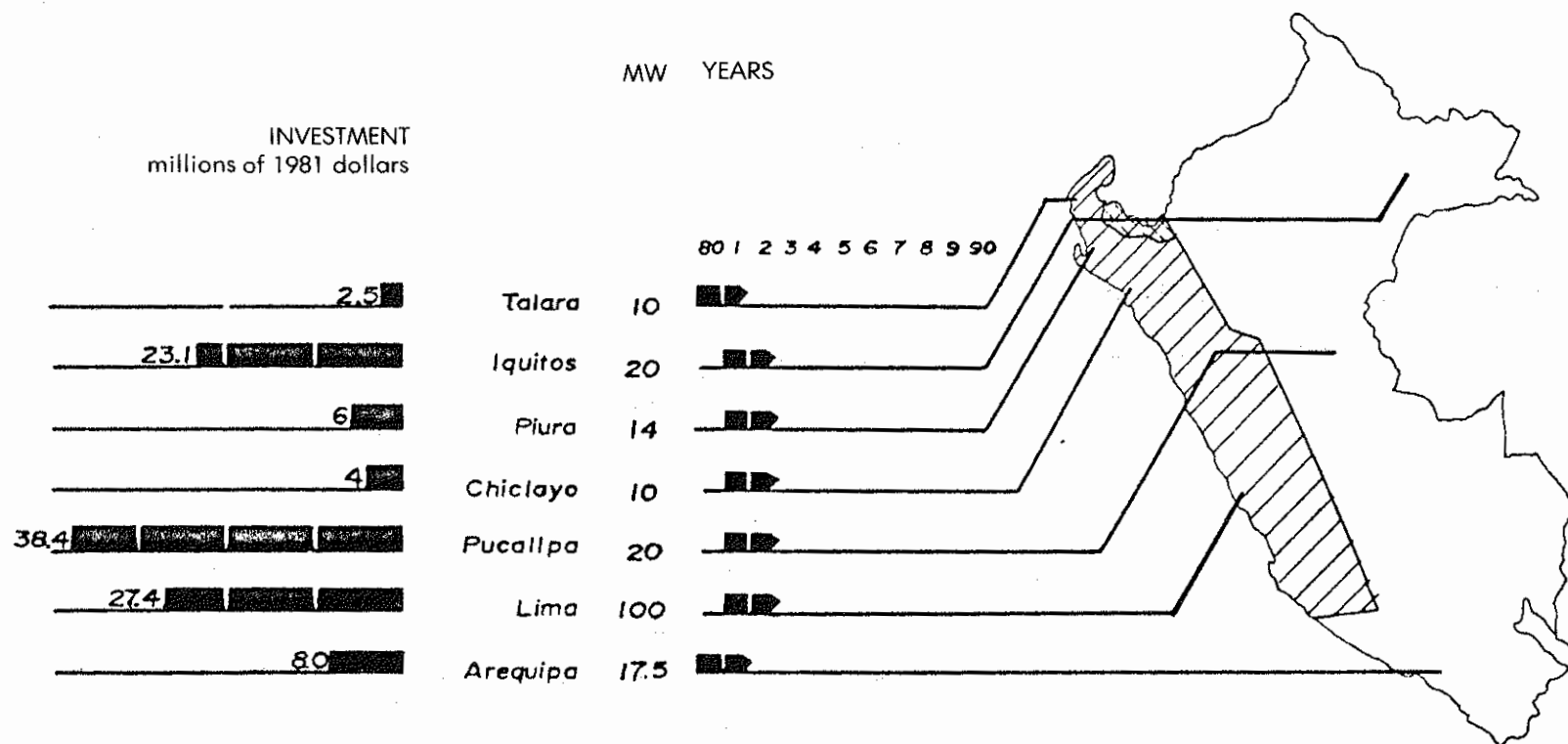
FIGURE 4

\* Under review  
MW



THERMOELECTRIC PROJECTS 1980-1990

FIGURE 5



#### 4. SOME ENGINEERING ASPECTS

The technical features of the nuclear power plants that are most used commercially at the world level are fairly well-known, so the text below will refer to other, equally important aspects.

First of all, there are **hydro resources** available to generate electricity; in Peru this potential amounts to 58,000 MW. Unfortunately, most of these resources are found quite far away from consumption centers, so that in the event they were to be tapped, there would be a significant increase in cost due to the heavy investments that would have to be made in the development of infrastructure (roads and means of communication in general, as well as long transmission lines crossing the Andes Mountains).

Furthermore, it is not advisable to develop an electricity supply based exclusively on hydro resources which, as experience has shown, can lead to an exhausted supply.

In this case, it proves convenient to analyze the nuclear power option.

Secondly, **fossil fuels** are available; in the case of Peru, as mentioned previously, reserves have the following orders of magnitude:

Oil	800 x 10 <sup>6</sup> barrels
Natural gas	650 x 10 <sup>6</sup> cubic feet
Coal	28 x 10 <sup>6</sup> metric tons

With respect to oil, Peru's reserves are not very large and, while up to now it has been possible to meet national needs, in the medium term it might not be possible to continue this self-sufficiency.

The coal existing in Peru is difficult to exploit, and not always of good quality.

This is another argument that obliges us to study the nuclear power alternative.

Thirdly, there are **uranium resources**; the prospecting work done in recent years is reason for optimism about their existence in not one but several regions of the national territory, as discussed in the corresponding papers and reports.

Fourthly, there is **impact on the scientific and technological development of the country**, through the various activities that a country has to undertake before, during, and after implementation of the corresponding nuclear power projects in these fields of development of science and technology, in terms of not only human resource training but also development of research and industry in general.

#### 5. CONCLUSIONS

a) For countries such as Peru, despite considerable

hydro resources not easily developed, it would be useful to analyze the nuclear power alternative.

b) Within the nuclear power alternative, the decision as to plant size would have to be made within the ranges including small - and medium-capacity reactors.