

# MPRA

Munich Personal RePEc Archive

## **Colombia, crisis and energetic alternative**

Dario Gilberto, Riveros-Castelblanco

Universidad Nacional de Colombia - UNAL

16 June 1982

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/121863/>  
MPRA Paper No. 121863, posted 23 Sep 2024 13:23 UTC

**COLOMBIA, CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA**

**Dario Gilberto Riveros Castelblanco**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**Facultad de Ciencias Economicas**

**Departamento de Economia**

**Bogotá, Junio 16 de 1982**

COLOMBIA, CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA

Por

Dario Gilberto Riveros Castelblanco

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas  
Departamento de Economía

Bogotá, 16 de junio de 1982

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

Resolución No. 008 de 1982

EL SUSCRITO DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ECONOMIA DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONOMICAS

R E S U E L V E :

ARTICULO PRIMERO: Aprobar el Plan de Monografía intitulado:  
"COLOMBIA CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA".-----

Presentado por el señor (s) DARIO GILBERTO RIVEROS

a fin de optar el título profesional de ECONOMISTA

ARTICULO SEGUNDO: Designar al Doctor LEONIDAS MORA RIVEROS. -----  
como Director de dicha Monografía.

COMUNIQUESE Y CUMPLASE.

Dada en Bogotá, a los 10. días del mes de Marzo-  
----- de mil novecientos ochenta y dos.

  
CARLOS MARTINEZ BECERRA  
Director



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

DEPENDENCIA

Bogotá D.E., 27 de Julio de 1982

OFICIO No.

Doctor  
CARLOS MARTINEZ B.  
Director, Departamento de Economía  
Facultad de Ciencias Económicas

Señor Director:

Me permito enviar para los efectos pertinentes tres ejemplares del trabajo de Monografía, "Colombia, Crisis y Alternativa Energética", elaborada por el estudiante DARIO GILBERTO RIVEROS C. bajo mi dirección.

El trabajo del señor Riveros constituye un valioso intento de abordar el estudio de un problema nuevo y vital del desarrollo económico del país: el energético.

Debo poner de presente que este trabajo se planeó e inició en el Seminario de Investigación que sobre el tema dirigí en el II Semestre de 1981 y fue elaborado en el curso del I Semestre de 1982.

Atentamente,

LEONIDAS MOPA R.  
Profesor Asistente

Bogotá, 9 de Septiembre de 1982

Doctor  
CARLOS MARTINEZ BECERRA  
Director Depto. de Economía  
Universidad Nacional de Colombia

He leído el trabajo presentado por el señor DARIO GILBERTO RIVEROS C. sobre "COLOMBIA, CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA", tendiente a la obtención de su título de Economista.

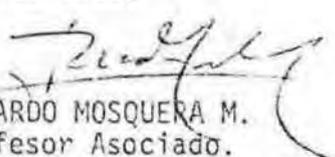
Este ensayo en su cap. I se ocupó de los antecedentes de la crisis - energética en la última década, de la crisis del petróleo y el alza en los precios Internacionales, de las proyecciones de consumo y oferta, así como de los recursos alternativas existentes.

En el cap. II se discute una alternativa definitiva, a manera de interrogante: La Energía Nuclear, dando importantes elementos sobre sus aspectos técnicos y económicos (costos de generación, costos sociales y privados), así como de la experiencia nuclear en otros países.

La conclusión del trabajo intenta una evaluación de las distintas soluciones: hidoeléctrica, térmica a carbón y nuclear, dando como argumento de autoridad el análisis realizado por el Estudio Nacional de Energía, que le permite al estudiante apoyar su conclusión final de que: "la alternativa energética, técnica y economicamente viables para los próximos años será la energía nuclear", (pág. 192) desde luego, para esta afirmación hacen falta demostraciones más sustentadas, que escapan de un trabajo como el presente.

Por la mportancia del tema, la consulta de una bibliografía básica, el manejo adecuado de los conceptos y categorías económicas, así como el esfuerzo de reflexión analítica, recomiendo su aprobación.

Atentamente,

  
RICARDO MOSQUERA M.  
Profesor Asociado.

Bogotá D.F., 25 Agosto de 1982

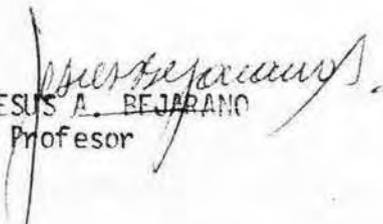
Profesor  
CARLOS MARTINEZ F.  
Director, Departamento de  
Economía  
Presente

He leído el trabajo "Colombia: crisis y Alternativa Energética" presentado por el señor DARIO GILBERTO RIVEROS CASTELBLANCO para optar el título de Economista.

El trabajo se propone un examen de las diferentes alternativas de fuentes energéticas del país en función de la disponibilidad de Recursos Energéticos. La recopilación de información y su tratamiento analítico son rigurosos, lo mismo que los aspectos técnicos de la energía.

En mi opinión, esta tesis revela no solo un trabajo muy cuidadoso de recopilación y análisis de información, sino un conocimiento preciso del problema manejado con solventes criterios teóricos, Por esta razón me permito recomendar la aprobación de la tesis.

Atentamente,

  
JESUS A. BEJARANO  
Profesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO No. 041 DE 1982

En Bogotá, a los Veinticinco - días del mes de Agosto de mil novecientos  
se reunieron en la Oficina del Director del Departamento de  
Economía, el Director del trabajo de Grado designado según Resolución No.  
008 de Marzo 10/82 y los Miembros del Jurado nombrados según Resolu-  
ción No. 024 de Julio 28/82 para actuar como examinadores de la Mono-  
grafía intitulada: "COLOMBIA, CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA". -----

-----  
presentada por el estudiante (s) DARIO GILBERTO RIVEROS CASTELBLANCO. ---  
a fin de optar al título de ECONOMISTA.

Actuó como Director del Trabajo de Grado; el Doctor: LEONIDAS MORA R.

El Jurado estuvo integrado por los Profesores: RICARDO MOSQUERA -----  
----- y JESUS A. BEJARANO. -----

El examen de grado se efectuó en el día de hoy habiendo obtenido una ca-  
lificación de: cuatro cinco (4.5)

LA CALIFICACION PARA EL TRABAJO DE GRADO FUE DE: APROBADO  NO APROBADO

Se firma la presente ACTA DE EXAMEN DE GRADO por los que en ella intervi-  
nieron, en Bogotá, a los veinticinco días del mes de Agosto de mil nove-  
cientos ochenta y dos. (1982).

DIRECTOR DE TESIS:

L. Mora  
LEONIDAS MORA R.

JURADO :

J. Bejarano  
JESUS A. BEJARANO

JURADO :

R. Mosquera  
RICARDO MOSQUERA

DIRECTOR DEL  
DEPARTAMENTO :

C. Martínez Becerra  
CARLOS MARTINEZ BECERRA



INDICE

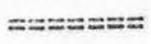
## INDICE

Indice general	- - - - -	IV
Indice de cuadros	- - - - -	VI
Indice de gráficos	- - - - -	VIII
Sinopsis - - - - -	- - - - -	IX
Introducción	- - - - -	1
Capítulo I	- - - - -	10
A. Antecedentes de la crisis energética de 1970-80.		11
1. La crisis del petróleo y el alza en los precios internacionales	- - - - -	13
a. Impacto económico en Colombia por la crisis mundial de combustibles.	- - - - -	14
b. El problema energético colombiano	- - - - -	18
2. Tendencia de los requerimientos	- - - - -	27
3. Provisión de energía y política energética	- - - - -	31
a. La política en la oferta de energía	- - - - -	31
b. Política y legislación energética	- - - - -	38
B. Proyecciones del consumo y la oferta de energía	- - - - -	50
1. Proyecciones del consumo	- - - - -	50
a. Estructura del consumo energético colombiano.-	- - - - -	54
2. Proyecciones en la oferta de energía, planes de corto, mediano y largo plazo	- - - - -	58
C. Dotación de recursos energéticos	- - - - -	71
1. Reservas carboníferas	- - - - -	74
2. Reservas gasíferas y petrolíferas	- - - - -	76
3. Reservas hídricas-	- - - - -	78
4. Potencial geotérmico	- - - - -	80
5. Brillo solar	- - - - -	82

Capitulo II - - - - -	33
II. La alternativa definitiva: la energía nuclear? -	84
A. La fisión - - - - -	88
1. Masa crítica - - - - -	98
B. La fusión - - - - -	100
C. El problema técnico de la energía nuclear -	106
D. Tipos de reactores - - - - -	110
E. Tipos de combustibles - - - - -	114
F. Formas de aprovechamiento - - - - -	116
G. Ventajas y perspectivas de la energía nuclear	120
H. Aspectos técnicos y económicos de la energía nucleoeléctrica - - - - -	127
1. Aspectos técnicos de la energía nuclear	128
a. El combustible nuclear - - - - -	128
b. El factor de utilización - - - - -	132
c. Potencia de generación - - - - -	136
d. Contaminación térmica y nuclear -	139
2. Aspectos económicos de la energía nuclear - - - - -	143
a. Costos de generación - - - - -	145
( con incorporación única... - - -	153
con incorporación múltiple e in tercalada - - - - -	155
Valor presente de las inversiones	155
Valor presente total - - - - -	155
Costo promedio - - - - -	155
Ahorros reales- - - - -	155
Costos del fluido- - - - -	158
Costos de las plantas físicas -	165
Costos del combustible)- - - - -	167
b. Costo social y privado de la energía nuclear - - - - -	171
1. La experiencia nuclear en otros países - -	174
1. La situación colombiana - - - - -	181

Conclusiones	- - - - -	187
Apéndice - -	- - - - -	193
Bibliografía	- - - - -	204

INDICE DE CUADROS



1.- Evolución del comercio exterior 1970-1977	17
2.- Evolución del comercio exterior del petróleo	21
3.- Efecto de la participación en el comercio total de América según la rama de destino	25
4.- Comercio de mercancías primarias	31
5.- Efecto del crecimiento del comercio exterior según el tipo de mercancías 1970-77	32
6.- Estructura del comercio exterior por mercancías primarias	37
7.- Comercio de servicios por sectores	38
8.- Efectos del comercio exterior en el comercio total por mercancías primarias	45
9.- Importaciones energéticas de América	47
10.- Estructura del comercio exterior	48
11.- Características fundamentales de los principales productos	50
12.- Comercio exterior por regiones de destino	51
13.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	52
14.- Estructura del comercio exterior por sectores	53
15.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	54
16.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	55
17.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	56
18.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	57
19.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	58
20.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	59
21.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	60
22.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	61
23.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	62
24.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	63
25.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	64
26.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	65
27.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	66
28.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	67
29.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	68
30.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	69
31.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	70
32.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	71
33.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	72
34.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	73
35.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	74
36.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	75
37.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	76
38.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	77
39.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	78
40.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	79
41.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	80
42.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	81
43.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	82
44.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	83
45.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	84
46.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	85
47.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	86
48.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	87
49.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	88
50.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	89
51.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	90
52.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	91
53.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	92
54.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	93
55.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	94
56.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	95
57.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	96
58.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	97
59.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	98
60.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	99
61.- Comercio exterior por sectores de las mercancías primarias	100

## INDICE DE CUADROS

1-	Producto Interno Bruto 1970-1979.	- - - - -	17
2-	Precios mundiales del petróleo	- - - - -	21
3-	% de participación en el consumo total de energía según la clase de fuente	- - - - -	28
4-	Consumo de energía primaria	- - - - -	30
5-	Tasa de crecimiento anual del consumo, según fuente energética 1934-77	- - - - -	32
6-	Proyección del consumo, según fuente energética 1979-2000	- - - - -	52
7-	Consumo de energía por sectores	- - - - -	55
8-	Proyectos hidroelectricos en construcción, finan- ciación y diseño	- - - - -	66
9-	Recursos energéticos de Colombia	- - - - -	72
10-	Potencial del recurso hídrico	- - - - -	79
11-	Características energéticas de los elemento fisionables	- - - - -	96
12-	Costo promedio anual estimado para la generación de fluido nucleoelectrico (por regiones de USA)	- -	121
13-	OECD Distribución mundial de los reactores 1977-2000		125
14-	Equivalencia del poder calorífico del uranio	- - -	129
15-	% de participación del fluido nucleoelectrico dentro de la generación total de energía (por países)		176
16-	Proyección de la oferta de energía (2000-2020)	- -	186

## INDICE DE GRAFICOS

1-	Costos de la exploración y explotación por barril -	20
2-	Modelo de la gota líquida - - - - -	93
3-	Fisión no controlada - - - - -	99
4-	Representación gráfica de la fusión - - - - -	100
5-	Principio del proceso de generación nucleoelectrico	119
6-1	Energía nuclear y térmica a carbón (contaminación y seguridad) - - - - -	140
7-	Curva de utilización y sistema de cubrimiento - -	149
8-	Costos de la energía - - - - -	150
9-	Reducción en el costo de generación - - - - -	151
10-	Valor presente y tiempo de operación a máxima capacidad-Valor presente total a máxima capacidad - -	154
11-	Costo promedio de la energía nuclear con la introducción inicial única de cuatro centrales nucleares	156
12-	Ahorro real obtenido por la introducción única de la energía nuclear - - - - -	157
13-	Reducción en el costo de generación (por tipos de generación) - - - - -	159
14-	Representación gráfica de la reducción de costos de generación en los sistemas hídrico, nuclear y térmico. - - - - -	161
15-	Reducción de costos de generación (tipos de reactores)	163
16-	Comparación del costo específico del fluido nucleoelectrico - - - - -	164
17-	Comparación de costos (térmico - nuclear) - - - -	166
18-	Incremento en los costos de construcción de una central nuclear de 1000 Mw 1967-74. - - - - -	169

### ENERGÍA ATÓMICA Y ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Objetivo: Se plantea la necesidad del empleo de la energía nuclear como fuente abastecedora de alta potencia energética (mayor rendimiento calorífico), con respecto a las fuentes convencionales de combustión interna, como fuente complementaria en el suministro de fluido eléctrico, con el fin de subsanar la demanda, y como solución final al problema energético.

### SINOPSIS

El problema de la energía eléctrica en el mundo se plantea en términos de la necesidad de satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica. En este sentido, se plantea la necesidad de utilizar la energía nuclear como fuente abastecedora de alta potencia energética (mayor rendimiento calorífico), con respecto a las fuentes convencionales de combustión interna, como fuente complementaria en el suministro de fluido eléctrico, con el fin de subsanar la demanda, y como solución final al problema energético.

El presente trabajo se refiere a la energía nuclear y a su aplicación en el suministro de energía eléctrica. Se plantea la necesidad de utilizar la energía nuclear como fuente abastecedora de alta potencia energética (mayor rendimiento calorífico), con respecto a las fuentes convencionales de combustión interna, como fuente complementaria en el suministro de fluido eléctrico, con el fin de subsanar la demanda, y como solución final al problema energético.

## COLOMBIA CRISIS Y ALTERNATIVA ENERGETICA

Objetivos: Se plantea la necesidad del empleo de la energía nuclear como fuente abastecedora de alto poder energético (mayor rendimiento calorífico), contrastada con las fuentes convencionales de combustión química, como fuente complementaria en el suministro de fluido eléctrico, con miras a satisfacer la demanda, y como solución final al problema energético

## (Sinopsis)

La energía es el motor de toda la economía, si se tiene en cuenta que es la que suministra: luz, calor y fuerza motriz indispensables en las diferentes actividades de la producción y del consumo.

1. El problema energético colombiano tiene sus orígenes tanto en factores internos como externos.
  - A. la crisis energética de la década del 70, tuvo como causas primarias: la pérdida en el poder real de compra de los ingresos que percibían los países de la OPEP, los conflictos políticos, la característica misma de los hidrocarburos de ser un recurso de tipo no renovable y finalmente a la misma base del modelo de desarrollo industrial, que se cimentó en el petróleo y sus derivados.
    1. El incremento en los precios internacionales del petróleo se vio presionado por los diferentes acontecimientos de orden político y militar ocurridos en el Medio Oriente, entre los que se puede mencionar los siguientes: el conflicto iraní,

la guerra Arabe-Israeli y finalmente las influencias económicas y políticas del Gobierno de Libia.

- a. La crisis energética de comienzos de 1973, impactó en la economía Nacional, afectando el nivel interno de los precios, los volúmenes de las exportaciones y también al Producto Interno Bruto.
  - b. Los factores que incidieron en la crisis energética Nacional, se fundamentan en la tendencia creciente de la demanda de energía, frente a una menor oferta de la misma, originando la problemática energética Nacional.
2. La tendencia en el consumo energético colombiano ha cambiado sustancialmente, pasando de las fuentes menos eficientes (en términos calóricos) como el carbón y la leña, a otras más eficientes, como el petróleo, gas e hidro-termoelectricidad.
  3. Con el objeto de proveer adecuadamente la demanda de energía, el gobierno por medio de las diferentes entidades del sector se ha propuesto como meta inicial, incrementar la producción de hidrocarburos y ampliar la capacidad instalada de generación eléctrica.
    - a. La necesidad de una política energética es vital como requisito para el desarrollo de un país, siendo por esto que se deberá de asegurar el suministro de energía en sus diferentes modalidades, desarrollando igualmente estudios de factibilidad relacionados con los procesos de sustitución y finalmente efectuar el reconocimiento por inventario de las diferentes fuentes energéticas con que cuenta el país
    - b. La ejecución de una política energética Nacional debió ser apoyada por una legislación que hiciese posible el cumplimiento de la misma, fue así como el Gobierno intervino en las diferentes for

mas de negociación entre las compañías extranjeras y las del Estado, creandose de esta forma, los denominados Contratos de Asociación, se intervino igualmente en las políticas de fijación de precios de los combustibles y montos de los subsidios (decretos 1277 y 1371 de 1971), se estableció el régimen Petrolero (decreto 844/75) y la Ley del Carbón (Ley 61 de 1980), creandose finalmente la Financiera Eléctrica Nacional (Ley 11 de 1982).

- B. Las proyecciones en el consumo nacional de energía, manifestará un incremento continuo y sostenido, otro tanto se buscará lograr con la oferta de energía.
1. Dentro del consumo futuro por fuentes energéticas se tiene que: el consumo de combustible vegetal y de hidrocarburos, reducirán el porcentaje de participación dentro del consumo global de energía, mientras que el consumo de carbón y electricidad lo incrementarán; por sectores económicos se tiene que: dentro del consumo total de energía proyectado hasta el año 2000, el sector residencial, reducirá su consumo el sector del transporte lo mantendrá estable y finalmente el sector industrial lo incrementará.
    - a. La estructura actual del consumo reviste las siguientes características: el sector residencial consume, registra, el mayor consumo energético, seguido del sector industrial y del transporte. Por fuentes energéticas se tiene que: el sector que mayor demanda de electricidad registra, es el sector residencial; de petróleo, el sector transportador y de carbón, el sector industrial; la leña es consumida básicamente por el sector rural en cerca del 100%.
  2. La oferta futura de energía será incrementada de acuerdo con los diferentes planes tanto de corto como de largo plazo, con especial referencia en los

subsectores eléctrico y de la petroquímica.

- C. La mayor reserva energética del país se encuentra representada por el recurso hídrico, seguida por el carbón, destacándose que las fuentes más escasas son el petróleo y el gas natural, las cuales en la actualidad son las más consumidas.
1. El carbón constituye la segunda reserva energética del país y cuya cuantía se aproxima a los 20.653 millones de toneladas para todo el territorio Nacional destacándose que la zona del Cerrejón, es una de las más privilegiadas en cuanto a localización geográfica, facilitando de esta forma su comercialización internacional.
  2. Las reservas de petróleo y de gas se aproximan a los 662 millones de barriles (1,3% de las reservas energéticas) y 3,88 billones de pies cúbicos (4% de las reservas) respectivamente, siendo estas, las más escasas.
  3. El potencial energético de tipo hídrico es el mayor del país y constituye más del 55% del total de las reservas de energía, equivalente a los 100 GW, del cual hasta finales de 1981 se había utilizado cerca del 5% del total.
  4. El potencial geotérmico se encuentra actualmente en la etapa de estudio y se ha centrado fundamentalmente en las zonas de los volcanes del sur del país.
  5. La energía solar ha sido objeto de amplios estudios con los cuales se ha logrado elaborar el mapa de brillo solar.

- II. La energía obtenida a partir de la transformación nuclear del átomo, puede efectivamente constituirse en la alternativa de solución energética, si se tiene en cuenta que la energía obtenida por esta transformación, no puede equipararse con los procesos convencionales de generación ener-

gética, ya sean estos del tipo eléctrico, químico o mecánico.

- A. El modelo de la gota líquida y la división de esta gota nos ilustra acerca del proceso de la fisión nuclear, la cual se basa en la magnitud energética de las partes constitutivas del átomo (su energía de enlace y su energía de volumen), frente a la magnitud energética del neutrón incidente, el cual puede ocasionar inestabilidad nuclear, terminando por dividir o fisiónar el átomo.
  1. Dentro del proceso de la fisión nuclear deberá de existir una cantidad mínima de material fisiónable, capaz de mantener la reacción en cadena una vez iniciado el proceso.
- B. El proceso de la fusión nuclear es en principio contrario al de fisión, es decir que, en lugar de dividir el núcleo atómico del átomo, lo que se busca es: a partir de dos núcleos de elementos livianos preferencialmente conformar otro átomo más pesado, es decir que su peso y número atómico son mayores.
- C. El problema técnico actual de la energía nuclear dentro del proceso de la fisión, lo constituye el problema de los desechos radiactivos, su almacenamiento y su potencialidad bélica. Dentro del proceso de la fusión lo constituye en autosostener el proceso de transformación nuclear.
- D. La clasificación de las centrales nucleares y más específicamente de los reactores, varía de acuerdo con los tipos de combustibles empleados, elemento refrigerante, la energía de los neutrones incidentes y tipos de moderadores.
- E. Los elementos que constituyen el combustible de los reactores nucleares son aquellos que presentan propiedades y características fisiónables (elementos pesados), tales como: el uranio, plutonio, tório, protoactinio, etc.

- F. El aprovechamiento de la energía nuclear se ha dirigido básicamente por dos caminos: el de los usos pacíficos en la medicina, industria, en el suministro de fluido nucleoelectrico, etc. El otro camino lo constituye la aplicación militar y geopolítica de la energía atómica.
- G. Dentro de las perspectivas de mediano plazo se tiene que: el desarrollo de la energía nuclear se verá impulsado - tanto por los incrementos en los precios de los hidrocarburos, como por el agotamiento continuo de las demás fuentes energéticas, a lo que se adiciona la creciente demanda.
- H. La generación nucleoelectrica tiene sus características tecnológicas que la diferencian de las demás fuentes convencionales, entre las que sobresalen: la potencia de generación, factor de utilización, vida útil de las centrales, grados de contaminación etc, los cuales tendrán necesariamente implicaciones económicas tanto en los costos de generación de fluido como también de cada uno de los elementos físicos que permiten dicha generación.
1. La gran ventaja de la energía nuclear en el aspecto tecnológico lo constituye la eficiencia energética que se obtiene al someter al proceso de transformación nuclear el combustible consumido.
- a. En lo relacionado con el recurso o combustible nuclear, se tiene que este reviste una característica importante, cual es, que este puede ser recuperado por medio del reciclaje, lo que garantiza - que el desarrollo futuro de la energía nuclear no presente características negativas en cuanto al suministro del recurso, a lo que se adiciona el hecho de la ventaja de los reactores denominados reproductores y convertidores de combustible.
- b. La gran ventaja de la generación nucleoelectrica la constituye el factor de utilización de las centrales, la cual puede ser del 100% durante toda

la vida útil de la central.

- c. Dentro del campo de la generación nucleoelectrónica, se tiene que el rango de generación comercial de fluido eléctrico, oscila entre los 600 y los 1300-MW, previniéndose la puesta en el mercado, de microcentrales cuya capacidad de generación estaría entre los 300 y los 400 MW de potencia.
  - d. los volúmenes de contaminación tóxica, producidos por las centrales térmicas a carbón no se pueden suprimir en un 100% principalmente por factores económicos; varían el porcentaje de contaminación de acuerdo con la localización de la central. En contraste con lo anterior, se tiene que la energía nucleoelectrónica, no produce efectos de contaminación tóxicos.
2. En el aspecto económico de la energía nucleoelectrónica se destaca que está puede ser más o menos costosa, dependiendo, tanto de las condiciones propias de cada uno de los países en cuestión, como también de los factores técnicos con que operen las centrales.
- a. Los costos de generación comerciales de la energía nucleoelectrónica pueden ser mayores o menores que los costos de la energía hidroeléctrica o térmica a carbón, petróleo o gas, dependiendo de la alternativa de recursos con que cuente un país, de las facilidades de transporte de las sustancias energéticas, etc. El costo de la energía nuclear se relaciona igualmente con variables tales como: el factor de utilización, vida útil, clase del reactor, costos de las plantas físicas, costos de construcción, costos de los combustibles, etc.
  - b. La ejecución de un plan nuclear, tendrá necesariamente un costo social y privado, el cual deberá ser cubierto en su aspecto financiero, por medio

de recursos, tanto de tipo interno como externo, dependiendo del monto de recursos económicos con los que cuente un país en un momento determinado.

I. La experiencia nucleoelectrica a nivel internacional, en la gran mayoría de los casos ha sido positiva, notándose una concentración de esta tecnología en aquellos países que tienen un mayor desarrollo económico relativo.

1. En el caso colombiano, se tiene que se cuenta con un centro de investigaciones nucleares, el "Instituto de Asuntos Nucleares," pero en el ámbito de la generación nucleoelectrica comercial, no se tienen planes previstos para el mediano plazo.

III. El agotamiento del potencial hidroeléctrico, la baja potencia de generación de las fuentes alternas no convencionales y los elevados costos del transporte del mineral dentro de la energía térmica a carbón como la contaminación ambiental que produce, implicarán que el largo plazo, se desarrolle un plan nucleoelectrico, constituyéndose en la alternativa energética en cuanto al suministro de fluido.

=====

INTRODUCCION

El presente trabajo es el resultado de un estudio que  
tiene la crisis del sector energético y sobre la sostenibili-  
dad de las actividades que genera la energía eléctrica, en el  
contexto de las políticas de desarrollo de energía eléctrica.

El texto incluye una descripción fundamentalmente de los  
factores que condicionan el desarrollo de las actividades ener-  
géticas y eléctricas.

INTRODUCCION

El presente trabajo es el resultado de un estudio que  
tiene la crisis del sector energético y sobre la sostenibili-  
dad de las actividades que genera la energía eléctrica, en el  
contexto de las políticas de desarrollo de energía eléctrica.

El texto incluye una descripción fundamentalmente de los  
factores que condicionan el desarrollo de las actividades ener-  
géticas y eléctricas.

El texto incluye una descripción fundamentalmente de los  
factores que condicionan el desarrollo de las actividades ener-  
géticas y eléctricas.

## INTRODUCCION

---

El presente trabajo es el producto de un estudio que sobre la crisis del sector energético y sobre la alternativa de solución que brinda la energía nuclear, se hizo con el objeto de preparar la monografía de grado de economista.

El tema tratado está dirigido fundamentalmente a aquellos lectores interesados en conocer algunos aspectos históricos y actuales, de legislación y de proyección del sector energético colombiano, como también a aquellos interesados en conocer la alternativa de solución que se propone al problema energético Nacional.

El tema se escogió por la gran importancia que tiene en nuestros días, la variable energética, a la cual se le pretende encontrar una solución económicamente óptima y técnicamente viable.

La crisis energética surgida a comienzos de la década del setenta, ha generado hasta hoy, serias implicaciones tanto en los ordenes económicos, sociales como políticos, si se tiene en cuenta que la energía constituye el motor

de toda la economía, tanto de los países desarrollados como subdesarrollados.

Es el motor del desarrollo si se tiene en cuenta que, es la que suministra: luz, calor, fluido eléctrico y fuerza motriz, indispensables tanto en las labores del transporte de mercancías, como medio de comunicación de los diferentes negocios e intercambios de la vida económica actual.

Con el empleo de la energía se logra obtener más energía ya sea esta en forma líquida, sólida o gaseosa, como por ejemplo petróleo, agua, carbón y gas respectivamente, lo cual nos ilustra acerca de la importancia que tiene la energía en nuestros días.

En el ámbito colombiano se tiene que es verdaderamente escaso el conocimiento que se tiene acerca de las formas más eficientes que sobre el consumo de energía se hace, en relación con variables tales como: la eficiencia del equipo industrial, comercial y doméstico utilizado actualmente, como también el grado de obsolescencia de los mismos y de las políticas de reposición. Se desconoce igualmente la cuantificación del consumo bruto, neto y realmente aprovechado de la energía, variables estas que contribuyen directamente en el conocimiento sobre el consumo energético, de

los diferentes sectores, al igual que al interior de cada uno de ellos, para poder determinar de esta forma la eficiencia energética de sus equipos en relación con el consumo de energía, por unidad de producción

La demostración de las ventajas técnicas y económicas que presenta la energía nucleoelectrónica, frente a las fuentes convencionales y no convencionales; la necesidad de una mayor oferta de energía eléctrica para después del año dos mil, son los objetivos fundamentales que constituyen el desarrollo del tema, para lo cual, se tendrán en cuenta las características del desarrollo de la energía nucleoelectrónica a nivel internacional, partiendo de las condiciones energéticas nacionales, hasta llegar a las primeras décadas del siglo XXI, lapso para el cual se justifica el desarrollo de un plan nuclear, ya sea este de fisión o de fusión.

La metodología del desarrollo del tema propuesto, implica la consideración de aspectos técnicos y económicos de la energía nuclear, dividiéndose el trabajo para tal efecto en tres secciones: las dos primeras constituyen el desarrollo del trabajo propiamente dicho y en la tercera se presentan las conclusiones.

En la primera sección se tratará el planteamiento de la naturaleza de la crisis energética Nacional, teniendo

en cuenta tanto factores de tipo interno, como externo, los cuales contribuyeron al surgimiento de esta crisis, describiéndose para tal efecto, la tendencia de los requerimientos de energía, principalmente de tipo eléctrico, incluyéndose igualmente las diferentes políticas que se adoptaron por parte de los gobiernos, con miras a solucionar el problema energético colombiano, que hizo que Colombia, pasara de exportador de energía a importador de la misma, si se tiene en cuenta que las primeras importaciones de combustibles líquidos (gasolina) se hicieron a partir de 1971, y posteriormente, en 1976, se comenzaría a importar el petróleo crudo, acontecimientos estos que fueron agravados por la crisis de fluido eléctrico que se presentó a partir de 1976.

En cuanto a las proyecciones de oferta y demanda de energía, se tendrá en cuenta la tendencia presentada y la evolución histórica de la misma, consultando para ello las diferentes cifras presentadas por los organismos del Estado encargados del sector, como también los diferentes programas y políticas que se tienen previstas con miras a solucionar la problemática energética, tanto en el mediano como en el largo plazo, las políticas de sustitución que se prevén, las cuales deberán de consultar las disponibilidades de los recursos con que cuenta el país.

La segunda parte discute la hipótesis, de la necesidad del empleo de la energía nuclear, como fuente abastecedora y complementaria en el suministro de energía eléctrica, con miras a satisfacer la demanda futura y como solución final al problema de la energía en el sector eléctrico, lo que obligará a efectuar mayores estudios y prácticas en el campo de la energía nucleoelectrica durante los próximos años.

Se trata en esta parte lo que constituye el fundamento del problema técnico de la energía nuclear, en sus dos modalidades: de fisión y de fusión, tipos de plantas nucleares, tipos de combustibles y las perspectivas que tendrá la energía nucleoelectrica, las formas de aprovechamiento que de la misma se ha hecho a nivel interno como externo, consultando para tal efecto, las fuentes de información pertinentes al tema.

En el aspecto económico se hace referencia a los costos de generación por KW, los ahorros reales y la reducción en los costos del fluido en función de la tecnología empleada y de las políticas de implantación de un plan nucleoelectrico, ya sea este de tipo "único o múltiple", se mencionarán igualmente, aspectos relacionados con los costos de las centrales nucleares, de los combustibles y del fluido en sí mismo.

En el ámbito internacional se hará referencia al avance que se ha registrado en los diferentes países en materia de fluido nucleoelectrico, incluyendo dentro de este, algunos países latinoamericanos, teniendo en cuenta para tal efecto la capacidad de generación de los diferentes tipos de centrales, como el porcentaje de participación dentro de la producción total de energía de cada uno de los países, tratándose finalmente la situación energética colombiana dentro del campo nuclear.

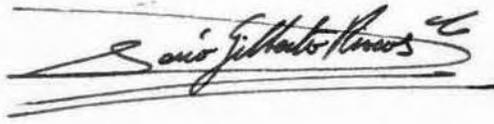
Para la mayor comprensión del tema propuesto, he desarrollado entre otros los siguientes puntos de ayuda: algunos aspectos de política energética (secc. I.A.3.b.), se proyectó el consumo quinquenal de energía por fuentes hasta el año dos mil (cuadro # 6), se ilustra por medio de un ejemplo, el costo de generación del fluido de una central térmica a carbón para el caso colombiano, según los costos comerciales (apendice IV); dentro del campo teórico de la energía nuclear, ilustre de forma numérica algunos ejemplos (capitulo II y secc. II.A.) para facilitar el análisis del monto de la energía obtenida; se efectuó la proyección de la producción de energía eléctrica hasta el año 2020, e igualmente se graficó el principio de fisión descontrolada (graficó # 3) y finalmente ilustré gráficamente la significancia de las curvas de reducción de costos en función del factor de utilización según el tipo de fuente de generación (térmico, hídrico o nuclear) (gráfico # 14), con los cuales

espero que se amplie la claridad y la comprensión del tema tratado.

Doy mis más sinceros agradecimientos al señor Doctor Leonidas Mora Riveros, Director del Post-grado del Departamento de Economía de la Universidad Nacional y al señor -- Doctor Fabio Héctor Cárdenas, Ingeniero Físico del Departamento de Física del Instituto de Asuntos Nucleares, quienes revisaron en su mayor parte el presente trabajo, haciendo las observaciones, correcciones y recomendaciones pertinentes, por lo cual les manifiesto publicamente mis agradecimientos.

Al presentar mi trabajo, lo ofrezco con sincero respeto al honorable cuerpo de profesores, tanto de la Facultad como del Departamento de Economía, e igualmente a aquellos compañeros que motivados por el recto deseo de instruirse dentro del ámbito académico, se encuentran en la Universidad, siendo esta la oportunidad de manifestarles a todos ellos, mi solidaridad y buenos deseos, con los que anhelan enaltecer el conocimiento científico, dignificando de esta forma sus vidas, con honradez, ética y buen juicio en el desempeño futuro de cada una de sus profesiones, las cuales serán el fruto de múltiples esfuerzos y sacrificios -- tanto propios como de allegados en la etapa de nuestra vida que como estudiantes permanecemos en la Universidad Na

cional de Colombia.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Sergio J. Linares", is written over two horizontal lines. The signature is fluid and cursive.

Bogotá, abril 10 de 1982.

INSTITUTIONAL FOUNDATION OF COLLEGE

THE HISTORY OF THE COLLEGE

The history of the college is a story of growth and development. It began in the early years of the century when a group of dedicated individuals gathered to form the institution. Over the years, the college has expanded its offerings and deepened its commitment to academic excellence and service to the community.

CAPITULO I

The first chapter of the college's history is marked by the founding of the institution. It was a time of vision and determination, as the founders sought to create a place where knowledge and character would be nurtured. The early years were filled with challenges, but the steadfast support of the community and the dedication of the faculty and students helped the college overcome these obstacles.

In the following years, the college continued to evolve and adapt to the changing needs of society. It embraced new technologies and pedagogical methods, ensuring that its graduates were well-prepared for the future. The college's commitment to integrity and ethical values remained a constant throughout its history.

The college's journey is a testament to the power of human endeavor and the pursuit of knowledge. It is a story that continues to inspire and guide the institution as it moves forward into the future. The college remains dedicated to its founding principles and to the service of its students and the community.

## I- NATURALEZA DEL PROBLEMA ENERGETICO COLOMBIANO

### A- Antecedentes de la crisis energética de 1970-80

El origen de la crisis energética tanto nacional como internacional se encuentra fundamentado en la base del modelo de desarrollo industrial, es decir, el petróleo y sus derivados empleado como insumo motriz, el cual era suministrado a precios relativamente bajos por un grupo minoritario de países, superproductores de petróleo y poseedores por naturaleza de las grandes reservas mundiales del crudo, se destaca como característica el hecho, de que el petróleo es un combustible de tipo no renovable, aspecto este que sería aprovechado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo OPEP, como uno de los factores incidentes en el criterio fijador de los precios de los hidrocarburos que exportaban a los mercados internacionales.

Los países miembros de la OPEP, optaron a partir de 1974(1) por incrementar en forma continua los precios de los hidrocarburos a consecuencia igualmente de la pérdida en el poder real de compra de los ingresos que percibían

---

1- Robert Stobough. Fin del Petróleo Accesible. En Perspectivas Económicas, # 31 (julio de 1980), p. 8.

estos países por concepto de sus exportaciones, lo que los obligó inicialmente a efectuar incrementos en los precios nominales de los crudos, con miras a recuperar el poder adquisitivo de las mismas; se tiene así que el primer incremento notable en los precios del crudo del Medio Oriente se registró en el año de 1948 en el que pasó de US\$ 1,05 a US\$ 2,03 es decir que se incrementó en un 93,3% (2), año desde el cual se observa un descenso en los precios corrientes de los mismos y en consecuencia de los precios reales, tendencia esta que se presentó hasta el año de 1971. La baja en los precios nominales del barril de crudo se debió principalmente a la competencia entre las grandes compañías norteamericanas exploradoras y explotadoras de petróleo enclavadas en el Medio Oriente, las que produjeron una mayor oferta de hidrocarburos frente a una menor demanda, para el período en cuestión.

Los grandes volúmenes de producción alcanzados y el alto contenido energético del petróleo lograron desplazar gradualmente a la hulla y al carbón consumidos hasta antes de la era del petróleo en mayor proporción, convirtiéndose así el petróleo en la fuente de energía básica para la denominada civilización industrial.

---

2- Diego Otero P. Colombia y la Crisis Energética. (Bogotá Editorial Tercer Mundo, 1980), p. 13.

## 1- La crisis del petróleo y el alza en los precios internacionales

Los grandes incrementos registrados en los precios de los crudos con posterioridad a 1972, se debieron fundamentalmente a los siguientes factores:

a- Deficiencias en el transporte de los crudos desde el Golfo Pérsico al mar Mediterraneo, como consecuencia de las averías presentadas en los oleoductos en mayo de 1970.

b- La guerra Arabe-Israelí presentada en 1967, que produjo el cierre del Canal de Suez, bloqueando de esta forma el transporte del petróleo.

c- El paro en la producción petrolera en 1973 por parte de Irán. lo que condujo a la caída en la producción mundial de cerca de cinco millones de barriles diarios, lo que equivalla al 10% de la producción mundial para ese momento histórico, factor este que favoreció fenómenos especulativos con los precios del petróleo.

d- Las políticas adoptadas por Muammar Qadafi en Libia tendientes a poner fin a las cláusulas concesionarias de los diferentes contratos con las compañías petroleras occidentales, las cuales presentaron un alto grado de competencia a las petroleras establecidas en el Medio Oriente (3).

e- Los volúmenes de producción alcanzados por los Estados Unidos, Argelia, Libia, Kuwait, etc, insuficientes

---

3- Stobaugh. Op. Cit. p. 13.

para satisfacer la demanda de 1970(4), lo que produjo como consecuencia, el incremento en los precios, en cerca del 1.333% durante la década del setenta, cuando estos pasaron de US\$ 1,80 a US\$ 24,00 el barril(5), lo que produciría se cuelas económicas, tanto para los países desarrollados como subdesarrollados.

a- Impacto económico en Colombia por la crisis mundial de combustibles

La denominada crisis mundial de combustibles en líneas generales sorprendió a Colombia, ya que esta se produjo casi simultáneamente con la crisis que se venía gestando a nivel interno en el mismo renglón de los hidrocarburos y de sus diferentes derivados, ya que por ejemplo, se ve la deficiencia que de gasolina manifestó Colombia a partir de 1971, año desde el cual comenzó a importarla, y posteriormente, en 1976, importaría igualmente el petróleo, causas estas que infortunadamente para Colombia, coincidieron en el tiempo con la crisis mundial.

El efecto más notorio en Colombia, de la crisis mundial del petróleo fue el incremento acelerado y notorio en el proceso inflacionario, registrado a todos los niveles, el cual se acentuó críticamente a partir de 1973, como lo podemos observar en el comportamiento en los índices de precios; así por ejemplo examinando las cifras en el in-

---

4- Ibid. p. 14.

5- Uféro. Op. Cit. p. 14.

dice de precios al por mayor del comercio en general se tiene que en el año en que se registró una mayor inflación fue el año de 1974, en el que se llegó a un 38,5%, el mayor registrado en la década del setenta; contrastando esta cifra con la menor obtenida en la década, la cual correspondió al año de 1978, en el cual el índice inflacionario llegó al 15,4%, llegandose a un acumulado para la década del setenta de 227,5%, teniendo como referencia el año de 1970 como base comparativa (6)

Pero lógicamente estas implicaciones, de unos mayores costos, tendrían serias repercusiones en los niveles de vida, empleo y competitividad de la industria frente a los mercados internacionales(7), tanto por las causas generadas internamente, como también por las diferentes medidas de tipo proteccionista que adoptaron los diferentes países en el contexto internacional; es así como se observa que el comportamiento de las exportaciones colombianas, tradicionales y no tradicionales presentaron una tendencia al estancamiento durante los años de 1974-75, en los que las exportaciones alcanzaron las cifras de US\$ 1410 y US\$ 1480 millones respectivamente, contrastadas estas con los US\$ 2430 millones en 1977, los US\$ 2315 millones en 1978 y los US\$ 3682 millones de 1979(8), lo cual de alguna forma nos

---

6- Banco de la República, Dpto de Investigaciones Económicas. Tabulados.

7- Foreign Policy Association. Influencia del Petróleo. Perspectivas Económicas, # 31 (julio de 1980), p. 20.

8- DANE. Anuarios de Comercio Exterior

ilustra, el colapso manifestado por el sector exportador colombiano a consecuencia de las imperfecciones en el mercado mundial, surgidas estas a raíz del incremento en los precios de los hidrocarburos en los mercados internacionales.

En lo relacionado con las implicaciones sufridas por el anterior desajuste económico internacional, el PIB colombiano reviste dos características fundamentales: una primera en la que se nota una ligera disminución del PIB a precios corrientes de mercado, variaciones estas apreciables en términos de las fluctuaciones porcentuales en la tasa de incremento anual con respecto al año inmediatamente anterior, en las que sobresalen los años de 1972 y 1975, en los que dichos porcentajes fueron menores comparativamente con los años subsecuentes, a consecuencia del estancamiento en el crecimiento de los sectores de la industria manufacturera, comercio y otras actividades, que ocupan un lugar destacado en cuanto al porcentaje de participación en el PIB, con más de un 20 y 17% para las dos primeras respectivamente, lo cual lo podemos evidenciar en el cuadro # 1. Segundo: se aprecia una sensible disminución en el PIB a precios constantes de mercado, según el cuadro # 1, en los sectores de la industria manufacturera, comercio, minería, transporte correspondientes a los años de 1972 y 1975, actividades económicas estas que tienen estrechas vinculaciones con el consumo de energía, los que se vieron afectados por los mayores costos en los insumos energéticos .

## CUADRO # 1

## PRODUCTO INTERNO BRUTO 1970-1979 \*

Año	Precios Corrientes	Precios Constantes
1970	130,3	130,3
1971	152,2	137,8
1972	186,0	148,6
1973	243,2	159,2
1974	329,2	168,8
1975	412,2	175,2
1976	534,0	183,3
1977	718,5	192,2
1978	916,6	209,4
1979	1193,6	220,0

\* En miles de millones de pesos.

Fuente: Banco de la República. Cuentas Nacionales 1970-1979  
p. 17

### b- El problema energético colombiano

En lo relacionado con la problemática energética colombiana se puede decir que esta obedece a la congruencia de múltiples factores, tanto de tipo interno como externo, los cuales se evidenciaron durante la década pasada, entre los que se pueden destacar los siguientes:

Primero: se plantea el problema del suministro de hidrocarburos, motivado por un desbordamiento de la demanda frente a la oferta de los mismos; desbordamiento este originado a su vez por dos tendencias:

a- Tendencia decreciente en la producción nacional.

b- Tendencia creciente y sostenida de la demanda de los combustibles líquidos, aspectos estos que serán analizados con mayor detalle más adelante. Lo anterior tendría serias implicaciones económicas, debido a la importancia que ocupa el petróleo en el desarrollo de las diferentes actividades, tanto del sector industrial, comercial como de los servicios en general.

El suministro de los hidrocarburos a nivel nacional se ha visto influenciado por el desarrollo de la producción mundial, si se tienen en cuenta factores tales, como la rentabilidad y volúmenes de producción dentro del ámbito internacional; se observa que en las condiciones nacionales, en las que se tienen generalmente consumos subsidiados no hacen posible el logro de ninguno de los dos factores anteriores, en vista de que influyen en la

producción y rentabilidad, factores externos, como los precios del mismo petróleo, como los costos de producción del mismo a nivel internacional, los cuales ofrecían mejores perspectivas dentro de las condiciones internacionales(9), prevalecientes hasta finales de la década pasada (ver gráfica # 1).

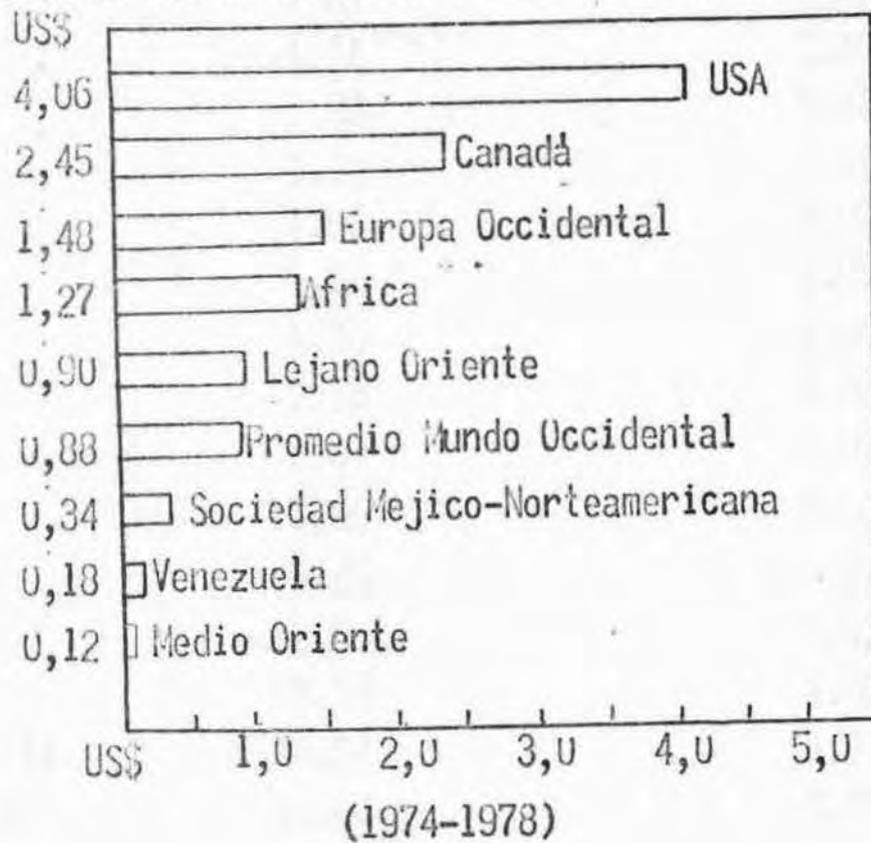
Las deficiencias en el abastecimiento interno, fue originada por la misma situación internacional del crudo, en la que se desenvolvía la producción y por las diferentes condiciones de los precios durante de las décadas de los sesenta- setenta, condiciones estas que hacían poco rentables, el efectuar grandes inversiones en estos países y en especial en Colombia, ya que desde 1955 se venían ofreciendo en los mercados internacionales hidrocarburos que bajo las condiciones imperantes en el Medio Oriente resultaban a razón de US\$ 1,93 el barril, precio este insuperable por otro país, aparte de que el precio del barril manifestaba una continua baja, en la que llegó a cotizarse a US\$ 1,80 el barril, factor este que no ofrecía una perspectiva favorable (cuadro # 2) a nivel internacional, por la búsqueda de nuevos yacimientos en otras regiones del mundo, ante los mayores costos en que se incurría tanto en

---

9- Otero, Op. Cit. p. 14. Véase también en: Contribuciones para un Balance Energético Nacional, Luis Londono y Andrés Ruiz, en: Seminario Sobre Energía en Colombia, SSEC, (publicación de la Facultad de Ingeniería de Universidad de los Andes, marzo de 1979), p. 3.

## GRAFICA # 1

## COSTOS DE LA EXPLORACION Y EXPLOTACION POR BARRIL



Fuente: Subcommittee on Energy and Power, of the Committee on Interstate and Foreign Commerce United House of Representatives. The Energy Factbook. p. 253.

## CUADRO # 2

## PRECIOS MUNDIALES DEL PETROLEO ( US\$ POR BARRIL )

Fecha	Precios Corrientes	Precios Constantes*
1938	0.90	1.96
1946	1.05	1.84
1948	2.03	3.22
1950	1.71	2.48
1955	1.83	2.41
1959	1.92	2.21
1960	1.86	2.09
1965	1.80	1.93
1970	1.80	1.80
1971	2.18	2.00
1972	2.48	2.07
1973	11.65	8.03
1974	11.25	6.22
1975	12.38	5.92
1978	13.34	4.60
1979 III	14.54	5.31
1979 VI	18.00	6.43
1979 XII	24.00	8.14
1980 VI	28.00	----

\*

Fuente: Diego Otero Prada y Edgar Reveiz. Colombia y la Crisis Energética, p. 14.

## CUADRO # 2

## PRECIOS MUNDIALES DEL CRUDO

Fecha	Promedio ponderado de los precios inter- nacionales	Petróleo Arabe tipo ligero
I 1979	13.77	13.34
IV 1979	16.22	14.55
V 1979	18.87	18.00
XI 1979	21.48	24.00
I 1980	28.55	26.00
III 1980	30.27	28.00
IX 1981*	34.00	-----
XII 1981*	32.00	-----

\* La República, 12 XII/1981.

Fuente: Subcommittee on Energy and Power. The Energy Fact-book, p. 279.

las labores de exploración y explotación, lo que obligó al gobierno colombiano a dirigir inversiones a las labores de refinación de petróleo, con el objeto de ampliar la capacidad de refinación nacional (10), en vista de las ventajas económicas que se obtenían al importar el crudo de los países productores vecinos, para luego refinarlo en el interior del país; pero la disminución paulatina de la oferta a nivel interno fue debida en gran parte a las bajas inversiones dedicadas a la actividad petrolera, como bien lo registra el hecho de que en el período 1957-61 se efectuaron un promedio de 37 exploraciones anuales y que en el período 1962-75 dicho promedio fue tan solo de 19 pozos anuales(11) lo que de por sí nos demuestra el descuido en esta materia.

Segundo: se plantea igualmente la deficiencia en el suministro del fluido eléctrico con respecto a la demanda, teniendo así que a mediados de la década de 1970 dicha deficiencia coincide con la crisis de los hidrocarburos, no sin descuidar la significativa importancia que ocupan los derivados del petróleo en la generación de fluido eléctrico lo que haría de esta forma incrementar la crisis en el suministro del fluido, ya que éste petróleo como sus derivados se emplean en la generación de tipo térmico, generación

10- Jaime García Parra, Petróleo, un Problema y una Política, revista del Banco de la Republica, # 583, 1976. p. 568.

11- Ibid. pp. 570-572.

12- Departamento Nacional de Planeación (DNP). Plan de

térmica que suministraba para comienzos de 1979 el 28% de la electricidad total del país, de aquí la importancia del hidrocarburo en el suministro del fluido, el cual cubre - principalmente la demanda de la Costa Atlántica(12), crisis del fluido eléctrico, agravada por el hecho de que un alto porcentaje de la población colombiana carece del fluido, el cual se aproxima al 30% (13).

La deficiencia en el fluido eléctrico es crítico para el desarrollo industrial en sus diferentes actividades, "es el elemento clave sin el cual no puede funcionar adecuadamente el ciclo productivo; su papel es por lo demás similar al de muchos otros elementos tangibles de la producción industrial y cuyo efecto económico es muy superior al de su costo neto"(14), de aquí la importancia a adoptar las políticas encaminadas a suministrar energía, máxime si se tiene que la tasa de crecimiento de la demanda supera a la de la oferta; como ilustración de lo anterior se tiene el año de 1980, en el cual se tenía una demanda de 6,7 GW, (15), mientras que la capacidad instalada que llegaba para marzo de 1979 a los 4,3 GW (16), fue adicionada para 1980 en 12 MW, obligando como es lógico a la adopción de medidas de racionamiento continuo, con el objeto de satis-

---

Integración Nacional(PIN). (Bogotá, editorial: Redactores Asociados, mayo de 1980), p. 56, T- II.

13- Ibid. p. 91, T- I.

14- ONU-CEPAL. La Energía en América Latina. Publicado por el BIRF, Washington, D.C. 1954. p. 4.

facer la demanda de forma eficiente, en las horas de demanda pico, medidas estas que han tenido alguna vigencia a partir de 1976 hasta el presente año de 1982.

Tercero: la carencia de una política clara y con perspectivas futuristas que tuvieran en cuenta la tendencia de los requerimientos, que se adoptasen los mecanismos adecuados para la satisfacción de las mismas demandas. Lo anterior no se había llevado a cabo ante todo por la falta de planes de desarrollo en el sector eléctrico por parte de los organismos encargados para tal efecto; la carencia de una política energética fue la característica de los diferentes gobiernos y planes de desarrollo ejecutados hasta mediados de la década del setenta, fecha desde la cual se ha puesto alguna importancia en esta materia, en especial en el denominado PIN, en el cual se prevé un ensanche de la capacidad instalada en cerca de un 57% para el periodo 1979-81 con respecto a la existente en 1978, año en el cual se contabilizaban 4036 MW(17), prevé igualmente este plan una serie de inversiones en el sector eléctrico con el objeto de satisfacer la demanda hasta el año de 1988, al pretender aumentar la capacidad instalada en más de un 100% con respecto a 1978 por medio de los diferentes

---

15- DNP. Op. Cit. p. 91, T- I.

16- Interconexión Eléctrica S.A. ISA. Recursos Hidroeléctricos de Colombia, en SSEC, marzo de 1979, p. 22.

17- DNP. Op. Cit. p. 93, T- I.

proyectos emprendidos, con el propósito de dotar al desarrollo económico nacional de este insumo básico, e igualmente eliminar los racionamientos y las diferentes políticas restrictivas que sobre el consumo se han impuesto a nivel nacional.

Cuarto: que la elasticidad oferta de la demanda de energía tiene valores críticos, debido a los efectos multiplicadores que relacionan a estas dos variables; valores críticos si se tiene en cuenta que:

- 1- Las tendencias incrementales en la demanda ejerce mayores presiones sobre la capacidad instalada.
- 2- Que la elasticidad precio de la demanda es alta (excepto para los estratos de altos ingresos, como ejemplo de esta característica se tiene que: "en una de las ciudades más importantes del país, el 5% de los usuarios más pobres consumen el 12% de la energía residencial, mientras que el 3% correspondiente a la gente de ingresos más altos consume el 21% de esta energía"(18)), queriéndose decir con lo anterior que la demanda potencial de fluido eléctrico, es alta, limitada por variables tales como el mismo ingreso y las diferentes restricciones impuestas al consumo, vía sistema tarifario sobre el monto en los consumos.

---

18- Leopoldo Vargas. Colombia, de las Tinieblas a la energía del Futuro, en Consigna, VI, # 203 (31 de marzo de 1982); p. 13.

## 2- Tendencia de los requerimientos (demanda)

La tendencia en el consumo energético nacional ha cambiado sustancialmente en el transcurso del tiempo, teniendo así que se ha efectuado una transición en el consumo de las fuentes menos eficientes en cuanto al poder calorífico(19), como la leña y el carbón a otras más eficientes como el gas y el petróleo, no sin olvidar la hidro-termo - electricidad; así por ejemplo se tiene que contrastando los porcentajes de participación en el consumo, según las diferentes fuentes energéticas( petróleo, gas, carbón, leña y electricidad), entre los años de 1934-65-77, se aprecia que el consumo del combustible vegetal ha disminuído significativamente dentro del consumo total de energéticos; en el consumo de carbón se aprecia un incremento hasta el año de 1965, año desde el cual su consumo baja(ver cuadros # 3 y 4), al pasar de un 22.8% dentro del consumo total de energéticos en 1965, al 16.8% en 1977; pero la disminución en seis puntos porcentuales, se prevé que será transitoria en vista de que se plantea una recuperación sustancial para finales del presente siglo, si se tiene en cuenta la política de sustitución de combustibles, emprendida por los gobiernos posteriores a 1976.

---

19- Ernesto Villarreal Silva. Situación Actual y Algunas Consideraciones Sobre la Energía Nuclear en Colombia, en SSEC, marzo de 1979, p. 3.

CUADRO # 3

% DE PARTICIPACION EN EL CONSUMO TOTAL DE ENERGIA SEGUN  
LA CLASE DE FUENTE

Fuente	1934*	1965**	1977**
Combustible			
Vegetal	81.0	41.5	23.3
Carbón	9.0	22.8	16.8
Petróleo y gas	8.0	32.8	54.8
Hidroelectricidad	2.0	2.8	5.1
Total %	100.0	100.0	100.0
Total TEP (miles)	2155,000	10128,00	15893,00

\* Fuente: ONU-CEPAL. La Energía en América Latina, p. 35.

\*\* Fuente: Luis Londoño y Andrés Ruiz R. Contribuciones para un Balance Energético Nacional, cuadro # 1.

En cuanto al consumo de hidroelectricidad se observa que el crecimiento de la demanda no ha sido tan significativo para el periodo 1934-65, en el cual se pasó de un 2% de participación dentro del consumo total de energéticos para 1934, a un 2.8% en 1965, contrastando con el período 1965-77, el cual se incrementó notoriamente, pues se pasó de 2.8% al 5,1%, es decir que se incrementó en un 82% en tan solo doce años, destacandose el hecho de que la demanda potencial para este último año es mayor del 30%, si se tiene en cuenta el porcentaje de la población que carecía de ella, debido a la falta de cubrimiento del sistema eléctrico a nivel nacional.

El consumo de gas e hidrocarburos manifiesta una tasa de consumo creciente y sostenida del 9.5% anual (ver cuadro # 5) para el período 1934-77, observandose igualmente que es la fuente sobre la cual ha recaído el mayor efecto de la demanda, al pasar en la participación en el consumo del 8% en 1934 al 32.8% en 1965 y al 47% en 1979 (ver cuadro # 4), indicandonos de esta forma que el petróleo es la fuente energética más requerida, ya que de los 170 mil TEP que se consumían en 1934 se pasó a los 7843 miles de TEP en 1979; en cuanto a los incrementos en los consumos por períodos se tendría la situación observada en el cuadro # 5, en el que se aprécia que para el periodo 1934-77 la mayor tasa de crecimiento en el consumo la ocupan el petróleo y el gas seguida de la hidroelectricidad, carbón y combustible vegetal respectivamente, destacandose que la demanda de carbón

CUADRO # 4

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA - 1965-1979. (EN MILES DE TEP).

Años	Petróleo	%*	Gas Natural	%*	Hidroeléctrica	%*
1965	2831	28.0	484	4.8	289	2.8
1966	3087	31.0	591	5.9	326	3.3
1967	3208	31.0	683	6.5	362	3.5
1968	3492	32.0	725	6.5	398	3.5
1969	3695	32.0	946	8.2	436	3.8
1970	4597	38.0	1035	8.6	476	4.0
1971	4937	39.0	1135	9.0	523	4.2
1972	5197	39.5	1392	10.5	575	4.4
1973	5630	40.1	1493	10.7	626	4.5
1974	6166	42.0	1444	9.8	702	4.8
1975	6697	43.5	1434	9.4	768	5.0
1976	6913	44.4	1473	9.5	810	5.2
1977	7147	45.0	1560	9.8	808	5.1
1978c	7825	44.4	1601	9.0	1486	8.4
1979c	7843	47.0	2337	13.3	1612	9.6
a		38.2		8.6		4.6
b		7.5		11.9		13.1

\* Porcentaje de participación dentro del consumo total de energía del respectivo año.

a- Porcentaje de participación ponderado dentro del consumo total de energía, para la totalidad del periodo.

b- Tasa de crecimiento promedio anual.

c- Cálculos ponderados del autor con base en los datos parciales del ENE (Presentación Inicial). p. 61.

Fuente: Luis Londoño y Andrés Ruiz R. Contribuciones Para Un Balance energético Nacional. En SSEC, p. 12.

## CUADRO # 4

## CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA - 1965-1979. (EN MILES DE TEP)

Año	Carbon Mineral		Leña		Total	Var. %
1965	2311	22.8 *	4213	41.5 *	10128	----
1966	1828	18.0	4164	41.8	9996	-1.3
1967	2078	20.0	4125	39.0	10456	4.6
1968	2288	21.0	4087	37.0	10990	5.1
1969	2448	21.0	4035	35.0	11560	5.2
1970	1915	16.0	3982	33.1	12001	3.8
1971	2123	16.8	3942	31.0	12660	5.5
1972	2089	15.9	3902	29.7	13155	4.0
1973	2413	17.2	3864	27.5	14026	6.6
1974	2558	17.4	3825	26.0	14685	4.7
1975	2707	17.6	3786	24.5	15391	4.8
1976	2619	16.8	3742	24.1	15557	1.1
1977	2668	16.8	3710	23.3	15893	2.2
1978 c	1925	11.0	3581	20.3	16807	5.8
1979 c	1907	11.3	3630	21.6	17635	4.9
a		17.0		29.4		4.1
b		0.9		0.8		4.0

\* Porcentaje de participación dentro del consumo total de energía del respectivo año.

a- Porcentaje de participación ponderado dentro del consumo total de energía para el total del período.

b- Tsa de crecimiento promedio anual.

c- Calculadas por el autor con base en los datos parciales ENE, p. 60.

Fuente: Ibid. p. 12.

presenta una tendencia decreciente, más crítica y acentuada es la demanda de los combustibles de tipo vegetal a partir de 1965 (según cuadro # 5), a pesar de lo cual el porcentaje de participación en el consumo energético nacional continua ocupando hasta nuestros días un lugar destacado si se tiene en cuenta que del 41.0% que representaba para 1965 en 1979 llegó al 21.6% , demanda esta caracterizada por una tasa de crecimiento negativa del 0.99, para el período 1965-77; se aprecia igualmente en este período que la tasa de crecimiento en el consumo de petróleo y gas comparativamente con los años anteriores, disminuye, mientras que la tendencia en el consumo de la hidroelectricidad es de tipo creciente y sostenido en especial para el período 1934-77 en el que llegó a una tasa de crecimiento del 7.1% anual, reforzado en el período 1965-77 cuando la tasa de crecimiento fue del 9.8% anual.

### 3- Provisión de energía y política energética

#### a- La política en la oferta de energía

Con el objeto de proveer al país adecuadamente en materia de energía el gobierno colombiano se ha impuesto varias metas entre las que se pueden destacar la intensificación inicial en la exploración y explotación tanto de petróleo como de gas, exploraciones estas que se llevan a cabo por medio de los denominados contratos de asociación, como también los ejecutados en forma directa, es decir con

## CUADRO # 5

## TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL CONSUMO SEGUN FUENTE ENERGETICA 1934-77

Fuente	Años	1934-77	1934-65	1965-77
Combustibles Vegetales		1.8	2.5	0.9
Carbon		6.3	8.3	1.3
Petróleo y gas		9.5	10.0	9.2
Hidroelectricidad		7.5	6.3	9.8

Calculadas con base en los datos del cuadro # 4.

la intervención de ECOPEPETROL (Empresa Colombiana de Petróleos); en lo relacionado con los diferentes contratos de asociación firmados es de destacar que el Gobierno ha debido de ofrecer garantías a los inversionistas extranjeros, brindándoles además estímulos adecuados como bien se verá en la legislación dictada al respecto, esto, con el objeto de atraer la inversión extranjera especialmente en el campo de la industria del petróleo y el carbón, con miras a incrementar la producción de tal forma que satisfaga las necesidades internas, procurando igualmente generar excedentes con el objeto de introducirlos en los mercados internacionales; dentro del campo petrolero se busca ampliar inicialmente la capacidad de producción nacional emprendiendo para ello proyectos inmediatos; en el campo de la refinación se tiene igualmente una gama de proyectos entre los que se cuentan, la construcción de la planta de Balance que incrementará su capacidad de refinación en cerca de 20.000 barriles diarios (20); la ampliación de la refinería de Cartagena, la cual quedaría con una capacidad de refinación de 70.000 barriles diarios (21); con las anteriores ampliaciones el país quedaría con una capacidad de refinación de más de 235.000 barriles diarios, es decir unos 100.000 barriles más de los que se produje-

---

20- Alfonso Dejarano Gallo. Planteamientos del Min -  
minas en el SSEC, marzo de 1979. p. 6.

21- Ibid. p. 7.

ron en 1981; adicionalmente a esto se planeó la construcción de una planta de metanol que suministrará 150.000 toneladas diarias de alcohol, esto como parte de la política de sustitución en un 20% del consumo de gasolina tipo motor(22).

En materia de gas natural se prevé fundamentalmente la exploración y explotación de gas en la zona de la Guajira(23), producción esta dirigida básicamente al consumo en las plantas de tipo termoeléctrico de CORELCA; se obtendrá igualmente el mismo cocinol y demás GLP(Gases Licuados del Petróleo)(24), los excedentes de gas serán consumidos igualmente en los centros urbanos del interior del país;

22- Cálculo del ahorro y producción de petróleo-metanol:  
 $(2677 \times 10^3 \text{ TEP})(0.122173 \text{ TEP} = 1 \text{ barril}) = 21.91 \times 10^6 \text{ barriles anuales} = Ct$   
 consumo ponderado del sect. transp. = % de la producción consumida en TEP

$$\frac{2677 \times 10^3 \text{ TEP} \times 21.91\%}{24.66\%} \times \frac{1}{0.122173 \text{ TEP}} = 19.46 \times 10^6 \text{ barriles anuales} = Ct1$$

$$Ct - 20\%Ct = Ct - St$$

$$20\%Ct = \text{producción de metanol} = 2.44 \times 10^6 \text{ barriles/anuales} \\ = \text{ahorro de gasolina motor en el sector transporte}$$

Ct=consumo total actual; St=ahorro del 20% en Ct; Ct1=nuevo consumo total.

23- DNP. Op.Cit. p. 137, T-2.

24- Bejarano. Op. Cit. p. 10.

es de destacar que conjuntamente con el carbón, el gas constituyen unas de las grandes posibilidades en el suministro de energía para el país si se tiene en cuenta la magnitud de las reservas con que se cuentan: para el gas se calculan en  $5 \times 10^{12}$  pies cúbicos, mientras que para el carbón se tienen unas reservas probadas de 1.300 millones de toneladas (25).

En lo relacionado con el suministro de electricidad se tiene que dentro de los lineamientos generales en los que se enmarca tanto el DRI como el PIN se dá cierta prioridad al suministro de electricidad, variable esta de trascendental importancia para lograr un mayor bienestar; al hacer que esta llegue a todas las regiones de Colombia, como también es importante para lograr un crecimiento económico y sin la cual no se podría gestar ningún desarrollo industrial, en especial, en aquellas industrias que requieren de grandes cantidades de energía para su operación; por las razones anteriores es que se prevé incrementar la capacidad instalada en más de un 100% para 1985(26), teniendo en cuenta para tal efecto que la tasa de crecimiento de la demanda se acerca al 10% anual, lo que obliga en consecuencia a duplicar la capacidad instalada en un plazo

---

25- Ibid. p. 12. Véase también en el PIN. pp. 107-113, T- 1.

26- Ibid. p. 14.

de tipo térmico en su totalidad, el cual emplea en la actualidad gas, petróleo y sus derivados como insumo de dichas centrales.

La realización del empalme entre el sistema CORELCA e ISA se llevó a cabo a mediados de febrero de 1982, previniéndose y de acuerdo con los cálculos efectuados, una transferencia de fluido eléctrico del sistema térmico al hídrico o viceversa, de más de 100MW para los casos de insuficiencias en cualquiera de los dos sistemas

En cuanto al carbón se tiene que la actual producción cubre en su totalidad la demanda nacional, teniéndose así por ejemplo que la producción lograda para 1978 que fue de 4,2 millones de toneladas cubrió las necesidades de los diferentes sectores de la economía(28), la cual se distribuyó de la siguiente forma: el 26% fue consumido por la industria siderúrgica de Paz de Río, empresa esta que igualmente producía para ese año cerca de 600 mil toneladas anuales, "un 16% fue consumido por la industria del ladrillo; 11% en la industria del papel, 10% en las plantas termoeléctricas, 10% en la industria textil, 7% en la industria del cemento, 4% en la fabricación de soda cáustica, 3% dedicados a la exportación, 2% dedicado a la industria del vidrio y un 11% en otras actividades"(29).

---

28- Andrés Restrepo Londoño. El Carbón en Colombia, en el SSEC, marzo de 1979. p. 12.

En líneas generales se puede decir que el carbón en la década de los setenta no desempeñó un papel importante como fuente energética, entre otros factores por la facilidad en los suministros del gas, petróleo y la electricidad, planteándose en contraste con lo anterior, una recuperación en el consumo del mismo para los próximos años, en los cuales se prevé igualmente la exportación del mineral obtenido de la zona del Cerrejón Norte en el departamento de la Guajira, zona esta que presenta las mayores perspectivas en vista de la localización geográfica, no descartándose en ningún momento la explotación en mayor escala de los ricos mantos carboníferos de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá los cuales son de extraordinaria calidad.

#### b- Política y legislación energética en las décadas del 70-80

La necesidad de una política energética es vital como requisito para el desarrollo de un país; es por esto que se deberá de asegurar en líneas generales el cumplimiento de los siguientes objetivos:

I- El suministro de energía en sus diferentes modalidades contando para ello con las adecuadas disponibilidades financieras de tal forma que aseguren la ejecución de los planes propuestos, cubriendo de esta forma la demanda.

II- Desarrollar los estudios de prefactibilidad y factibilidad de los procesos de sustitución entre las diferentes fuentes energéticas dentro de un criterio de racionalidad

económica en cuanto al consumo de los mismos, empleando para ello los diferentes mecanismos con los que cuenta el sector estatal o paraestatal en los cuales tiene una importancia significativa, procurando reducir en consecuencia el consumo de los hidrocarburos a usos estrictamente específicos e irremplazables técnica o económicamente con miras a depender en menor proporción de aquellos recursos que son escasos, es decir optimizando su consumo.

III- Efectuar el reconocimiento por inventario de las diferentes fuentes energéticas con las que puede contar el país en un momento dado, esto con el objeto de hacer un uso óptimo de los mismos.

IV- Establecer la asimilación de funciones entre los diferentes organismos encargados de ejecutar los anteriores objetivos, integrándolos con los demás organismos del sector, con el propósito de evitar duplicidad en el desarrollo de sus funciones, lo que produciría las subsecuentes pérdidas en la utilización tanto de los recursos humanos como económicos

En el campo nacional, el gobierno colombiano, principalmente, de los últimos períodos: 74-82 ha desarrollado una serie de políticas conducentes primordialmente a lograr la autosuficiencia gradual, de la cual gozaba hasta mediados de 1971, fecha desde la cual comienzan a tener lugar las primeras importaciones de gasolina y posteriormente, en el año de 1976 tendrían lugar igualmente las

importaciones de petróleo(30); pero la autosuficiencia propuesta solo podrá ser lograda si: en materia de hidrocarburos se intensifican los ritmos de exploración y explotación por medio de políticas que incentiven estos dos objetivos; en materia de fluido eléctrico, por medio de grandes inversiones en este sector, de tal forma que incrementen la capacidad instalada, supeditado esto a las disponibilidades de tipo financiero principalmente.

Pero los criterios de política de un plan, cualquiera que sea su tipo, deberán ser complementados necesariamente por una legislación que apoye y refuerce los objetivos propuestos; en el caso colombiano se tiene el siguiente orden cronológico, que expone las principales medidas legislativas dictadas al respecto.

En congruencia con lo anterior es que se han diseñado una serie de políticas conducentes a efectuar negociaciones con los países que nos suministran combustibles, con el objeto específico de efectuar intercambios directos en materia de comercio exterior, obteniéndose en consecuencia un ahorro en las divisas colombianas, divisas estas que bien podrían ser encaminadas al sector energético, criterios estos que se adoptaron a partir de 1976 (31), e

---

29- Ibid. p. 13.

30- ONP. PIN. pp. 83-84, T-11.

31- García Parra. Op. Cit. p. 569.

igualmente se ha procurado incentivar la producción nacional por medio de la fijación de los precios de los crudos explotados con posterioridad a 1976, a niveles tales que, alcancen a los precios internacionales, con el objeto de hacer rentables en esta forma las inversiones en este tipo de empresa(32), comprendiendo dentro de esta política igualmente la disminución en los subsidios dedicados al transporte de servicio público urbano, vigentes desde el 26 de julio de 1971 por decreto # 1277 y 1361, este último que amplía y especifica algunos artículos del anterior(haciendo especial énfasis en las causales de nulidad del subsidio, como también sobre los trámites para la obtención del mismo); posteriormente por resolución # 74/71- de la Junta Monetaria se otorgarían concesiones a las empresas refinadoras de petróleo localizadas en el país, consistentes principalmente en la exoneración de los depósitos provisionales, recursos adicionales que se destinarían básicamente a la compra de petróleo crudo con el objeto de refinarlo en el país.

Igualmente destacables fueron las políticas encaminadas a lograr la explotación de los denominados crudos incrementales por medio de la recuperación secundaria, (consistente este proceso en el recalentamiento de la zona petrolera en cuestión e inyección de distintos materiales

---

32- Ibid. p. 571.

líquidos o productos químicos(33).

La pequeña y la mediana empresa relacionada con el sector energético (del petróleo y de la minería del carbón) se verían posteriormente favorecida por la resolución # 78/71 de la Junta Monetaria, ya que por medio de esta se otorgaban líneas de crédito en el Banco de la República, resolución esta complementada por el decreto # 1840 de 1972.

En cuanto a la política de precios de los combustibles se puede decir que esta comienza a tener vigencia a partir de junio de 1970, cuando la tasa de cambio para la divisa petrolera destinada a la compra de crudo para refinar en el país, pasó de \$ 9,00 a \$ 20,00, lo que posteriormente implicaría el incremento en los precios de los combustibles, dando origen de esta forma un año después a la creación del denominado subsidio al transporte, con miras a atenuar el incremento desproporcionado en las tarifas de servicio público.

El incremento en los precios de los hidrocarburos registrados en el país con posterioridad a 1971, año en el que la gasolina motor que se cotizaba a \$3,40 por galón, sería incrementado de forma gradual en los años subsiguientes;

---

33- Denis Hayes. Rayos de Esperanza. Transición a un Mundo sin Petróleo. (Editorial World Water Institute, ...

pero los incrementos en los precios se justificaban por dos razones fundamentales: primero por la creciente dependencia en materia de combustibles que del exterior se tenía situación que presentaba mayores costos en los consumos y segundo, por la pérdida registrada año tras año en la empresa estatal ECOPETROL, debido a las importaciones que de gasolina se hicieron a partir de 1971, pérdidas estas que hasta 1973 contabilizaban un total de más de dos mil millones de pesos; se concluye de esto, que la política del gobierno en esta materia se centra básicamente en situar los precios internos de los combustibles a los niveles de los precios internacionales con miras a lograr tres objetivos:

- a- Incentivar la inversión privada en el sector.
- b- Buscar un uso más racional de las fuentes energéticas.
- c- Disminuir las pérdidas asumidas por ECOPETROL a consecuencia de las importaciones de combustibles.

En lo relacionado con la inversión extranjera en hidrocarburos se tiene que a este respecto sería reglamentada principalmente en lo atinente a las formas de los contratos de explotación, pues de las formas de los contratos de "licencia, permisos de explotación y de los denominados aportes" se pasaría a las formas de los contratos de "asociación" a partir del año de 1970, caracterizados estos por

no tener restricciones legales estrictas, a pesar de que estas formas de contratos se conciben dentro de los lineamientos de los denominados "Aportes"(34); hasta la fecha (10 de marzo de 1982) existen en Colombia 42 contratos de asociación vigentes(35) establecidos con diferentes compañías internacionales; esto en lo referente al régimen de contratación entre el estado y la empresa privada.

Posteriormente a esto se dictaron una serie de medidas que abarcaron tanto al sector del carbón, hidroeléctrico, de petróleos y de la conservación de recursos naturales, todos ellos enfocados hacia el logro del autoabastecimiento; fue así como por decreto 844 de 1975 se estableció el "Régimen Petrolero"; en el cual se tratan aspectos relacionados con: los pagos del crudo para su refinación interna, comprendido este dentro de los lineamientos del artículo 154 del decreto 444/67, se establecen los mecanismos por los cuales el Gobierno interviene en la política petrolera, como también fijando los precios de los combustibles; se definen algunos criterios para la configuración de los diferentes organismos estatales encargados de fijar y de controlar los precios de los hidrocarburos; se derogan los artículos 154 y 162 del de

---

34- Restrepo Londoño. Op. cit. p. 25.

35- Carlos Rodado Noriega, (MinMinas), según declaraciones, durante la entrega del ENE, (Miércoles 16 de marzo de 1982).

creto 444 de 1967, por considerarlos contrarios a los intereses nacionales, y más específicamente en lo relacionado con la industria del petróleo, sucediendo similar cosa con la industria del carbón, ya que por decreto # 2788 de 1973 el gobierno se declaró contrario a las disposiciones adoptadas en la decisión 24, en su artículo 40, en la cual se hacen restricciones a la inversión de capitales en estos renglones; para este mismo año de 1973 se declaró a la totalidad del territorio nacional como reserva carbonífera por medio del decreto # 2533.

En 1974 se dictaron algunas disposiciones conducentes a disminuir el gravamen a las importaciones de los equipos destinados a la actividad minera del carbón (decreto # 21-04/74), otras en las que se especifican el régimen de descuentos tributarios por concepto de agotamiento en las minas y yacimientos explotados (decreto # 2310); por decreto 2053/74 se otorgan algunas deducciones por la amortización de los equipos involucrados en el proceso de la producción, y se amplían las deducciones a tangibles no relacionados de forma directa con la producción, pero cuya depreciación implican erogaciones para el minero.

En 1975 se homologa a la empresa minera con la industria del petróleo, dándoles un tratamiento común, por medio del decreto # 187 y en el cual se especifican igualmente algunas excepciones por las inversiones no productivas en

en el campo de la explotación; para 1976 el COMPES determinó las cláusulas para las diferentes inversiones extranjeras en el país, como también la designación de los diferentes organismos encargados de autorizarlas; se reglamentó igualmente el porcentaje de participación en las utilidades de las empresas de acuerdo con el monto de las inversiones hechas por cada una de las partes (estado-empresas privadas); por medio de la Ley 54 de 1977 se reducen los impuestos sobre los giros al exterior por concepto de asistencia técnica, los cuales pasaron del 40 al 12 por ciento esto, con el objeto de no poner freno a la tecnificación de los diferentes sectores.

Dentro del sector eléctrico cabe mencionar la expedición de algunas medidas que buscaron el desarrollo del sector, entre las cuales se pueden destacar las siguientes: la resolución # 51/76 de la Junta Monetaria por medio de la cual se creó el Fondo de Desarrollo Eléctrico, institución esta con sede y administración del Banco de la República, financiada principalmente por la modalidad de bonos de inversión cuyo rendimiento anual inicial fue del 18%, se establecen que los bancos que presten a las entidades del sector eléctrico recursos destinados a subsanar la deuda con el sector externo, gozarán de un redescuento del 90 por ciento, que estos préstamos tendrán una tasa de interés del 20% anual, un redescuento del 19% anual y un plazo de cinco años; posteriormente y complementando a la respec

tiva resolución se dictó la # 75 expedida por la Junta Monetaria y por medio de la cual se establecieron algunas pautas relacionadas con la emisión de bonos destinados a subsanar la deuda externa; por resoluciones # 6/78 y 35/78 se efectúan nuevas revalidaciones, pero en esta última se especifica que: se establecen tres puntos adicionales en las tasas de interés que cobraban los bancos sobre los préstamos otorgados al sector eléctrico; se amplían los porcentajes en la tasa de redescuento anual sobre los diferentes préstamos, los cuales quedarían a partir de esa fecha en el 25% es decir, seis puntos más de los que se tenían en 1976, conservándose en 90% el redescuento sobre los préstamos totales efectuados.

Leyes más recientes son: la Ley # 56 de 1981 por medio de la cual se establecen una serie de convenios entre las compañías eléctricas del país y los diferentes municipios en los que se encuentren ubicadas sus centrales de generación, con miras a destinar algunos beneficios económicos a los municipios en cuestión, previéndose que las transferencias de estos recursos podrían llegar a la cuantía de \$23 mil millones de pesos en los próximos ocho años, parte de los cuales se destinarán a la conservación de las cuencas hidrográficas.

Por medio de la Ley 11/82 se creó la Financiera Eléctrica Nacional, la cual reportará un monto aproximado de

\$ 15.000 millones anuales, recursos estos destinados a compensar las diferentes inversiones del sector como también el evitar en teoría, los abruptos incrementos en las tarifas del fluido eléctrico.

En materia de energía nuclear caben destacar las políticas encaminadas a efectuar un inventario del recurso radiactivo por medio de contratos de asociación entre las diferentes empresas extranjeras y el Instituto de Asuntos Nucleares de Colombia (IAN), como también con la compañía Colombiana de Uranio (COLURANIO); inicialmente se consideran las prioridades que posee el IAN en la exploración de sustancias radiactivas (decreto 258/75); posteriormente se autorizaría la constitución jurídica de COLURANIO por medio del decreto 2396/77, otorgándole a esta última igualmente facultades para efectuar exploraciones y explotaciones del recurso nuclear en las diferentes regiones de Colombia, procesos estos en los cuales se supone que tendrá directa ingerencia el IAN; es de anotar que en la actualidad (marzo del 82) existen dos proyectos de decreto-ley (36), por medio de los cuales el IAN haría exploraciones preliminares de toda clase de recurso radiactivo, se buscaría igualmente que la explotación sea adelantada por COLURANIO; en otro proyecto de ley plantea el director del IAN la necesidad de declarar a la totalidad del territorio nacional como área de reserva de materiales radiactivos exceptuando a la región de la Sierra de la Macarena la

cual es una región reservada a la Universidad Nacional, lo anterior con el objeto de evitar contratos de explotación o exploración que no reporten utilidades técnicas o económicas al país(37).

De lo anterior se deduce que en cuanto a la provisión de energía, el gobierno colombiano ha previsto cuantiosas inversiones para el desarrollo de los subsectores: -eléctrico, petróleo, gas y carbón, para lo cual tendrá que recurrir necesariamente a empréstitos internacionales tanto del Fondo Monetario Internacional, por intermedio del denominado Fondo Nacional del Petróleo, como también a los empréstitos que otorgue el Banco Mundial, incluyendo igualmente los recursos propios de las diferentes entidades del sector energético, como también aquellos provenientes del presupuesto nacional, los cuales tendrán como objetivo fundamental, el lograr hacer autosuficiente al país y convertirlo en posible exportador de energía.

---

36- Mensaje del director del IAN, Ernesto Villarreal Silva al ministro de Minas y Energía, Alberto Vasquez Restrepo, con fecha; 25 de febrero de 1980. En Documentos del Minminas y Energía.

37- Ibid.

## B- Proyecciones del consumo y la oferta de energía

### 1- Proyecciones del consumo

En lo relacionado con el comportamiento futuro del consumo de energía, se prevé que para el año 2000 este se incrementará en un 233% con respecto a 1979(38), cuando este pase de  $13.7 \times 10^6$  TEP en 1979 a  $31.9 \times 10^6$  TEP en el 2000. Se destaca que el consumo variará de acuerdo con el estudio de cada sector; así por ejemplo se tiene que: en el sector residencial el consumo de GLP y carbón se verán incrementados( de acuerdo con la tasa de crecimiento anual promedio), mientras que el consumo de energía eléctrica, kerosene, coque y gas natural tendrá una tendencia decreciente.(ver apéndice I).

En el sector de la industria manifestará una tendencia creciente en el consumo de energía eléctrica y del carbón, mientras que la tendencia en el consumo de ACPM, kerosene y gas natural será decreciente.(ver apéndice II).

---

(38) Datos deducidos por el autor teniendo como referencia los cuadros de las pp. 61-62 del ENE.

El sector del transporte incrementará el consumo de gasolina y ACPM no automotor, mientras que lo disminuirá en ACPM automotor, gasolina de aviación y combustibles de los aviones jet(JP-1A)(ver apéndice # III).

De acuerdo con la información suministrada en el cuadro # 6 se deduce que el consumo de hidrocarburos tenderá a disminuir en razón de la tendencia presentada en el porcentaje de participación dentro del consumo total de energía; similar tendencia se observa en el consumo de la leña y el bagazo, mientras que se nota un incremento en el consumo de electricidad ya que del 9.7% de participación en 1979 pasará al 21.6% para el año 2000.

En lo relacionado con el consumo de energía total por sectores se tiene que: el porcentaje de participación del sector residencial tendrá una tendencia decreciente con respecto a 1970 cuando pasará del 39.7% al 30.3% en el año dos mil(ver cuadro # 7), mientras que el sector del transporte lo incrementará, al pasar del 23.6% en 1970 al 29.1% en el año 2000; similar tendencia se observa en el sector de la industria, en el que el porcentaje de participación en el consumo pasará de 31.6% al 35.6% , lo que de por sí nos demuestra la necesidad de abrir nuevos caminos en la generación de energía, en especial del fluido eléctrico si se tiene en cuenta que es el que tendrá la mayor demanda para finales del siglo,(ver cuadro #6).

## CUADRO # 6

PROYECCION DEL CONSUMO SEGUN FUENTES ENERGETICAS 1979-2000  
(Miles de TEP)

	1979	%	1980	%	1985	%
Hidrocarburos						
petrol y gas	7363	53.7	7622	53.6	9059	52.9
Carbón	1604	11.7	1701	11.7	2284	13.3
Electricidad	1330	9.7	1438	10.1	2129	12.4
Leña	3424	24.9	3452	24.3	3650	21.3
Total	13711	100.0	14213	100.0	17122	100.0

Calculado con base en los datos de la presentación inicial  
del ENE, p. 91.

Proyección del consumo energético

Para no perder de vista la importancia del consumo de energía en el desarrollo del país y sobre todo en el sector de servicios, los resultados de la proyección se presentan en un cuadro que muestra el consumo proyectado por fuentes energéticas.

CUADRO # 6

(cont.)

PROYECCION DEL CONSUMO SEGUN FUENTES ENERGETICAS 1979-2000  
(Miles de TEP)

	1990		1995		2000	
Hidrocarburos (Petróleo, Gas)	10629	51.3	12798	48.0	15212	48.0
Carbón	3108	15.3	4118	16.0	5529	17.3
Electricidad	3191	15.4	4664	18.0	6903	21.6
Leña	3791	18.3	4080	15.0	4314	13.5
Total	20720	100.0	26600	100.0	31957	100.0

Calculado con base en los datos del ENE, (presentación inicial), p. 91.

### a- Estructura del consumo energético colombiano

Pero no menos importante que la tendencia del consumo es la estructura del mismo y sobre la cual se deberán de adoptar las medidas conducentes a buscar un uso más racional en su consumo y sobre las cuales actuarán las políticas de abastecimiento y sustitución en aquellos sectores en donde sea posible, con miras a la optimización de su demanda, es así como se tiene que el mayor consumo energético se registra en el sector residencial, con un 34.6% del consumo total de energía en 1979 (ver cuadro # 7) , seguido por el sector industrial, el cual consume cerca del 31% encontrándose en un tercer lugar el sector del transporte con un 29.8% y finalmente otros consumos que llegarón al 4.6% para el año de 1979.

Discriminando el consumo que de cada fuente se hace (39), se tienen las siguientes características: el petróleo y sus diferentes derivados son consumidos principalmente por el sector del transporte, con un 49.9% del total del petróleo consumido a nivel nacional en 1979, le sigue el sector de la industria con un 27.4% , el sector residencial con un 13.8% y finalmente el consumo en otros secto -

---

39- Cálculos del autor con base en los cuadros de la nota anterior, consistentes en llevar los porcentajes al equivalente de 100% para cada uno de los consumos de las fuentes energéticas.

## CUADRO # 7

CONSUMO DE ENERGIA POR SECTORES  
(Miles de TEP)

	1970	%	1979	%	1990	%
Residencial	3993	39.7	4739	34.6	6665	32.1
Transporte	2374	23.6	4048	29.8	6134	29.6
Industrial	3184	31.6	4244	31.0	6555	31.6
Otros	518	5.1	644	4.6	1366	6.7
Total	10074	100.0	13711	100.0	20720	100.0

Fuente: DNP. ENE, presentación Inicial, pp. 95-98.

CUADRO # 7  
(cont.)

CONSUMO DE ENERGIA POR SECTORES  
(Miles de TEP)

	2000	%
Residencial	9675	30.3
Transporte	9301	29.1
Industrial	11377	35.6
Otros	1604	5.0
<b>Total</b>	<b>31957</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Ibidem. pp. 95-98.

res, el cual llega al 8.9%; de los datos inferidos anteriormente se tiene que el sector del transporte es el que definitivamente marca la pauta en cuanto al consumo de petróleo sector hacia el cual se deberán de encaminar la mayor parte de los esfuerzos para hacer un uso más racional del consumo, sector al que se ha enfocado básicamente el proyecto metanol, el cual busca fundamentalmente el sustituir en un 20% el consumo de petróleo.

En el consumo de hidroelectricidad se tiene que el sector que más consume de esta fuente energética es el residencial, con un promedio de 50.8%, siguiéndole el sector de la industria con un 43.9% y finalmente un consumo en otros usos de un 5.3% para el año de 1979; en el consumo de gas se tiene que un alto porcentaje se dirige al sector industrial(40); en el consumo de carbón se tiene que es consumido en un 14.8% por el sector residencial y en un 85.2% por el sector industrial.

La leña definitivamente ocupa un lugar preponderante en el consumo, el cual se encuentra dirigido fundamentalmente al sector domestico en casi un 100% , aparte de que dentro del consumo energético nacional cubre más del 26% de las necesidades energéticas del país.

---

40- Según información del ENE . p. 62.

## 2- Proyecciones de la oferta de energía, planes de corto, mediano y largo plazo

Los diferentes planes del sector energético se deberán concebir teniendo en cuenta tres factores que considero importantes, a saber:

- a- La disponibilidad de recursos energéticos.
- b- Las políticas emprendidas en cuanto a sustitución y recurrencia a las diferentes fuentes energéticas, con miras a suplir eficientemente la demanda de energía.
- c- La tendencia histórica manifestada por el consumo.

En consecuencia, la inclusión de las anteriores consideraciones dentro de un plan energético, asegurará un uso óptimo de los diferentes recursos, ya que para un logro positivo se deberá de consultar a los criterios de racionalidad económica (de recursos y de políticas de consumo de los mismos), ya que en caso contrario, es decir al hacer una proyección matemática del consumo o de la oferta de energía con base en las tendencias históricas, equivale a hacer un desconocimiento de la realidad, ya que los términos de una proyección en este sentido presupone la inmutabilidad de las variables involucradas, variables estas que pueden fluctuar de acuerdo con acontecimientos, ya sean estos de tipo natural, político o institucional, lo que influirá en la misma.

En cuanto a los diferentes planes sobre el futuro ener

gético se han adelantado una serie de estudios conducentes a ampliar la oferta de energía; es así como por ejemplo se tienen en el campo petrolero planes iniciales que buscan incrementar la explotación, con los primeros resultados positivos, en especial durante los primeros meses de 1982; en el campo de la exploración a manera de ilustración se tiene que: para el período 1957-61 se perforaron un total de 37 pozos(41); para el período 1962-75 se bajó a la cifra de 19 pozos, llegando posteriormente, en el período de 1975-79 a los 57 pozos(42); en una fecha más reciente 1981 se llegó a la cifra récord de 100 pozos perforados(43)

En cuanto a las inversiones en la actividad petrolera en el renglón de la exploración se estima que para el período 1967-73 ascendió a la cifra de US\$ 1,6 millones, inversiones estas efectuadas por parte de Ecopetrol en los campos tanto de exploración, como de geofísica y fotogeología; para el período de 1974-78, estas inversiones habrían llegado a los US\$ 9,8 millones, mientras que las in-

---

41- García Parra. Op. Cit. p. 567.

42- Loc. cit. Véase también Bejarano Gallo Op. cit. p. 3.

- Departamento Nacional de Planeación DNP. Plan de Integración Nacional (PIN). p. 101, T-1.

43- Rodado Noriega. Según nota # 35.

versiones realizadas bajo las formas de los contratos de asociación llegaron a un monto de US\$ 185,2 millones, lo que nos dá una idea de la importancia que se le ha dado al sector a partir de la crisis mundial de combustibles; dentro de las inversiones a nivel nacional por parte del Estado se cuenta la construcción de la planta de Balance, la cual comenzó a operar desde 1980, estimándose que para el presente año (1982) entrará a funcionar el ensanche efectuado a la refinería de Cartagena; para el año de 1983 se espera que entrará en operación una serie de proyectos entre los que se cuentan(44), la operación de la refinería de los Llanos Orientales, la cual ampliaría la capacidad de refinación del país en 90.000 barriles más, lo que dejaría al país con una capacidad de refinación de más de 330 mil barriles; en materia de oleoductos se tienen previstos los proyectos de ampliación en la red de oleoductos, en especial el que va de Barranca a Cocorná (en 1983); para el período 1983-86 se prevé la construcción de los poliductos de Sebastopol-Medellín y Sebastopol-Barranca; de lo anterior se deduce que la actividad petrolera se incrementará notablemente, previéndose el año 1986 como referencia para el autoabastecimiento en materia de hidrocarburos, año en el cual se eliminará la importación de petróleo y gasolina, los cuales llegan a los 51.000 barriles diarios

---

44- DNP. Op. cit. p. 100 T-1.

se destaca que en la actualidad, se exportan 35.000 barriles diarios de fuel oil por un valor de US\$ 240 millones anuales, contra unas importaciones de US\$ 700 millones anuales, por concepto de petróleo y gasolina; se prevé igualmente la extensión de los diferentes gasoductos, como por ejemplo el de Occidente, el cual abastecerá a las principales regiones del interior del país, apoyados por la destilación y licuefacción de gas que se efectuará en los diferentes complejos que se construirán en la zona de la Guajira, de los que se espera generen ingresos adicionales por concepto de sus exportaciones.

En lo referente al subsector del carbón, se prevé básicamente que el mineral recobrará importancia a partir de 1986 por dos aspectos:

a- Al ser fuente de divisas por las exportaciones, las que se estiman para 1986 en un monto de tres millones de toneladas anuales y cuya meta será la de producir y exportar quince millones de toneladas anuales(45)procedentes de la zona norte del Cerrejón, es decir en la zona del contrato Carbocol-Intercor; en la zona central del Cerrejón, se buscará producir cinco millones de toneladas anuales en asociación con la compañía Montreal Engineering Co.(46), la que en la actualidad (1982) produce cerca de 300.000 toneladas anuales. Es importante destacar inicialmente los términos de

---

45- Restrepo Londoño. Op. cit. p. 43.

46- Ibid. p. 45.

la negociación de la zona norte, comprende un período de treinta años discriminados de la siguiente forma: tres años en el período de exploración y estudios de factibilidad, etapa esta que se terminó a mediados de 1979, cuatro años en el período de construcción y montaje, período que atraviesa en la actualidad y 23 años como etapa de explotación comercial; el carbón producido es propiedad de las dos empresas por partes iguales, pagando la compañía extranjera los siguientes tributos al Fisco Nacional: (47)

- a- 40% de impuesto sobre la renta líquida.
- b- 12% de impuesto sobre las remesas por asistencia técnica.
- c- 14% de impuesto de las remesas de utilidades.
- d- 15% de impuesto sobre el exceso de utilidades

El monto de la inversión asciende a los un mil millones de dolares de 1978, de los cuales, le corresponde a invertir el 50%. Se estima que para 1992 el Cerrejón habrá generado unos ingresos de \$ 4.200 millones anuales, por concepto de las exportaciones, suponiendo que el proyecto opere comercialmente a partir de 1986(48).

La producción de carbón en la Guajira abastecerá tan-

---

47- Según la legislación propuesta para 1979.

48- Ver nota # 46.

Ver la Ley del Régimen Tributario de la Minería del Carbon, expedida por el gobierno Nacional.

to al mercado nacional como internacional; dentro del mercado nacional se tiene que un alto porcentaje de la producción se dedicará a la industria del cemento de la zona de la Costa Atlántica (Barranquilla, Cartagena y Tolu que demandarán más de 450 mil toneladas anuales), como también a las plantas termoelectricas de la región, las cuales demandarán para 1983 más de un millón de toneladas anuales, lo que nos daría un consumo total de más un millón y medio de toneladas (49), el cual sería cubierto en su totalidad por la producción de la misma región.

En cuanto a fluído eléctrico existen una serie de planes conducentes a incrementar la capacidad instalada actual (estimada para marzo de 1982 en 5.6GW) a 6.7GW para 1988(50); entre los proyectos más importantes que se han ejecutado ultimamente se tienen entre otros: la Central del Guavio en la región del Magdalena, la cual tendrá una potencia total de 1.3GW, la Central de Chivor de 1.0GW de potencia, la Central de San Carlos con 0.9GW, la de Urrá con 710 MW, centrales estas que ampliarán significativamente la capacidad de generación del país.

Entre los planes de corto plazo, en el sector eléctrico se tienen previstos algunos proyectos, ya sea que se encuentre an la etapa de construcción o financiación, entre

---

49- Restrepo Londoño. Op. cit. Fig. 11-7-1/1.

los que se destacan: la ampliación de la central de Insula (51) la cual suministrará 12 MW adicionales, esta central se encuentra localizada en el departamento de Risaralda; la central de Chivor II que suministrará 500 MW adicionales, ubicada esta en el departamento de Boyacá; la central de Paraiso- La Guaca con 600 MW, en el departamento de Cundinamarca y finalmente la central de San Carlos que generará 620 MW adicionales, ubicada esta en el departamento de Antioquia.

En cuanto a los planes de mediano plazo, los cuales podrían oscilar entre los diez y los quince años, varían su clasificación de acuerdo con la capacidad de generación de cada uno de los proyectos, pero en general se adopta que por aspectos económicos sean aquellos que tengan una capacidad de generación de más de 100 MW. En el cuadro # 8 se observan algunos de los proyectos de corto, mediano y largo plazo, son un total de 33 proyectos, los cuales podrían dejar al país con una capacidad instalada de más de 24.5 G.l (52), algunos de los cuales entrarán en operación hasta después de 1988 debido a los múltiples retrasos que han sufrido.

---

50- Hector Hernandez y Jairo Jimenez. Recursos Hidroeléctricos de Colombia. En Seminario Sobre Energía en Colombia, SSEC, (Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, marzo de 1979), p. 3.

51- Según los diferentes planes de ISA.

52- Hernandez y Jimenez. Op. cit. cuadros # 4-5.

do en los últimos años; entre los planes de mediano plazo podrían citarse principalmente: la central de Cañafisto con 1.6 GW, Ituanga con 3.8 GW; dentro de los planes de largo plazo podrían citarse aquellos que se encuentran en la etapa de estudios de prefactibilidad, entre los que se destacan: el proyecto de Farallones que generaría 2120 MW, el proyecto de Apavi de 1920 MW y el proyecto de Valdivia de 700 MW de potencia (ver cuadro # 8), en total el número de proyectos en esta etapa (prefactibilidad) es de diez, los cuales tendrían una capacidad de generación de 6.1 GW

La perspectiva real en el sector eléctrico es la de incrementar la capacidad instalada a 23.6 GW para el año dos mil, perspectiva en la que se supone una tasa de crecimiento en la demanda del 8.9% anual hasta el año 2000, previniéndose dos alternativas de crecimiento de la demanda a partir de ese año, una del 6% y otra del 8% (53), surgidas estas de la suposición de que ocurrirá una disminución en la demanda debido al porcentaje de cubrimiento que el fluido eléctrico habrá tenido en el territorio nacional para esa fecha.

Dentro de la primera alternativa y suponiéndose una generación por parte del recurso hídrico del 70% y del 30%

---

53- Diego Otero P. y Carlos A. Angel. Disponibilidad de Capacidad Hidroeléctrica y su Influencia en la Generación Térmica del Futuro. En SSEC. marzo de 1979. p. 2.

## CUADRO # 8

## PROYECTOS HIDROELECTRICOS EN CONSTRUCCION, FINANCIACION Y DISEÑO

Región	Proyecto	Entidad Ejecutora	Capacidad Instalada	Fecha Operac.	Estado Central
I	Insula. Amp.	ICEL-CHEC	12	Agost. 79	Construc.
II	Chivor II	ISA	500	Enero. 81	Construc.
I	Paraiso*	EEED	600	Enero. 82	Construc.
I	Ayurá	EPM	19	Enero. 82	Financia.
I	Guadalupe***	EPM	100	Enero. 82	Financia.
I	Troneras***	EPM	26	Enero. 82	Financia.
I	Sn. Carlos I	ISA	620	Julio. 82	Construc.
I	Sn. Carlos II	ISA	930(1)	Julio. 83	Financia.
I	Jaguas	ISA	170	Julio. 83	Financia.
I	Salvajina	CVC	180	Enero. 84	Financia.
I	Guadalupe IV	EPM	260	Enero. 85	Financia.
I	Betania	ISA	667(2)	Octubr 85	Diseño.
I	Playas	ISA	240	Enero. 86	Diseño
II	Guavio	ISA	1300(3)	Nov . 86	Diseño
IV	Urrá I	ISA	340	Mayo . 88	Diseño
IV	Urrá II	ISA	710	Mayo . 88	diseño

1-2-3. Instalación final

\* La Guaca.

\*\* Ampliación

\*\*\* MW, con estos proyectos la capacidad de generación ascendería a los 6674 MW

Fuente: Héctor Hernandez y Jairo Jimenez. Op. cit. p. 22.

CUADRO # 8  
(cont)

PROYECTOS HIDROELECTRICOS EN ESTUDIO

Región	Proyecto	Entidad Ejecutora	Capacidad Instalada*	Estado de los estudios
I	Sogamoso	ISA	1200	Con Factibilidad
I	La Miel I	ICEL	286	En Factibilidad
I	La Miel II	ICEL	338	En Factibilidad
I	Butantan	ICEL	268	En Factibilidad
I	Samacá Med.	ICEL	228	En Factibilidad
I	Canafisto	ISA	1600	En Factibilidad
I	Ituango	ISA	3860	En Factibilidad
I	Neme	ISA	480	En Factibilidad
V	Patía I	ISA	1200	Con Factibilidad
V	Sn. Juan	ISA	1500	Con Factibilidad
V	Patía II	ICEL	800	En Factibilidad
I	Valdivia	EPM	700	Con Prefactibilid.
I	Farallones	ISA	2120	Con Prefactibilid.
I	Apavi	ISA	1920	Con Prefactibilid.
I	Palmalarga	ISA	496	Con Prefactibilid.
I	Xarrpa	ISA	330	Con Prefactibilid.
I	R. Grande II.	ISA**	204	Con Prefactibilid.
I	Tenche	EPM	19	Con Prefactibilid.
I	Timba	CVC	65	Con Prefactibilid.
II	Julumito	CVC	52	Con Prefactibilid.
V	Calima II	CVC	200	Con Prefactibilid.

\* En MW.

\*\* y EPM

Total estudios con o en Factibilidad: 11 con un potencial de generación de 11760 MW; Total estudios con Factibilidad: 10

Total generación 6106 MW. Para un gran total de 17866 MW.

Fuente: Loc. cit.

para el recurso térmico, con una tasa de crecimiento del 5% anual a partir del año 2000 se tendrá que el recurso hídrico se habrá agotado aproximadamente para el año 2029; con una tasa de crecimiento del 8% este se habrá agotado en el año 2022; el empleo de las termoeléctricas a carbón generarán un total de 28.5 GW (para la primera suposición) las que requerirán de  $63.9 \times 10^6$  toneladas para el año 2030 (54); si se supone un cubrimiento en la demanda de energía eléctrica del 20 % por parte de las centrales térmicas se tendría una capacidad de generación de más de 11 GW para el año 2022 y una demanda de más de  $25 \times 10^6$  toneladas de carbón

Dentro de la segunda alternativa es decir con una tasa de crecimiento del 8% a partir del año 2000 se tendría para el año 2022, suponiendo un componente de generación hídrico del 70% y térmico a carbón del 30% la capacidad de generación térmica será de más de 24 GW la que implicará un consumo de más de  $55 \times 10^6$  toneladas; si se supone un cubrimiento de la demanda de energía eléctrica del 20% por parte de las centrales térmicas se tendría que para esta fecha la capacidad de generación será de más de 16 GW, lo que demandará un consumo de más de  $35 \times 10^6$  toneladas de carbón, lo que implicará en consecuencia la producción de

---

54- Otero y Angel. Op. cit. en SSEC, marzo de 1979, anexos # 6 y 6A.

una producción de carbón superior a los treinta millones de toneladas anuales para esa fecha, si se tiene en cuenta, tanto el consumo de las propias centrales térmicas, como también el consumo en otras actividades económicas, lo que de forma ilustrativa nos muestra el desarrollo que deberá experimentar la industria del carbón para los próximos cuarenta años; en el momento actual el desarrollo de las centrales térmicas a carbón implican excesivos costos, en especial los atribuidos al sector del transporte, costos estos originados por las deficiencias en el mismo sector, en sus tres modalidades (férreo, carretera y fluvial), situación esta empeorada por las características de diseño y estado de las vías, como también por la baja capacidad del equipo rodante en lo que al transporte terrestre se refiere, además de que en el transporte fluvial se tropieza con la longitud de navegabilidad de los principales ríos del país, agravado esto por el hecho de que en la gran mayoría de los casos, los ricos mantos carboníferos carecen de vías de acceso<sup>(55)</sup> acordes con sus posibilidades de producción, lo que hace que los costos del mineral se incrementen en igual o mayor proporción a las dificultades de su explotación.

De lo anteriormente expuesto y de cumplirse las proyecciones previstas, cabría preguntarse: que se hará para

---

55- Ernesto Beltrán Cortés. Carbones de Colombia. (Publicación del Minminas, 1974), pp.83-97.

para suplir la demanda, una vez agotado el recurso hídrico?, que sucederá si la tasa de crecimiento de la demanda es mayor que la prevista? ya sea por factores de política energética, relacionados con la sustitución de combustibles en las cuales se previera un desvío de la demanda hacia el fluido eléctrico; quedaría la alternativa, la de tener que recurrir a la generación termoeléctrica a carbón, la energía nuclear, u otras fuentes energéticas (geotérmica, solar, eólica, etc.) de menor eficiencia, lo que implicaría la construcción de un gran número de ellas, con el objeto de satisfacer eficientemente la demanda.

Dentro de la alternativa del carbón se procuraría por cambiar los porcentajes de generación actuales, es decir, que prime la generación térmica sobre la hidroeléctrica (perspectiva esta que no ha sido considerada en el ENE, ya que para el año dos mil se estima que la generación térmica ocupará tan solo el 7% de la producción total del fluido eléctrico (56)); las centrales térmicas se construirían en áreas cercanas a las minas con el objeto de disminuir los costos de transporte, factor este que incide directamente en el costo del kWh generado por este tipo de centrales (véase ejemplo ilustrativo en el apéndice IV), para lo cual se deberán de tener en cuenta las regiones más ricas

---

56- DMP. ENE, presentación inicial. p. 73.

en este mineral, tales como: las regiones de Landázuri, San Vicente y Lebrija en el departamento de Santander; la región del territorio de Vasquez en el departamento de Cundinamarca; la región del Cerrejón en el departamento de la Guajira; las regiones de la Cuenca de Yumbo y Suarez en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca; las regiones de Sopetrán y Amagá en Antioquia, regiones estas que considero óptimas en cuanto a su localización y magnitud de sus reservas, las cuales proporcionarían grandes ahorros, alternativa esta viable de contarse con la infraestructura física de acceso y de facilidades en la interconexión con el sistema eléctrico central.

#### C- Dotación de recursos energéticos

En cuanto a la dotación de recursos energéticos, inicialmente es importante distinguir dos conceptos: lo que se entiende por recurso, y lo que se entiende por reserva, respecto de los cuales se puede decir que: el recurso se encuentra constituido "no solo por la totalidad de las reservas sino también por todos los combustibles, que se sabe existen pero que no pueden recuperarse a los costos actuales, ni con la tecnología de que se dispone, además de que se deberán de incluir la estimación de los yacimientos que no se han descubierto todavía", mientras que "las reservas representan el combustible que puede servir inmediatamente a la industria y no constituyen un índice total de los re-

cursos"(57).

Colombia puede considerarse afortunada en lo concerniente a la dotación natural de fuentes energéticas, como bien se aprecia en el cuadro # 9, el cual muestra igualmente las grandes reservas de carbón como también el alto potencial hídrico susceptible de ser empleado como fuente de electricidad, no sin desconocer igualmente, los grandes yacimientos de gas existentes en la zona de la Guajira.

CUADRO # 9  
RECURSOS ENERGETICOS DE COLOMBIA 1979

Fuente	Reserva* energetica en %	Consumo*** en %	Cuántia equivalente de la reserva.
Hídrica	55.3	6.8	100 millones de Kw.
Carbón	39.5	21.9	1300 millones de Tm.
Gas Nat.	3.9	19.8	4.7 billones de pies. <sup>3</sup>
Petróleo	1.3	51.5	330 millones de barri- les
Total	100.0	100.0	

\*de acuerdo con las reservas probadas.  
\*\*de acuerdo con la tendencia del consumo para ese año.

Fuente: DNP. Plan. pp. 89-90, T - I.

57- Denis Hayes. Op. cit. p. 43.

Se plantea en consecuencia que la problemática de la energía en Colombia se debe a la falta de explotación y consumo de aquellas fuentes que son relativamente más abundantes, lo que ha ocasionado de una u otra forma innumerables problemas en el abastecimiento energético del país.

### Reservas carboníferas

Los recursos carboníferos de Colombia no han sido cuantificados de forma exacta debido fundamentalmente a la falta de mayores estudios geológicos, los cuales implicarían grandes inversiones; es así como se contemplan dentro de las cuantificaciones, múltiples valores que hacen dudar acerca del verdadero monto de las mismas: por ejemplo se estiman según diferentes autores y diferentes épocas, las siguientes: "Suescun representante de la CEPAL las calculó según los estudios adelantados en 1959, en 3556 millones de toneladas; posteriormente Mutis J. las estimó para 1966 en 3900 millones; Castro D. las estimó para 1970 en 4000 millones"(58); otras cifras como las mencionadas en el PIN estiman en 1.300 millones de toneladas de reservas probadas (59) y un monto de reservas inferidas de cerca de 7.983 millones de toneladas(60). De lo anterior no se puede concluir nada definitivo en vista de que con estudios más detallados, las reservas del mineral se incrementan.

Las mayores reservas carboníferas de Colombia según el Ministerio de Minas y Energía(61), se encuentran localizadas principalmente en la zona Andina y en algunas zonas de

58- Restrepo Londoño. Op. cit. cuadros # 2-3.

59- DNP. PIII. p. 107, T - I.

60- Ibid. p. 111, T - II.

61- Beltrán Cortés. Op. cit. p. 2. fig. 1.

la Costa Atlántica, teniéndose regiones ricas en este mineral, tales como la región del Cerrejón, en el departamento de la Guajira con unas reservas probadas de más 322 millones de toneladas(62), en el departamento de Antioquia se destacan las regiones de Amagá, Sopetrán, Purí, Tarazá, las cuales cuentan con unas reservas que superan los 21 millones de toneladas; en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá se destacan las regiones de Pubenza, Dindal, Cogua, Samacá, Territorio de Vasquez, Cuenca del Chicamocha, Sueca, Umbita, Laguna de Tota, La Bolsa de Chocontá regiones estas que cuentan con unas reservas probadas superiores a los 20 millones de toneladas; en el departamento de Santander se destacan principalmente las regiones de Landázuri, San Vicente, Lebrija, Páramo del Almorzadero, Molagavita y San Gil con un monto total de más de 17 millones de toneladas métricas en reservas probadas; en el departamento de Norte de Santander se destacan las regiones de la Cuenca del Catatumbo, la Cuenca del Zulia con reservas cercanas a los dos millones de reservas posibles y en la Faja de Toledo con unas reservas estimadas en 100 millones de toneladas; en el departamento del Cesar en la región de la Jagua de Ibirico se estiman unas reservas posibles de 18 millones de toneladas.(63).

---

62- Beltran Cortés. Op. cit. p. 56.

63- Restrepo Londoño. Op. cit. tabla 3/2.

En los departamentos del Valle del Cauca y Cauca se tienen las regiones de la Cuenca de Yumbo, Suarez, en las que se estiman unas reservas probadas de 11 millones de toneladas y unas posibles de 24 millones; en el departamento de Caldas como de Risaralda, en las regiones de Quinchia, Riosucio, se calculan unas reservas probables de un millón de toneladas; en el departamento de Antioquia sobresalen las regiones de Amagá, Sopetrán con un monto de reservas probadas de mas de 21 millones de toneladas, posibles de 14 millones y probables de 9, la región de Purí-Caseri con nueve millones en reservas probables y posibles de 10 millones de toneladas (64).

A nivel nacional se estima que el monto de las reservas probadas asciende a los 375 millones, mientras que las reservas probables se estiman en 261,3 millones y unas reservas posibles de 20.651 millones de toneladas para todo el territorio nacional(65).

## 2- Reservas gasíferas y petrolíferas

La disminución de las reservas gasíferas y petrolíferas obedece principalmente a dos factores: primero a que el petróleo y el gas constituyen las fuentes más utilizadas

---

64- Ibid. tabla 3/2.

65- Loc.cit.

tanto en Colombia como en el mundo; en el caso colombiano se tiene que cerca del 70% del consumo energético corresponde a estas dos fuentes(66); segundo que la deficiencia en la oferta energética obedece a la falta de exploración y explotación de los diferentes recursos energéticos, si se tiene en cuenta que el volumen de las reservas es función directa de la exploración de los mismos; es decir que de no efectuarse estas exploraciones implicarían directamente desconocer con lo que se cuenta en materia de energía.

En el conocimiento del gas colombiano y de sus reservas se deben de tener en cuenta dos variables fundamentales: priero: la cuantía del recurso conocido y probado de las diferentes fuentes energéticas, y segundo: el consumo que se ha hecho de estas fuentes, para determinar de esta forma lo que constituye realmente el monto del recurso, es decir, que puede ser consumido en el corto plazo. Es así como se tiene que para 1973 se contabilizaban un total de 6,57 billones de pies cúbicos de gas y un consumo acumulado de 2,69 billones de pies cúbicos, lo que nos daría un saldo en las reservas de 3,88 billones de pies cúbicos, los cuales podrían ser consumidos en los próximos años(67), ya sea en usos comerciales industriales o domésticos.

---

66- Según cuadro # 9.

67- Francisco Chona. Exploración y explotación del petróleo y el gas natural en Colombia. En SSEC, Tabla # 5.

Las regiones gasíferas de Colombia se encuentran localizadas en el departamento de la Guajira con 3,4 billones de pies cúbicos, seguido del Valle del Medio Magdalena con 0,3 billones de pies cúbicos.

En lo relacionado con el petróleo, se tiene que la situación del recurso no es tan favorable como en el caso del gas, ya que el monto de las reservas probadas es de 2.749 millones de barriles, de los cuales, a 31 de diciembre de 1978, se habían consumido un monto equivalente a los 2.086 millones de barriles, lo que daría un saldo de 662 millones, los que serán consumidos durante la presente década, bajo el supuesto de un consumo de 78,5 millones de barriles anuales(68).

Las regiones que en la actualidad suministran el hidrocarburo son: La Cuenca del Bajo y Medio Magdalena y la Cuenca del Catatumbo, en las que se cuentan igualmente algunas prospecciones(69)

### 3- Reservas hídricas

El potencial de reservas hídricas colombianas según el ISA, se estima aproximadamente en 94 Gt, discriminadas se

---

68- Ibid. Tabla # 5.

69- Loc, cit.

gún el cuadro # 10, el que nos dá un potencial para comienzos de 1979 de 94 GW y un potencial estimado de cerca de 118,34 GW, destacandose que en la actualidad solo se ha hecho un uso aproximado a los 5 GW es decir un 5,3% del total inventariado.

CUADRO # 10

## POTENCIAL DEL RECURSO HIDRICO 1979

Región	Potencial inventariado	Potencial estimado
Magdalena y Cauca	35,47 GW	44,80 GW
Orinoco y Catatumbo	27,33 GW	27,56 GW
Sierra Nevada-Guajira	0,63 GW	2,00 GW
Atrato-Sinú	4,45 GW	7,07 GW
Vertiente del Pacífico	12,12 GW	17,07 GW
Amazonia	12,02 GW	19,84 GW

Fuente: Hernandez y Jimenez, (ISA). Op. cit. Fig. # 7.

#### 4- Potencial geotérmico

El potencial geotérmico no ha sido evaluado plenamente por falta de mayores estudios al respecto, pero se estima que exista un alto potencial, principalmente en la región del Nevado del Ruiz, en las cercanías de los volcanes de Cumbal, Azufral y Galeras, exploraciones y estudios estos efectuados por las empresas estatales ISA y CHEC, los cuales y de ser económicamente explotables se dedicarían básicamente a la generación de fluido eléctrico; en principio se planea la construcción de una central de 10 MW de potencia (70) en la zona del Nevado del Ruiz; igualmente se adelantan estudios en las regiones de los volcanes en los departamentos de Cauca y Nariño donde ya se terminaron algunos estudios superficiales, quedando pendiente los de alta profundidad; es de mencionar que estos se han llevado a cabo con la intervención de la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía).

El desarrollo de la geotermia plantea dos problemas básicos:

a- El potencial geotérmico depende en primera instancia de la temperatura del recurso, pues de resultar menor a los 97°C los haría inservibles para la generación de fluido eléctrico(71), debido a la carencia de vapor, si se tiene en

---

70- Ana Isabel Diaz y Carloa A. Angel, DNP. Fuentes de Energía Nuevas y Renovables en Colombia. (Publicación del

cuenta que el agua ebulle a una temperatura de 100°C.

b- El potencial geotérmico depende igualmente de la clase de vapor que se obtenga, pues este puede presentar dos modalidades: de tipo seco o bien de tipo húmedo. De presentarse el vapor seco se obtendrán resultados positivos, susceptibles estos de emplearse de forma más económica además de que presentan un fácil manejo técnico y más eficiente; de presentarse el vapor húmedo este presentaría múltiples problemas a causa del contenido de agua y sales minerales, las que originan deficiencias técnicas en las turbinas generadoras, aparte de los efectos corrosivos que en la mayoría de los casos han marcado los más rotundos fracasos aun para las más expertas empresas en esta materia(72).

Es de destacar que el desarrollo geotérmico a nivel mundial se encuentra supremamente avanzado sobre todo en países tales como: los Estados Unidos, Italia, Nueva Zelanda, Islandia y México(73). La energía geotérmica podría constituirse en un recurso energético adicional pero no definitivo como solución a la crisis energética en relación con la potencia que se obtiene de las mismas centrales como también por las limitaciones en los mismos volúmenes

---

Minimas, enero de 1981). p. 10.

71- Irene Kiefer. Zonas Geotérmicas de la Tierra. En Energía y Tecnología # 2. (Editada por El Servicio Informativo Cultural de los Estados Unidos). p. 12.

72- Ibid. p. 11.

73- Loc. cit.

de las corrientes subterráneas; en el caso colombiano se deberán de efectuar mayores estudios geológicos con el objeto de establecer de forma aproximada el monto de las reservas y potencialidades de utilización.

### 5- Brillo solar

En esta materia se han adelantado algunos estudios, efectuados principalmente por la Universidad Nacional, la cual por medio del grupo GES (Grupo de Energía Solar) elaboró los cálculos de radiación global anual, empleando para ello el modelo Angstrom(74); igualmente se tienen algunos estudios realizados por el IAN relacionadas con las constantes de llegada solar en el territorio nacional, lo que ha permitido construir el mapa de brillo solar de Colombia en el que se destacan las regiones de San Andres y Providencia, la Guajira, el norte del departamento del Magdalena, como las regiones que más brillo solar reciben(75), con más del 73% de la radiación solar anual; las regiones que tienen igualmente un alto porcentaje de radiación solar son igualmente las regiones de los Llanos Orientales, la región de la Orinoquia, los Santanderes, Bolivar y el departamento de Sucre(76).

74- Diaz y Angel. Op. cit. p. 9.

75- IAN. Boletín Informativo, 1980

76- Diaz y Angel, Op. cit. Según Fig. # 2.



## II - LA ALTERNATIVA DEFINITIVA : LA ENERGIA NUCLEAR ?

La energía nuclear se ha constituido desde la década del cincuenta en una de las fuentes más promisorias y como alternativa en cuanto al suministro de energía y más específicamente, en la generación de fluido eléctrico; es así como desde 1955 el empleo de la energía nuclear en algunos países representaba una economía ante la manifiesta carencia de recursos energéticos o bien a la falta de una infraestructura adecuada para su explotación.

Como ilustración de lo anterior se tienen los casos de Inglaterra, Francia y algunos otros países europeos; en el caso Latino-Americano se tiene a Brasil y Argentina(77), países en los cuales el empleo de la energía nuclear para la década del 50 salía más económica que el empleo de fuentes convencionales debido al costo de las importaciones de los combustibles, necesarios para el abastecimiento interno; los costos de los fletes incrementaban el valor de los hidrocarburos y del carbón entre un 25 y un 35% (78), lo que constituía una ventaja comparativa en cuanto a costos

---

77- ONU-CEPAL. La Energía en América-Latina. Publicación del Institute Economic Development Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C. 1954. p. 217

de generación en favor de la energía nuclear siendo de esta forma como estos mismos países y otros tales como: Bélgica, Italia, Suecia, Reino Unido, Japón, Alemania Federal y los Estados Unidos, países estos que cuentan hoy en día con un alto nivel tecnológico que los hace casi auto-abastecedores de los insumos tecnológicos, que implica el desarrollar esta tecnología.

Pero la alternativa que brinda la energía nuclear radica fundamentalmente en la equivalencia entre la masa y la energía, la cual expresada en terminos físicos se resume en la siguiente fórmula:

$$E = M C^2$$

fórmula esta que es una igualdad de dos factores, MC (lado derecho) y su producto o equivalente E (lado izquierdo); en el lado izquierdo se tiene la energía expresada en julios, ergios, KGM o en sus diferentes manifestaciones: térmica, lumínica, cinética, etc. En el lado derecho se tiene: M o masa del cuerpo a transformar en energía, la cual puede ser expresada en gramos, kilogramos o en sus diferentes multiples o submultiplos. C o velocidad de la luz, la cual se ha estimado en  $3 \times 10^{10}$  cm/seg. en consecuencia  $C^2 = 9 \times 10^{20}$  cm<sup>2</sup>/seg<sup>2</sup>

Como se deduce de lo anterior la energía que puede

ser obtenida de un cuerpo cualquiera con una masa  $X$ , tendrá elevadas magnitudes, de acuerdo con la masa de la misma, siendo esta la razón por la cual la energía generada a partir de la transformación nuclear del átomo, podría convertirse en la solución definitiva al problema energético mundial de los actuales momentos, desarrollo que será más imperante para las primeras décadas del siglo XXI, del cual nos separan tan solo 18 años, tiempo este más que suficiente para efectuar los equipamientos humanos y técnicos que requiere esta tecnología aunque si bien en el caso colombiano no se ha logrado un gran adelanto comparativamente con otros países latinoamericanos, gracias al impulso logrado por el IAN en colaboración con la Agencia Internacional de Energía Atómica y con la Argentina, país este con el cual se encuentran firmados algunos convenios de cooperación y asistencia técnica.

De la formula expuesta anteriormente se puede decir que en sí misma, esta no nos está diciendo el como? ni bajo que procedimientos podríamos transformar la masa de un cuerpo en energía, solamente nos permite cuantificar la energía que se libera al transformar la masa en energía; el problema de como lograrlo es más bien de tipo técnico, como también del conocimiento actual del que dispone la humanidad para ejecutarlo; a manera de ilustración se tiene que en teoría cualquier clase de cuerpo puede ser transformado en energía, así por ejemplo y bajo estos supuestos se ten-

dria que la energía liberada por la transformación de un cuerpo de una  $Tm$  sería:

$$E = mc^2$$

$$E = 1000Kg(3 \times 10^8 \text{seg})^2$$

$$E = 9 \times 10^{19} \text{julios}$$

$$E = 9 \times 10^{19} \text{julios} / (3,6 \times 10^6 \text{julios}) = 9 \times 10^{13} \text{KWH}$$

$$E = 9 \times 10^{19} \text{julios} / (2,6845 \times 10^6 \text{julios}) = 3,35 \times 10^{13} \text{HP}$$

$$E = 9 \times 10^{19} \text{julios} / (4,2 \times 10^9 \text{julios}) = 2,1428 \times 10^{10} \text{TNT}$$

magnitudes energéticas estas insuperables por los métodos tradicionales de la combustión química de los cuerpos o sustancias que poseen un alto contenido energético como el gas el petróleo, el carbón etc.

Dentro de la terminología Einsteniana, la energía liberada al transformar la masa en energía es independiente de que esta sea carbón, madera, concreto, etc, importando solo para ello la cuantificación de la masa sometida al proceso de transformación nuclear; pero esta transformación solo ha podido llevarse a cabo en forma parcial por los procedimientos nucleares de la fisión y de la fusión, los cuales serán descritos más adelante.

### A - La fisión (aspectos técnicos)

La obtención del proceso de fisión es el proceso por el cual se logra alterar la estructura nuclear del átomo, en especial de aquellos elementos pesados, preferentemente los pertenecientes al denominado grupo de los actínidos entre los que se destacan: el uranio, radio, plutonio, americio, cadmio, etc, elementos escogidos estos, por su alta inestabilidad atómica lo que produce la desintegración espontánea de algunos átomos constituyentes de estos cuerpos, la que se manifiesta por la emisión de radiaciones, ya sean estas del tipo Beta, Alfa o Gama.

Inicialmente la alteración de la estructura nuclear atómica fue lograda por Ernesto Rutherford en el año de 1919(79), cuando logró obtener oxígeno a partir del Nitrogeno, bombardeando a este último elemento por medio de una partícula alfa, es decir el núcleo del átomo de helio, el cual al penetrar dentro del núcleo del nitrógeno, modificó sustancialmente su estructura, convirtiéndolo en oxígeno, (ver descripción del proceso en el apéndice V)

---

79- Donald V. Hughes. Sobre la energía nuclear y su aplicación para fines pacíficos. 1ra edición, editorial Reverte S.A. 1960. p. 28. Véase también en De Wolf Smyth, Op.

Pero el proceso de alterar la estructura nuclear del átomo, requiere de cierta energía, energía esta que puede ser la necesaria para separar los elementos constitutivos del núcleo atómico o por el contrario, para unir elementos sub-atómicos y configurar un nuevo núcleo.

La energía que se requerirá para cada uno de estos procesos, es la sugerida por la fórmula de Einstein, en la cual la liberación de energía de un núcleo de helio, estaría dada por la equivalencia entre la masa y la energía (ver apéndice VI);

La cantidad de energía liberada a partir del núcleo de helio sería la suficiente para tener funcionando 1000 artefactos eléctricos con una potencia de 2,4 KW hora, durante 13,11 días (de 24 horas continuas de funcionamiento), lo que nos da una ligera idea del potencial de la fisión.

El proceso de fisión alcanzó su desarrollo en 1938 por los estudios adelantados por Hann y Strassman (80), quienes contando con los descubrimientos aportados por J. Chadwick (1932), lograron cambiar tanto el peso como el número atómico del uranio(81), para diciembre de 1942 se logró en la

---

cit. p. 28.

80- Hughes. Op. cit. p. 32.

81- Henry De Wolf Smyth. La Energía Atómica al Servicio de la Guerra. 1ra edición, editorial Espasa-Calpe, Argentina S.A. 1946. p. p.30.

Universidad de Chicago la primera reacción en cadena auto-sostenida, mediante el empleo de uranio natural(82).

El proceso de fisión se caracteriza por ser una reacción nuclear, en la que un neutrón es absorbido por un núcleo que tiene un número y masa atómicos elevados, lo que genera dentro del núcleo una gran fuerza de repulsión; en el proceso de fisión, el núcleo que adquiere un neutrón se transforma en un núcleo compuesto el cual termina por escindirse en dos núcleos más ligeros que se denominan productos o fragmentos de fisión; estos fragmentos de fisión y sus productos de desintegración corresponden prácticamente a todos los elementos de clasificación periódica como de sus isótopos.

Existen tres núcleos ( $U^{233}$ ,  $U^{235}$ ,  $U^{239}$ ) que pueden ser fisionados por neutrones de todas las energías, además de que estos pueden ser almacenados por un tiempo más o menos largo. De estos tres elementos, solamente el  $U^{235}$  se encuentra en la naturaleza en un mínimo porcentaje (0.72%), los otros dos se pueden obtener artificialmente(83); estric

---

82- Para ese tiempo no se conocía la tecnología del uranio enriquecido( $U-235$ ), se desconocía la tecnología de purificación, como también las fuentes de neutrones (fuentes de: Ra-Be, Am-Be, Po-Be) empleados hoy en día.

83- Ver apéndice VII (obtención del  $U-239$  y  $U-233$ , por medio de las reacciones propuestas.)

tamente hablando existen otras especies capaces de experimentar fisión por neutrones de cualquier energía, pero son en extremo radiactivos además de que se desintegran rápidamente, lo que no permite que tengan un uso práctico y menos económico, en consecuencia estos no se tienen en cuenta.

Algunos elementos requieren de neutrones rápidos para que se produzca fisión como es el caso del Th-232 y el U-238. Cuando la energía del neutrón incidente es mayor de un Mev. estos se pueden fisionar; estos núcleos son denominados fisiónables, para distinguirlos de los núcleos que pueden ser fionados por neutrones de cualquier magnitud energética, los que reciben el nombre de "Físiles"; por otro lado, como el Th-232 y el U-238 pueden convertirse en especies "físiles" se les da el nombre de núcleos "Fértiles".

Las características fundamentales del proceso de fisión pueden obtenerse mediante el modelo del núcleo atómico denominado de la "gota líquida", según el cual el núcleo atómico se parece a una gota líquida en el sentido de que cada una de las partículas constitutivas de la misma, interactúan por igual con sus vecinas más próximas.

En una primera aproximación se tiene que la energía interna (o de enlace) del núcleo es proporcional al número de nucleones, es decir, al número másico  $A$ ; por otro lado el radio nuclear varía en función de  $A^{1/3}$ , lo que indica

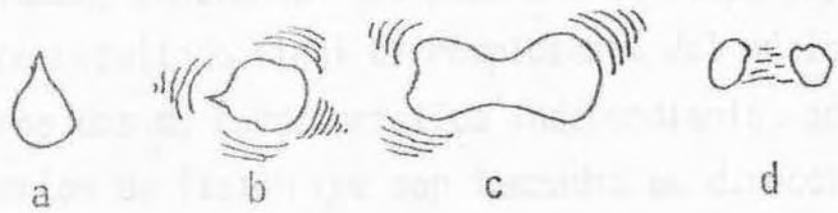
que el volumen efectivo de un núcleo es proporcional al número másico y por lo tanto la energía interna deberá ser directamente proporcional al volumen nuclear; ahora bien, en un núcleo al igual que en una gota líquida, las partículas que están en la superficie disponen de un número menor de partículas en su entorno inmediato, comparativamente con las que se encuentran en su interior, haciéndose en todo caso necesario reducir la energía de enlace, estimado anteriormente, es decir, la energía de volumen, en una cantidad tanto mayor cuanto mayor sea la superficie del núcleo, teniendo en cuenta además la repulsión electrostática entre los protones del núcleo; si la fuerza deformante es lo suficientemente grande, la gota adopta la forma (c) gráfico # 2, entonces la energía superficial excedería a la energía de volumen, que es la que suministra la energía de cohesión que, mantiene unida a la gota líquida, por lo tanto la gota no retornará a su forma inicial, sino que tenderá a dividirse, adoptando la forma de (c) del gráfico #2, acabando finalmente por adoptar la forma (d).

Podemos considerar que en la fisión nuclear sucede algo similar: un blanco o núcleo absorbe un neutrón, formando un núcleo compuesto excitado; la energía de excitación de este núcleo es igual a la energía de enlace del neutrón, más la energía cinética que el neutrón pueda tener antes de su captura, como consecuencia de este exceso de energía puede considerarse que el núcleo compuesto experimenta una

...oscilaciones, en el momento de las oscilaciones...  
...la fuerza (h)GM, si la oscilación es insuficiente para...  
...producir una deformación más avanzada que la mostrada en b...  
...oscilaciones, las fuerzas atractivas del núcleo obligarán a que...  
...vuelva a su forma original.

GRAFICA # 2

MODELO DE LA GOTA LIQUIDA



...Ilustraciones del proceso de ruptura nuclear. Véase...  
...la gráfica en el capítulo VIII...  
...- Para obtener ilustración más de este tema, véase...  
...p. 41.

Fuente: H. Fabio Cardenas. Op. cit. p. 5

serie de oscilaciones, en el transcurso de las cuales adopta la forma (b)(84), si la oscilación es insuficiente para producir una deformación más avanzada que la adoptada en b entonces, las fuerzas atractivas del núcleo obligarán a que este retorne a su forma original(a), en este caso la energía se elimina por medio de la emisión de un fotón o radiaciones gamma provenientes del núcleo compuesto excitado. Si el núcleo compuesto excitado posee energía suficiente para pasar a la fase (c)(84), la restauración al estado inicial es improbable, debido a que la energía superficial (más la energía de repulsión electrostática) supera a la energía de volumen, implicando que pasará a la etapa (d), teniendo se como resultado final el rompimiento del núcleo, formando otros dos de característica independientes además de los fragmentos de fisión que son lanzados en direcciones opuestas como consecuencia de la repulsión electrostática existente entre ellos. El exceso de energía para que el núcleo compuesto llegue al estado (c) tiene el nombre de "energía crítica de fisión"; los cálculos realizados de acuerdo a este modelo, muestran que la energía crítica de fisión de-

---

84- Ilustración del proceso de fisión nuclear. Véase gráfico en el apéndice VII.a.

- Véase similar ilustración en: De Wolf Smith, Op. cit. p. 48.

berá de disminuir al ir incrementándose el valor de  $Z^2/A$ .

Se destaca el argumento cualitativo, de que la repulsión entre los nucleones, varía proporcionalmente al valor de  $Z^2$ , mientras que la atracción es proporcional a  $A$  cuando  $Z^2/A$  es inferior al valor 35 aproximadamente, es entonces cuando la energía crítica es tan grande, que serían necesarios neutrones de otras partículas de muy elevada energía para lograr producir la fisión; pero cuando se tienen núcleos con un valor de  $Z^2/A$  superiores al valor 35, la energía crítica baja a los seis (6 Mev.) mega-electrón-voltios o menos, que es el orden de magnitud de la energía (de excitación) de enlace de un neutrón y por lo tanto la energía de excitación que acompaña a la captura de un neutrón es baja, como bien se ve en el cuadro # 11, en el que se aprecia que la energía de enlace neutrónico del U-235, U-233 y del Pu-239 es superior a la energía crítica de fisión y por lo tanto la captura de un neutrón de energía igual a cero, puede suministrar la energía de excitación suficiente para que el núcleo experimente la fisión.

Esta es la razón por la cual estos núcleos pueden ser fisionados por neutrones de cualquier magnitud energética, contrastando con el caso del Th-232 (torio) y del U-238, en los que la energía de enlace neutrónico es de cerca de un Mev. inferior a la energía crítica, requiriéndose en consecuencia que el neutrón capturado tenga por lo menos 1 Mev.

La diferencia entre la energía de enlace por nucleón del U-235, U-233 y el Pu-239 con el U-238 y el U-238 y el U-238 por el otro, se debe al hecho de que los productos de fisión tienen relaciones de neutrones, neutrones por los neutrones, tienen relaciones para...

Las reacciones liberadas en el proceso de fisión, se el...

CUADRO # 11

## CARACTERISTICAS ENERGETICAS DE LOS ELEMENTOS FISIONABLES

Nucleo	$Z^2/A$	Energía* crítica	Energía* de enlace neutrónico
Torio-232	34.9	5.9	5.1
Uranio-238	35.6	5.9	4.8
Uranio-235	36.0	5.8	6.4
Uranio-233	36.4	5.5	6.7
Plutonio-239	37.0	5.5	6.4

...

...  
...  
...

La diferencia entre la energía de enlace neutrónica del U- 235, U- 233 y el Pu- 239 por un lado y del Th- 232 y el U- 238 por el otro, se debe al hecho de que los primeros, contienen números impares de neutrones, mientras que los segundos tienen números pares.

Los neutrones liberados en el proceso de fisión, se dividen en dos categorías: "neutrones instantáneos o rápidos" y "neutrones retardados o lentos"; los primeros constituyen el 99% del total de neutrones de fisión y son liberados en un tiempo de  $10^{-14}$  seg. a partir del instante de fisión, por lo tanto al cesar la fisión, cesa inmediatamente la emisión de neutrones rápidos, pero los fragmentos de fisión continúan emitiendo neutrones retardados, durante un período de varias horas, con una intensidad que decrece rápidamente en el tiempo(85).

Los estudios realizados, muestran que los neutrones retardados se distribuyen en seis grupos (86), cada uno de los cuales, se caracteriza por decaer de forma esponencial y a una velocidad perfectamente definida; es de destacar que gran parte de los productos de fisión, experimentan desintegración por radiaciones del tipo beta, alfa o gama.

---

85- Héctor Fabio Cardenas. Notas de Conferencia. p. 6.

86- Lóc. cit.

## 1 - Masa crítica

Debido a que en cada fisión que se realice se liberan varios neutrones, solamente se necesita un neutrón para continuar la reacción en cadena; podría pensarse entonces que una vez iniciada la reacción de una masa determinada de material fisionable, esta se mantendría por sí misma, sin embargo esto no sucede así, debido a que no todos los neutrones de fisión son aprovechados para mantener la reacción en cadena. En algunos casos los neutrones se pierden por reacciones distintas a la reacción de fisión, principalmente por la captura radiactiva de los materiales extraños existentes dentro de los reactores; otros neutrones escapan definitivamente del proceso, es decir que se salen de los límites geométricos del sistema de fisión.

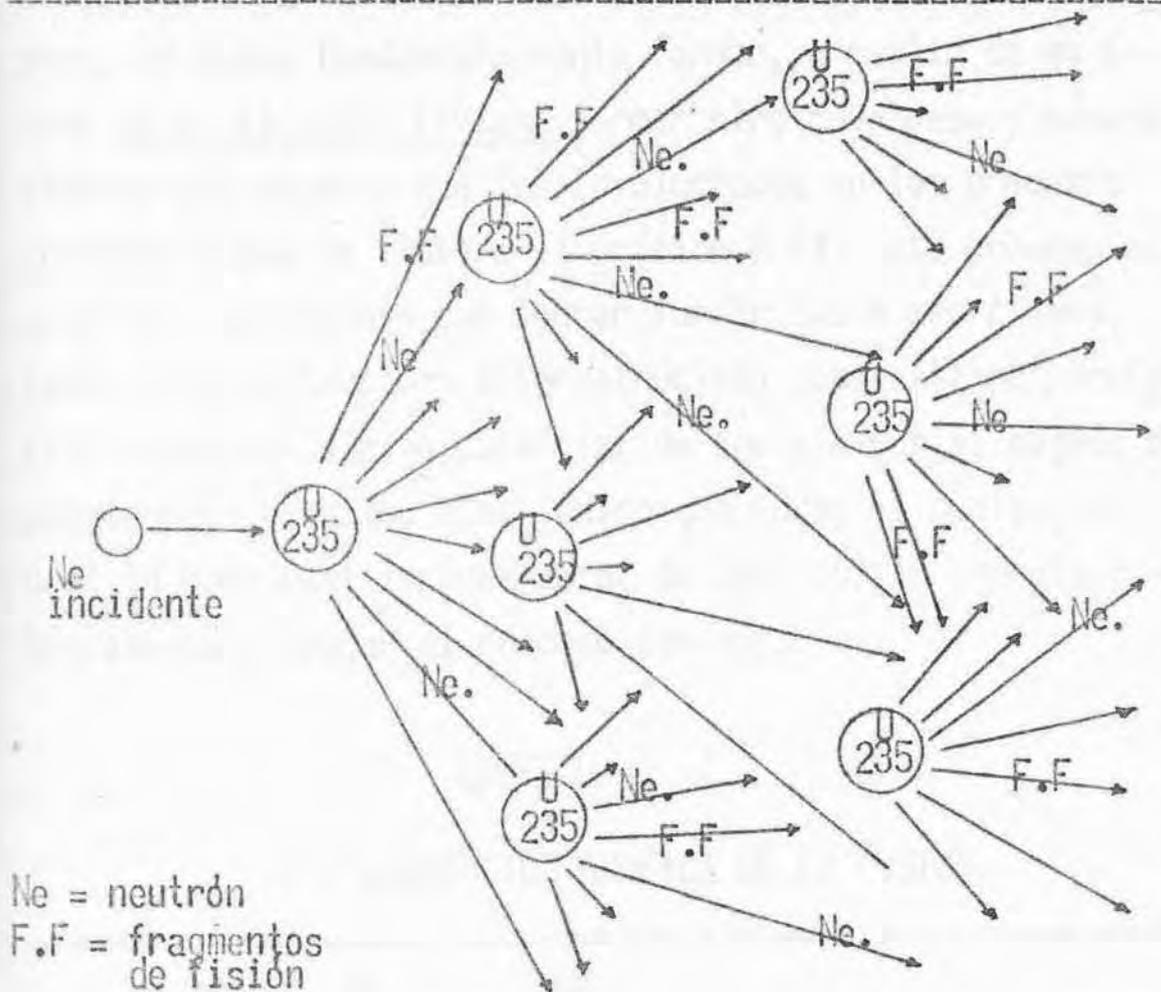
De lo anterior se deduce que debe existir una cantidad mínima de material capaz de mantener la reacción en cadena una vez iniciada por medio de una fuente externa de neutrones; a esta condición se le denomina "masa crítica", es de destacar que cada clase de reactor tiene una masa crítica bien definida.

En el caso de que se presentase una emisión y absorción mayor que la prevista se podría presentar una reacción en cadena incontrolada, lo que tornaría a una fisión inicial en una bomba atómica, debido al efecto multiplicatorio del

número de neutrones, que nos daría la idea de un diagrama de árbol, generando continuas fisiones nucleares (ver gráfico # 3), llegandose finalmente a la conversión de una gran masa en energía.

GRAFICO # 3

FISION NO CONTROLADA .

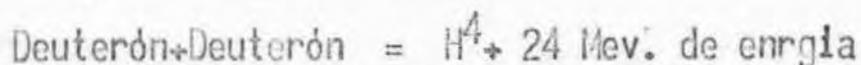
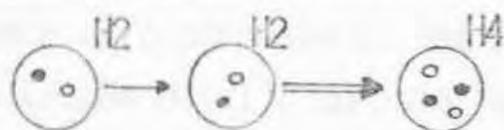


## 2- La fusión (aspectos técnicos)

El proceso de transformación nuclear denominado fusión es en principio totalmente contrario al de fisión, es decir, en lugar de buscar la desintegración del núcleo atómico, se busca fundamentalmente formar, a partir de un átomo de un elemento liviano formar otro cuyo peso y número atómico son mayores que los involucrados en los procesos iniciales (como lo ilustra el gráfico # 4); este proceso es complejo, por cuanto que lograr fundir dos o más átomos, tanto en su estructura interna (núcleo) como externa (periferia) requiere un alto potencial de energía con el objeto de penetrar en el campo electrónico que rodea al núcleo, el cual lo hace casi impenetrable, de aquí que la energía requerida para lograr el proceso sea alta.

GRAFICO # 4

### REPRESENTACION GRAFICA DE LA FUSION



Fuente: Hughes. Op. cit. p. 39.

El procedimiento por el cual se planteó fusionar dos o más átomos livianos, fue el de elevarlos a altas temperaturas que permitiesen la fusión atómica a consecuencia de la elevada energía cinética que adquieren los átomos en dicho proceso térmico; la temperatura es de tal magnitud, que según Hughes, ni aún en la misma superficie del sol se encontraría(87), pues esta podría oscilar, en el rango comprendido entre los  $1 \times 10^6$  y  $1 \times 10^8$  ° de temperatura(88), obtenida esta inicialmente por medio del proceso de fisión nuclear; más recientemente durante la década del 70 ha sido factible iniciar este proceso mediante el empleo de la tecnología "Laser"(89), procedimiento este objeto de amplios estudios durante los últimos años, adelantados particularmente por la General Electric y la Universidad de Rochester en los Estados Unidos.

La primera fusión nuclear se llevó a cabo en 1932, en un experimento en el que se llevó a la aceleración de colisión(por medio del empleo de aceleradores nucleares) el núcleo del deuterio(deuterón)(90); en 1952 se llevó a cabo la primera reacción de fusión a partir del proceso de fisión durante el desarrollo de las pruebas de la bomba de hidrógeno (Bomba H)(91), durante las cuales se logró obtener tem

87- Hughes. Op. cit. p. 29. Véase también nota # 89.

88- Para estas magnitudes bien podrían ser: °C o °F.

89- William C. Cough. The Prospects of Fusion Power.

En Energy, publicado por la Scientific American, 1979 p.136

90- Hughes. Op. cit. p. 36.

peraturas por encima de los  $5 \times 10^7$  °C, mediante el empleo de gases de alta densidad cargados con partículas fusionables; a este gas se le conoce comunmente con el nombre de "plasma".

El problema que involucra el proceso de fusión fue en principio el encontrar un material que contuviese el plasma sin que este material se fundiese con la alta temperatura; así por ejemplo, ni el wolframio, uno de los elementos más resistentes a la temperatura, con su punto de fusión (química, no nuclear) de 5900°C, fue incapaz de soportar estas temperaturas. Este inconveniente fue solucionado por el empleo de los campos magnéticos de alta densidad, capaces en principio de contener dentro de sí el plasma; con el procedimiento magnético se han logrado importantes avances en la obtención de elevadas presiones, en las cuales a pesar de las innovaciones técnicas, aun persisten algunas fugas, procedimiento este en el que se ha llegado a emplear la tecnología "laser", obteniéndose una presión del rango de  $1,7 \times 10^{22}$  partículas por centímetro cúbico(91), con el empleo de esta tecnología, se obtiene la ventaja de emplear la más baja temperatura posible ( $1,5 \times 10^6$  °C) para lograr la fusión ya que en caso contrario se obtendría con baja presión y elevadas temperaturas, como en el caso del experimento DCX norteamericano en el cual se logró la fusión con una pre-

---

91- William C. Cough. Op. cit. pp. 138-139.

si3n de  $1,7 \times 10^9$  partculas por centmetro c3bico y una temperatura de  $1,7 \times 10^{10}$  °C (92)

El procedimiento para la obtenci3n de energfa de los reactores de fusi3n nuclear, es el mismo que el empleado en los reactores de fisi3n es decir: aprovechando el efecto t3rmico de las elevadas temperaturas, las que a su vez actúan sobre dos sustancias: una primera denominada refrigerante del n3cleo del reactor, es la que se encuentra en contacto m3s directo con el proceso ya sea de fisi3n o de fusi3n; una segunda que actúa como elemento energizante de la turbina generadora de electricidad u otro proceso ffsico en que pueda transformarse la energfa que porta la sustancia refrigerante. Esta segunda sustancia generalmente se energiza por efecto t3rmico inducido de la primera, es decir del elemento refrigerante.

En el proceso de fisi3n el elemento refrigerante da la caracteristica a la clase de reactor (93), teniendose asf por ejemplo que este puede ser: agua pesada, liviana, gas, gas grafito(CO<sub>2</sub>) o gas a alta temperatura, mientras que la sustancia secundaria suele ser agua, para ser dedicada a la obtenci3n final de vapor que genera electricidad por medio de las turbinas generadoras, pero bien podrfa ser

---

92- Loc. cit.

93- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Nuclear Proliferation Factbook. Editado

otra sustancia susceptible de ser empleada con el mismo o diferente propósito; en contraste con esto, se tiene que en el proceso de fusión nuclear la sustancia refrigerante es el deuterio líquido, agua y tritio según la modalidad del reactor(94), el cual se encuentra diferenciado igualmente por la magnitud de presión que requiere para su operación; el elemento secundario puede asumir las mismas características del reactor de fisión.

Los aspectos más destacados del proceso de fusión nuclear estriban fundamentalmente en el hecho de que los insumos básicos, en especial, el deuterio se encuentran en abundancia en la naturaleza(95) y el tritio que se emite como radiaciones, es reutilizado en el proceso, como insumo, dependiendo de la clase del reactor, además de ser uno de los menos tóxicos de los isótopos conocidos, una vez emitido por el reactor en los escapes que hasta el momento tienen estos reactores(0,0001%) por día, su tiempo de vida se reduce senciblemente, al pasar de doce años en condiciones normales(96) a algo más de tres días de vida debido a la alta temperatura a la que es sometido, además este proceso

---

por U.S. Government, printing Office Washington D.C. 1980 p. 232.

94- William C. Cough. Op. cit. p. 144.

95- Robert A. John. La Energía Nuclear: curiosidad, posible realidad para el año 2000. Publicado por: Economic Article Service. EAS, # 26:7, diciembre de 1980.

96- C. Cough. Op. cit. p. 147.

no genera riesgos de accidentes nucleares al no existir un tamaño en la masa que la haga crítica.\*

Se prevé que para antes de 1985 se tendrá el primer reactor experimental con fines comerciales, de mayor perfección que los empleados hasta ahora (97), teniéndose como meta el año 2000, como fecha en la cual se podrá hacer la demostración comercial del reactor de fusión, con lo cual seguramente serán otros los rumbos de la problemática energética de la humanidad.

---

\* Es importante destacar que para la obtención de la fusión nuclear se han desarrollado dos procedimientos alternos: el procedimiento magnético (basado en la tecnología rusa del Tokamak), desarrollado y difundido ampliamente en occidente, y el procedimiento del confinamiento inercial, este último desarrollado desde la década del setenta. (Véase en: Rendel S. Pease. Fusion Power, publicado en, The Unesco Courier, pp. 13-15. junio de 1978).

97- Roberts. Op. cit. p. 2.

### C - El problema técnico de la energía nuclear

El desarrollo de la energía nuclear se ha visto quizá más que ninguna otra tecnología, sometido a una serie de limitaciones de tipo tecnológico, y más específicamente relacionado con el campo de la física nuclear, como también de la química. De la física por cuanto que en el principio los problemas le fueron inherentes al producirse la reacción de fisión en cadena, de la cual se debería de obtener una magnitud  $X$  de energía durante el proceso de desintegración atómica. Un problema químico por cuanto que para principios de la década del cuarenta no se había logrado descubrir un material cuya configuración y características químicas, le permitiesen soportar las elevadas temperatura existentes en el núcleo del reactor, pues inicialmente se abocaba a la problemática de la fundición del núcleo, influyendo igualmente la pureza del elemento químico fisionable, factores estos que influyen de manera definitiva en el proceso de la reacción en cadena; el proceso de fisión fue solucionado positivamente para un rango ( $Y$ ) de temperatura, en el cual puede operar optimamente el reactor, mediante el empleo de recubrimiento de los núcleos fisionables con el elemento denominado circonio (Zr), conjuntamente con otros elementos.

En la actualidad persisten dos problemas fundamentales, de sin igual importancia en nuestros días, cuales son los problemas de contaminación térmica y los problemas relacionados con el almacenamiento de los desechos radiactivos.

En lo relacionado con el problema térmico se puede decir que este es más un problema de ingeniería o bien de tipo económico, en el que se podría tratar de eliminar o por el contrario, tratar de aprovechar la radiación térmica en algunos otros usos prácticos que ahorren un consumo energético en ciertas actividades económicas como bien podrían ser en los campos de la agricultura, empleándolo como ambientador en los denominados invernaderos para cierta clase de cultivos que requieren de una cierta temperatura, como también en el sector industrial o residencial, por medio del empleo de aire acondicionado.

Los desechos radiactivos que los reactores de agua ligera, producen, se verán en el futuro fuertemente disminuidos por medio del empleo de los reactores denominados "Breeder y Fast Breeder", si se tiene en cuenta que los volúmenes de desechos son menores comparativamente con la potencia generada y la vida útil de cada masa de material fisiónable. Se destaca igualmente que el problema de los desechos radiactivos se ha constituido a su vez en un problema de tipo político si se tiene en cuenta la potencialidad que tienen

estos de ser convertidos en armas nucleares, una vez sometidos al reprocesamiento(98), teniéndose así por ejemplo en la actualidad una lista de países (elaborada por el Subcomité de Energía y Proliferación Nuclear del Senado norteamericano), en los cuales existen planes para la construcción de plantas separadoras y enriquecedoras de uranio y susceptibles de ser empleadas en la construcción de bombas atómicas, países entre los que se destacan: India, Alemania Occidental, Japón, Italia, Argentina, Taiwán, Pakistán e Irán (99), países estos que cuentan con algún tipo de facilidad para el reprocesamiento de sus desechos, y con los cuales se podrían construir de tres a seis armas nucleares(100), entre estos se cuentan Alemania Occidental, Japón, Bélgica India e Italia los cuales podrían desarrollar un mayor poderío nuclear(de 30 a 60 artefactos nucleares), si se tiene en cuenta el nivel tecnológico alcanzado.

Si bien el poderío nuclear que posea cada país influye en mayor o menor grado dentro de sus economías según la utilización que se le dé a este, ya sea directa o indirecta

---

98- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation, and Federal Services. Op. cit. p. 337.

99- Loc. cit.

100- Véase nota 98.

mente, es indudable que el empleo de la energía nuclear con fines políticos y militares se fundamenta en el poder de disuasión que dan las armas nucleares contra las posibles agresiones entre países con este tipo de armas, además de que estas mismas podrían asegurar una destrucción mutua de los países involucrados directamente en un conflicto de esta magnitud(101), como afectar igualmente a los ajenos al conflicto.

Los desechos radiactivos generados por los reactores nucleares ya sean de agua pesada o liviana o bien del tipo "breeder", podrán tener tres alternativas básicas en su destino final, a saber:(102)

- a- Almacenados.
- b- Reprocesados
- c- Una vez reprocesados, emplearlos en la construcción de armas nucleares.

como se podrá constatar, lo anterior aparte de ser un problema técnico, es también un problema de caracteres políticos, en los cuales se ha tratado de intervenir en forma directa por intermedio de la Agencia Internacional de Energía Atómica como también por medio de la firma de tratados de carácter internacional, como también sobre las diferentes medidas de seguridad impuestas a los países miembros fir-

---

101- Daniel S. Papp. Percepciones Sovieticas Sobre el Equilibrio Estratégico. En Air University Review, volumen XXXIII, No 2 (Invierno 1981-1982), pp. 2-19.

antes de dichos convenios.

#### D - Tipos de reactores nucleares

Los reactores se pueden clasificar de diferentes maneras, según cada uno de los siguientes criterios(103):

- a- De acuerdo con la energía de los neutrones que producen la fisión, se clasifican en:
  - 1-"Reactores rápidos", que poseen una energía superior a los dos Mega-electron-voltios( 2 Mev.).
  - 2-"Reactores epitermicos", que utilizan neutrones con energía intermedia.
  - 3-"Reactores térmicos", que utilizan neutrones con la energía equivalente a la que posee el medio en la que se mueven, es decir 0,025 ev.
- b- De acuerdo con el tipo de combustible empleado en el reactor, se tienen los:
  - 1-"Reactores que utilizan uranio natural", es decir que contienen solo el 0, 72% de U-235.
  - 2- Reactores que utilizan uranio enriquecido, es decir con un % de U-235 mayor a 0,72%; para reactores experimentales este porcentaje es elevado pues puede oscilar entre un 90% - 95%, mientras que para los reacto-

---

102- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation, and Federal Services. Op. cit. p. 333.

103- Fabio Cardenas. Op. cit. p. 7.

res de potencia dicho porcentaje llega al 3,4 %.

3- Reactores que utilizan plutonio (Pu- 239).

4- Reactores que utilizan uranio (U- 233)

c- De acuerdo con el ciclo del combustible se clasifican en:

1- Reactores que solo se diseñan con la finalidad de producir calor, no tienen material fértil, se les denomina comunmente "Reactores Quemadores" y su aplicación es de baja escala.

2- Cuando el material fértil es convertido en material fisil, diferente al elemento inicial, debido a los diferentes procesos dentro del reactor, se denominan "Reactores Convertidores, así por ejemplo se tienen los que convierten el U-238 en U- 239 - Pu- 239.

3- Reactores cuyo material fértil es convertido en material fisil igual al elemento inicialmente empleado, debido al proceso del reactor, recibiendo el nombre en consecuencia de "Reactores Reproductores", así por ejemplo el reactor que emplea plutonio (Pu- 239) como combustible inicial, lo convierte en material fértil U- 238 y posteriormente lo transforma en Pu- 239.

d- De acuerdo con el estado del combustible, se clasifican en:

1- Reactores que utilizan combustible sólido; en la práctica, la mayoría de los reactores utilizan este tipo de combustible, ante los menores problemas técnico que presenta su manejo.

- 2- Reactores que utilizan combustibles en forma de sales de uranio mezclados con agua, por lo general se les denomina "Reactores Homogeneos" de tipo acuoso; el principal problema de estos reactores es la reactividad química que produce la corrosión de los diferentes componentes del reactor; también existen a escala experimental reactores que utilizan combustibles de metal líquido, pero estos han sido desplazados por los inconvenientes técnicos que presentan,
- e- De acuerdo con el sistema de refrigeración se clasifican en:
- 1- Reactores de refrigeración directa, en el que el combustible líquido circula a través de un intercambiador de calor para la generación de vapor.
  - 2- Reactores de refrigeración indirecta, en los que el refrigerante pasa por el reactor y después por el intercambiador de calor, para así generar el vapor; en este tipo de reactores se puede emplear: agua pesada, ligera, gas o metal líquido como el elemento refrigerante.
- f- Para los reactores que utilizan los neutrones térmicos, se tendrá en cuenta igualmente el moderador, los que se clasificarían en :
- 1- Reactores moderados con grafito, utilizados fundamentalmente con objetivos bélicos, son los

reactores más seguros del mundo, pero requieren de un gran volumen de combustible; se encuentran refrigerados por gas o por un metal líquido.

- 2- Reactores con moderador de agua natural, que sirve a su vez como refrigerante; este tipo de reactor es utilizado con fines experimentales, como también en la generación de potencia. En el caso de la generación de potencia pueden asumir la modalidad del PWR (Reactores de agua a presión) o bien BWR (Reactores de agua hirviente); para el caso de los reactores experimentales se tiene el combustible en un recipiente de agua, denominándose "Reactor del tipo de Piscina".
- 3- Reactores moderados con agua pesada; tienen un alto costo por el empleo de esta agua, pero su volumen es mínimo.
- 4- Existen igualmente reactores que tienen como moderadores el berilio y materiales orgánicos, sin embargo su uso ha sido limitado y solo se han realizado a este respecto algunos experimentos.

### E - Tipos de combustibles

Los combustibles más usuales en los reactores de fisión son fundamentalmente los elementos más, más pesados de la naturaleza, en especial el uranio, ya sea natural (U-238) o enriquecido (U- 235), el plutonio, el torio, el protoactinio o bien algunos de los isótopos de estos; la potencia de generación de los reactores de fisión viene dada por la clase de combustible como también por el porcentaje de fisión, sin embargo es de aclarar que la magnitud de combustible es variable, dependiendo del tamaño del reactor, pero independiente de la capacidad de generación del mismo; así por ejemplo en el reactor de agua a presión descrito por Hughes y que genera 60 MWe, el núcleo del reactor se encuentra constituido por 100 libras de U- 235 y un recubrimiento de uranio natural, U- 238, de 12 Tm (104); cabe destacar(105), que el tonelaje a pesar de ser alto, su volumen físico no lo es en vista del peso atómico del elemento: uranio; otro tipo de reactor con una capacidad de generación de 500 MW, emplea como combustible una cantidad de 30 Tm de uranio pobremente enriquecido.

---

104- Hughes. Op. cit. p. 94.

105- Según criterios del autor.

Una central de fisión que en la actualidad genere una potencia de 1000 MWe tendrá una proporción de combustible de 967 Kgs de U- 238 (uranio natural) y 33 Kgs de U- 235 (uranio enriquecido). Al cabo de tres años se tendrá que estos se habrán disminuido en 24 Kgs y 25 Kgs respectivamente, lo que indica que: la proporción de U- 235 que antes era de 3,3% (96,7% para el U- 238), se redujo a 0,8% con respecto al combustible inicial total.

Lo anteriormente expuesto nos ilustra sobre dos aspectos importantes de la fisión: las magnitudes de combustible de los reactores, como también la razón por la cual se debe recurrir al enriquecimiento del combustible consumido, (106)

En el campo de los reactores de fusión se tiene que el combustible que estos emplean, básicamente es el deuterio, litio y tritio, elementos estos livianos, los cuales son concentrados y reducidos a mínimos volúmenes por medio de campos magnéticos, los cuales hacen posible el proceso de la fusión; el volumen del combustible estará dado entonces por la presión a la que es sometido el plasma, como también por el número de partículas de combustible (deuterio, tritio, helio y litio) existentes, como también por la temperatura alcanzada por dicho plasma.

---

106- Se debe de tener en cuenta que para este caso el uranio fisionable es el uranio enriquecido U-235.

## F - Formas de aprovechamiento

La energía nuclear como la energía en general tiene potencialidades de realizar cualquier trabajo, adoptada esta acepción dentro de la terminología de la física; así por ejemplo se transforma la energía térmica en cualquier otra forma por medio de los convertidores adecuados.

La energía nuclear en principio puede ser empleada tanto en usos pacíficos como bélicos de acuerdo con las diferentes políticas gubernamentales; dentro de los usos pacíficos de la energía nuclear se tienen diversos campos de acción tales como: en el campo de la agricultura por medio del análisis de suelos, los efectos de los abonos naturales y químicos; en la industria en la modalidad de los denominados trazadores, instrumentos estos que actúan como indicadores en el control de calidad, teniéndose así por ejemplo que en el caso colombiano el IAN ha prestado una amplia gama de servicios, teniéndose así por ejemplo las asesorías a Icollantas y Enka de Colombia (107); en el campo de la medicina se destaca la participación del IAN en algunos programas relacionados con la medicina nuclear en el campo de la cancerología; ha desarrollado estudios relacionados

---

107- IAN. Informe de Labores 1976. p. 9.

con la química y la bioquímica, actividades estas en las que se ha destacado por la creación de un gran número de ISOTOPOS utilizados en algunos procesos industriales, como por ejemplo en los casos de la prospección del petróleo mediante el empleo del denominado oro y bromo radiactivos, suministrados a Ecopetrol por el IAN (108); además de estos usos se tiene que los isotopos tienen otras aplicaciones tales como: " el determinar el grado de corrosión en maquinaria de diversa índole; cambios en la calidad del petróleo en los oleoductos; filtraciones de agua ( en relación con esto se tienen los estudios relacionados con las filtraciones subterráneas en la laguna del Cisga (109)); determinación de agua salada en los pozos petroleros; en la separación del petróleo de los esquistos; en los procesos de la fundición del acero, etc"(110).

El desarrollo y empleo de la energía nuclear ha contribuido en la solución de la demanda de energía, principalmente en aquellos países que cuentan con los suficientes recursos económicos y humanos; ha contribuido en el ahorro en el consumo de las reservas de los diferentes combustibles

---

108- Ibid. p. 7.

109- IAN. Boletín Informativo 1980. p. 8

110- ONU-CEPAL. Op. cit. p. 215.

- Véase también en: Joel Darmstadter. La Energía Mundial: Demanda y Abastecimiento. En Energía para el Mundo.

fósiles, como también en la generación de nuevas fuentes de energía de tipo isotópico, como lo constituye la elaboración de: deuterio, tritio, plutonio, yodines 131, etc (111), elementos estos empleados en algunos procesos de generación nuclear ya sean estos de fisión o de fusión.

El aprovechamiento más destacado lo constituye sin lugar a dudas en el empleo de generación de fluido eléctrico (ver descripción del proceso en el gráfico # 5), no sin olvidar igualmente, el empleo militar que se le ha dado desde los mismos orígenes de la era nuclear hasta nuestros días, como bien lo demuestra el desarrollo del proyecto de la bomba neutrones, empleo militar que ha servido fundamentalmente para propósitos de tipo geopolítico.

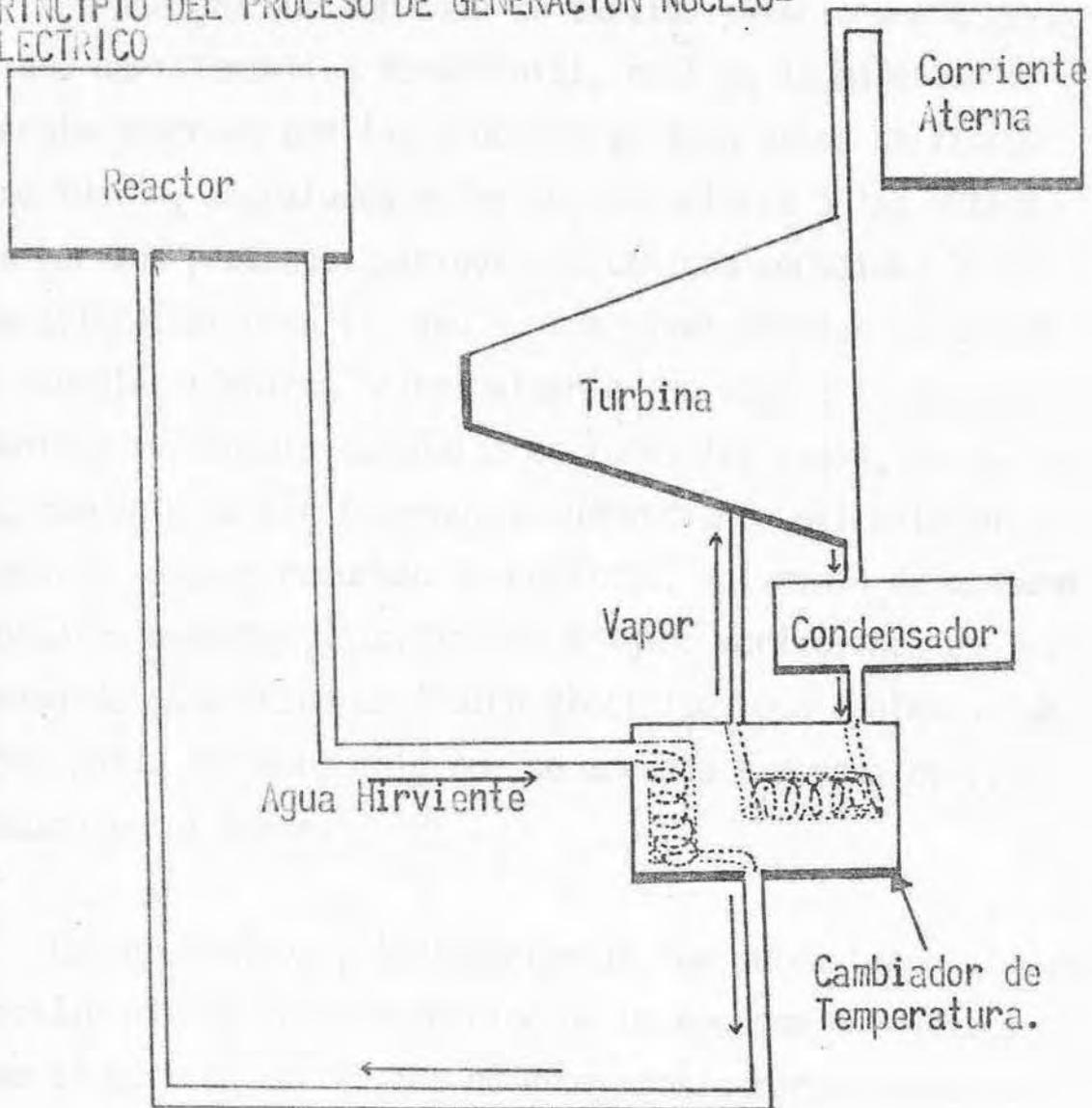
---

publicación de la: International Communication Agency, United States of America, diciembre de 1974. p. 14.

111- William C. Cough and Bernard J. Eastlund. Op. cit. p. 147.

GRAFICA #5

## PRINCIPIO DEL PROCESO DE GENERACION NUCLEO-ELECTRICO



El autor.

## G - Ventajas y perspectivas de la energía nuclear

La energía nuclear como se explicó anteriormente reviste una característica fundamental, cual es la magnitud de energía generada por los procesos ya sean estos de fisión o de fusión, magnitudes estas muy superiores a las obtenidas por los procesos químicos o mecánicos conocidos hasta ahora(112); si bien las ventajas a nivel mundial se cifran en aspectos técnicos principalmente, no ocurre lo mismo en cuanto a su aspecto económico en todos los casos, ya que estos pueden o no ser favorables, dependiendo del país en cuestión, de sus recursos energéticos, volúmenes de consumo economías externas, etc, lo que origina variaciones en los costos de generación de fluido eléctrico, aun dentro de un mismo país, fenómeno este que se aprecia a manera de ilustración en el cuadro # 12.\*\*

La perspectiva y la importancia que pueda tener el desarrollo científico y económico de un recurso energético como el nuclear, estimo que no debe considerarse sujeto a las ventajas comparativas que en un momento dado favorezcan

---

112- Donal V. Hughes. Op. cit. pp. 27-31.

\*\* - Fuente: Subcommittee on Energy and Power. p. 700.

## CUADRO # 12

COSTO PROMEDIO ANUAL ESTIMADO PARA LA GENERACION DE FLUIDO NUCLEOELECTRICO. ( POR REGIONES DE LOS ESTADOS UNIDOS )\*\*

Región	Costo anual de la energía nuclear. (¢ de US\$ / kWh)
Nueva Inglaterra, Nueva York.	9,97
Pennsylvania, Nueva Jersey, Maryland, Delaware, DC.	10,50
Virginia, North Carolina, South Carolina.	8,60
Michigan.	9,65
Indiana, Ohio, Kentucky, West Virginia.	9,35
Tennessee, Alabama, Georgia, Florida.	8,64
Wisconsin, Illinois, Missouri.	9,61
Arkansas, Mississippi, Louisiana	8,60
North Dakota, South Dakota, Nebraska, Minnesota, Iowa.	9,44
Kansas, Oklahoma, Texas.	8,68
Montana, Idaho, Wyoming	
Colorado, Utah, Arizona, New Mexico.	9,09
Washington, Oregon.	9,94
California, Nevada.	9,92
PROMEDIO NACIONAL.	9,26

a otros tipos de recursos energéticos en detrimento del considerado, si se tiene en cuenta que: las condiciones favorables que en el aspecto económico y aun técnico que pueda tener un recurso determinado (incluso el nuclear), no podrán permanecer constantes en el tiempo, en vista del mismo agotamiento del recurso; en consecuencia surge la necesidad de desarrollar fuentes alternas, que si bien no conllevan beneficios inmediatos, seguramente estos serán reportados en el futuro, si se tiene igualmente la tendencia en los costos que experimentarán los combustibles tradicionales, costos que se incrementarán tanto más cuando ocurra el agotamiento real de las diferentes reservas energéticas de origen fósil.

Las perspectivas en el desarrollo de la energía nuclear son bastante positivas si se tiene en cuenta la capacidad de generación eléctrica lograda en menos de veinte años, cuando de 200 MWe (113), en promedio, se llegó a los 1300 MWe para 1980, además de que los adelantos en el proceso de la fusión nuclear, han marcado descubrimientos y diseños tecnológicos, que promulgan a su vez por su utilización comercial para comienzos del próximo siglo(114).

---

113- Hughes. Op. cit., pp. 50-100. Vease también en: Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Op. cit. pp. 227-229.

114- John A. Roberts. Op. cit. pp. 1-3.

En cuanto al desarrollo de los reactores de fisión previstos para el año 2000 por la OECD ( Organization for Economic Cooperation Development)(115), nos indica que de los 146 reactores encuestados por esta organización, se llegará para el año 2000 y de acuerdo con la tendencia actual a los 1000 reactores, previniéndose igualmente una tasa de crecimiento acelerada, según la cual se llegaría para esta fecha a los 1890 reactores; existen otras perspectivas más positivas que plantean la posibilidad de que para el año 2000 estas lleguen a las 3200 centrales(116), pero se considera más factible la primera proyección si se tienen en cuenta las trabas políticas y económicas surgidas en los últimos años. Lo anterior nos indica la perspectiva positiva que se plantea para el desarrollo de la energía nuclear, a pesar de los continuos incrementos en los costos de construcción de este tipo de centrales.

El desarrollo y auge de la energía nuclear tanto a nivel local como internacional contribuirán a la estabilización de los precios de los diferentes combustibles de origen fósil, e influirá igualmente en los costos de generación hidroeléctrica como se verá más adelante; la variación en los costos de la energía dependerá en consecuencia del desarro-

---

115- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Op. cit. p. 232.

116- Joel Darmstadter. Op. cit.

llo que experimenten las fuentes alternas de energía en el futuro inmediato.

En cuanto al próximo desarrollo de la energía nuclear se tienen previstas las siguientes tendencias:

- Los reactores que manifestarán un máximo desarrollo serán reactores denominados LWR o Reactores de Agua Ligera (ver cuadro # 13), seguidos inmediatamente de los de tipo HWR o Reactores de Agua Pesada.
- Los reactores denominados FIR o del tipo BREEDER, tendrán su mayor auge durante la década del 90 y superarán para el año 2000 a los reactores del tipo HWR.
- Los reactores del tipo AGR o Reactores Avanzados a Gas, conjuntamente con los Reactores de Gas Grafito GG, como del tipo HTR o Reactores a Gas de Alta Temperatura, manifestarán un desarrollo comparativamente menor, debido a factores tanto tecnológicos como económicos que requieren esta modalidad de reactores.

## CUADRO # 13

OECD: DISTRIBUCION MUNDIAL DE LOS REACTORES\* 1977 - 2000  
 ( Capacidad de generación en gigawattios electricos)  
 GWe

Año	LWR	HWR	AGR	GG	HTR	FTR
1977	74	4	3	6	-	-
1978	90	5	3	6	-	-
1979	107	6	6	6	-	-
1980	126	7	6	6	-	-
1981	145	7	6	6	-	1
1982	167	9	6	6	-	1
1983	191	11	6	6	1	1
1984	220	12	6	6	1	1
1985	251	13	6	6	1	1
1986	288	16	6	6	1	1
1987	331	19	6	6	1	1
1988	372	22	6	6	1	2
1989	418	25	6	6	1	2
1990	460	28	6	6	2	2
1991	502	32	6	6	2	2
1992	548	36	6	6	2	3
1993	594	40	6	5	2	3
1994	637	45	6	5	3	4
1995	683	50	6	4	3	4
1996	727	55	6	4	3	5
1997	768	60	6	3	3	5
1998	815	65	6	3	4	7
1999	859	70	6	2	5	8
2000	901	75	6	2	6	10

\* Según la tendencia actual de crecimiento.

Fuente: Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and  
 Federal Services. Op. cit. p. 232.

CUADRO # 13  
(cont.)

OECD: DISTRIBUCION MUNDIAL DE LOS REACTORES 1977-2000  
(Capacidad de generacion en Gigawatts Electricos GWe)

Año	Total	
	Tendencia Actual	Tendencia Acelerada
1977	87	87
1978	105	105
1979	126	126
1980	146	146
1981	165	175
1982	189	211
1983	216	258
1984	246	308
1985	278	368
1986	318	425
1987	364	487
1988	409	555
1989	458	622
1990	504	700
1991	550	790
1992	600	890
1993	650	1000
1994	700	1110
1995	750	1220
1996	800	1360
1997	845	1500
1998	900	1630
1999	950	1750
2000	1000	1890

Fuente: Ibid.

## H - Aspectos técnicos y económicos de la energía nucleoelectrica frente a otras alternativas

En la presente sección se analizarán inicialmente los aspectos técnicos, tales como el poder calorífico de la energía nucleoelectrica, como también los diferentes riesgos de contaminación ambiental como de seguridad que presenta la misma frente a las centrales de tipo térmico fundamentalmente, se analizará igualmente la importancia que juega el factor de utilización sobre la vida útil de las centrales; dentro del aspecto económico se tendrán en cuenta variables tales como el monto de las inversiones, el incremento en los costos de la construcción de las centrales nucleares y por último los costos de generación del fluido nucleoelectrico y la influencia de la incorporación de centrales nucleares dentro de los sistemas convencionales de generación.

Es de destacar que el aspecto tecnológico de cada uno de los sistemas de generación de fluido eléctrico, conlleva necesariamente repercusiones económicas, hecho por el cual guardan estrecha relación, implicando en consecuencia un análisis casi que simultáneo como se verá a continuación.

## 1 - Aspectos técnicos de la energía nuclear frente a otras fuentes alternas de energía

La eficiencia técnica de la energía nuclear frente a las otras sustancias combustibles se cifra fundamentalmente en su aspecto calórico, como bien lo ilustra la equivalencia de un gramo de uranio U-235; esta eficiencia esta relacionada tanto con el mismo aspecto calórico como también con el volumen de combustible proporcionalmente empleado en los diferentes procesos de generación, lo que implica directamente que un determinado volumen de material fisiónable reemplace un número cuantitativamente mayor de TEP de otras sustancias combustibles (ver cuadro # 14).

### a - El combustible nuclear

Al igual que los combustibles tradicionales de origen fósil, en sí mismo no es un recurso renovable e inagotable como el recurso hídrico, solar, maremotriz, eólico, etc (salvo algunas restricciones). En contraste con lo anterior el combustible nuclear presenta una particularidad que lo hace diferente, cual es, que el combustible usado y agotado puede ser reutilizado nuevamente una vez sometido al proceso de reciclaje o reprocesamiento, ya sea por tecnología de

## GRAFICO # 14

## EQUIVALENCIA DEL PODER CALORIFICO DEL URANIO FISIONADO

---

---

1 Gramo de Uranio U-235	=	2,9 Tm de carbón.
sometido al proceso de	=	$72 \times 10^3$ pies <sup>3</sup> de gas natural.
fisión nuclear.	=	13 barriles de petróleo.
	=	$70 \times 10^6$ galones de agua.
	=	$7,3 \times 10^3$ kWh

---

---

Fuente: Ernesto Villarreal Silva. La Situación Actual y Algunas Consideraciones Sobre el Futuro de la Energía Nuclear en Colombia. En SSEC, marzo de 1979, tabla # 2.

difusión gaseosa, separación centrífuga o separación láser (116), lo que constituye una ventaja en favor del empleo de esta tecnología, a lo que se adiciona la existencia del tipo de reactor que produce más combustible del que consume, como bien lo ilustra el reactor del tipo FIR (Fast Breeder Reactor), lo que de por sí implica que la demanda por combustible nuclear se vea disminuída en razón de la vida útil que adquiere el material fisionable, uso que es limitado posteriormente por reagotamiento como también por emisiones radiactivas, perfilándose este reactor como el que marcará la pauta del futuro desarrollo energético mundial (117).

El problema fundamental que encierra el combustible nuclear usado aparte del control radiactivo, lo constituye básicamente el empleo geopolítico-militar, lo que da mayores perspectivas de proliferación en el armamento nuclear a nivel mundial, sobre el cual se busca poner el máximo control por medio de restricciones al desarrollo y construcción de las plantas reprocesadoras de combustible nuclear (118).

---

116- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. *Op. cit.* p. 175.

117- Georges A. Vandryes. Super Phenix: A Full-Scale Breeder Reactor, en Energy, publicación de la Scientific American. Library of Congress Cataloging, 1979. pp. 124-143

118- Se destaca que en la actualidad el reprocesamien-

En lo relacionado con el monto del recurso nuclear como de sus reservas ( $U_3O_8$ ), hay que tener en cuenta que en sí mismas no constituyen una traba para el desarrollo nuclear en gran escala si se tienen en cuenta las consideraciones citadas ya anteriormente, a lo que se adiciona que la demanda proyectada para despues del año dos mil disminuirá sensiblemente despues del incremento registrado en las dos decadas precedentes (ver apéndice VIII), ante las innovaciones tecnológicas ya descritas, a lo que se adiciona el hecho de que el monto de las reservas estimadas\* superan en más de 1000 veces a las necesidades del año 2000, es decir, un monto en los recursos de 2.5 millones de toneladas contra una demanda de 242.000 toneladas y un consumo acumulado de 1.9 millones de toneladas de acuerdo con la tendencia actual y de 2,9 millones de toneladas con una tendencia mayor en la demanda (apéndice VIII), lo que asegurará el completo abastecimiento de la demanda, además de que actualmente (XII/ 81) la tendencia de los requerimientos del combustible se ha disminuído ante las restricciones ya descritas lo que ha producido como consecuencia que el Kg de  $U_3O_8$  halla pasado de US\$ 55 durante la década del 60 a US\$ 17-25 durante la década del 70 \*\*, lo que despeja el panorama en materia del recurso.

\* - Actualmente al precio de US\$ 130 Kg. Ver en Subcommittee on Energy and Power, Op. cit. p. 714.

\*\* - Edmund Faltermayer, Op. cit. p. 5

### b - El factor de planta o factor de utilización

En las centrales nucleares constituye una de las grandes ventajas técnicas en contraste con las centrales convencionales de generación de fluido, si se tiene en cuenta que el factor de utilización en las centrales nucleoelectricas\* no se encuentra limitado por las restricciones del elemento energizante como si ocurre en las centrales hidroelectricas las que operan con un factor de utilización normalmente del 80% o menos ante las restricciones físicas en la acumulación de agua en los embalses, restricciones estas incrementadas por los períodos estacionales de característica seca.

El factor de utilización de las centrales termosolares eolicas, mareomotrices, geotermicas, se encuentra limitado en la gran mayoría de los casos por la característica de cada uno de los elementos energizantes de dichos sistemas; así por ejemplo en las centrales mareomotrices se encuentra restringido por los períodos de marea (fases de luna), aparte de las limitadas regiones terrestres aptas para su utilización (119); en las fuentes de generación eolicas se tiene

---

to del combustible nuclear lo pueden efectuar algunos pocos países como los Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Holanda, los cuales en un momento dado pueden vetarlo.

la problemática irregularidad en la dirección e intensidad de los vientos lo que hace que su eficiencia no este asegurada en un 100% (120), aconteciendo similares factores en la energía solar en los que las variaciones meteorológicas influyen de forma definitiva en la eficiencia de este tipo de sistemas, si se tiene en cuenta las limitaciones físicas como las llúvias, las nubes, la noche, las nieves, etc, (121), aparte de que el desarrollo tecnológico logrado en este campo la hacen prometedora; el desarrollo tecnológico ha aportado la creación de sistemas y sustancias tales como: los heliostatos, las pilas solares, los colectores solares, las pilas de silicio, las láminas policristalinas, las sales eutécticas, los glicoles, los etilenos, los sulfitos y sulfatos de cadmio y las celdas fotovoltaicas, elementos estos que han contribuido grandemente en la utilización de la energía solar, de principal aplicación en el sector residencial (más del 70% en los países que la aplican)(122) y comercial(18%), siendo de mínima aplicación en el sector industrial(2,47%), agricultura (1,33%) y en otros consumos (1,44%), lo que nos indica que en los momentos actuales la energía solar, no constituye una alternativa energética de gran

---

119- Boris M. Derkovski. Obstáculos para las Energías Nuevas. En El Correo de la UNESCO, año XXXIV, VII/81. p. 24.

120- Loc. cit.

121- La Generación Solar. Conferencia audiovisual de la International Communication Agency, USA, noviembre de 1980, vease también en Horizontes USA. La Energía Solar. pp. 48-56.

escala, además de que la eficiencia resulta ser costosa a pesar de que el elemento energizante (el calor solar) es gratuito(123).

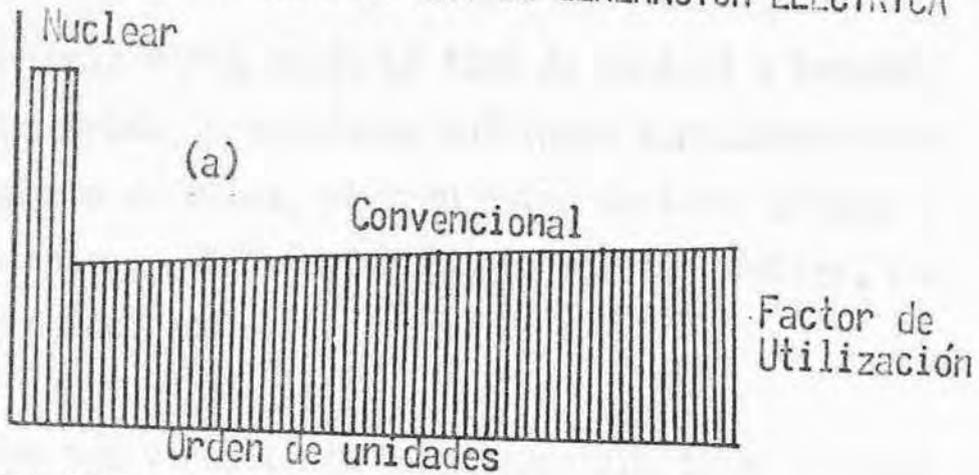
\* Dentro del campo de la generación nucleoelectrónica se destaca que el factor de utilización puede ser mantenido hasta en un 100% durante toda la vida útil de la central (30-35 años)(124), ya que el factor de planta es independiente del mismo volumen de combustible, además de que el margen de depreciación (salvo algunas unidades de protección) es mínimo.

La incorporación intensiva de centrales nucleares dentro de un sistema de generación convencional como el hidroeléctrico, tendrá como consecuencia lógica (teniendo en cuenta la consideración del párrafo anterior) que el factor de utilización de las centrales como las hidroeléctricas se vean disminuída, en la medida en que las centrales nucleares operen al máximo de capacidad de generación (100%), como también en la medida en un mayor número de centrales se incorporen al sistema, factor este que repercutirá necesariamente en los costos de generación (gráfico # 6).

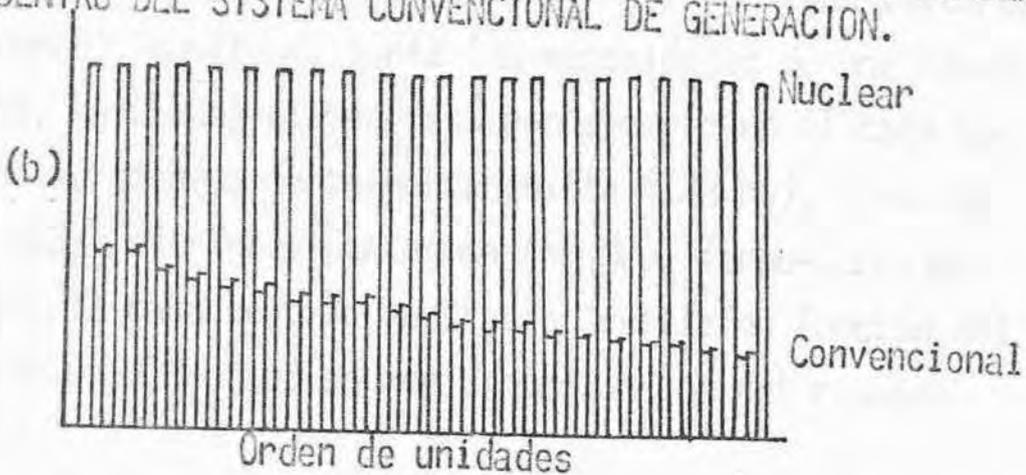
122- Cálculos del autor con base en los datos del Committee on Energy and Power. Op. cit, p. 765.  
 123- International Communication Agency, Audiovisual.  
 124- J. Pelsler. Electricity Cost in an Idealized Production System. In Economic Integration of Nuclear Power Stations in Electric Power Systems. I.A.E.A. 1960. p. 382.

GRAFICO # 6

VALOR PRESENTE TOTAL Y TIEMPO DE OPERACION A MAXIMA CAPACIDAD CON LA INTRODUCCION INICIAL DE CENTRALES NUCLEARES DENTRO DEL SISTEMA CONVENCIONAL DE GENERACION ELECTRICA



VALOR PRESENTE TOTAL Y TIEMPO DE OPERACION A MAXIMA CAPACIDAD CON LA INTRODUCCION INTERCALADA DE CENTRALES NUCLEARES DENTRO DEL SISTEMA CONVENCIONAL DE GENERACION.



Fuente: J. Pelsler. Electricity Cost in an Idealized Production System. p. 387

### c - Potencia de generación

La potencia varía según el tipo de central e insumo motriz considerado, presentando múltiples variaciones dentro de cada uno de ellos, ya sean estos de tipo térmico (carbón, petróleo, ACPM, fuel oil), termosolar, eólico, nuclear, hidroeléctrico, etc.

El tipo más versátil lo constituye sin lugar a dudas el modelo termoeléctrico (ACPM o petróleo), el cual puede generar desde unos 2Kw hasta unos 66 Mw por unidad (motores generadores), supliendo tanto las necesidades de una pequeña finca, hasta una ciudad, así por ejemplo en el caso colombiano se tiene a Termo-Barranquilla (132 Mw), Termo-Tasajero (132 Mw), Termo-Cartagena (66 Mw), Termo-Cerrejón (150 Mw); la capacidad de generación oscila en función del número de unidades que operen dentro de una determinada central.

Dentro del campo de la generación geotérmica, la potencia de generación oscila en función de la temperatura del vapor obtenido como del número de pozos. (Como ejemplo se ilustra el caso de la Pacific Gas and Electric Company que produce 396 Mw de unos 100 pozos, véase en Irene Kiefer. Op. cit. p. 11)

La potencia de generación hidroeléctrica es menor al 85% de la planeada inicialmente, pero puede alcanzar vatiajes bastante altos como bién lo ilustran las centrales de Chivor II (500 Mw), Urrá I-II (1000 Mw), San Carlos I-II 1240 Mw, etc, potencia esta que es limitada por la disponibilidad del elemento energizante, capacidad de los embalses flujo del líquido y la capacidad de generación de las turbinas.

En el campo de la generación nuclear se destaca que comercialmente se viene produciendo, centrales cuya capacidad de generación oscila entre los 500 y 1300 Mw(125). Más recientemente, la compañía Alemana Kraftwerk Union filial de la Siemens, producirá para los mercados internacionales microcentrales nucleares cuya capacidad de generación estaría entre los 300 Mw y los 400 Mw (126), lo cual da mayores posibilidades de utilización en las medianas ciudades y conglomerados industriales.

---

125- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation, and Federal Services. Op. cit. pp. 232-262.

126- Deutsche Welle. Boletín Informativo, año XIV, 2/82

En cuanto a las relaciones existentes entre el factor de utilización, potencia de generación y vida útil de las centrales convencionales se aclara que: inicialmente el factor de utilización de las centrales guarda una relación inversa con la potencia de generación de las mismas (ver gráfico # 7), observándose igualmente que la vida útil de las centrales varía en el tiempo de acuerdo con el factor de utilización, lo que implicaría directamente que el período de vida útil de la central convencional se verá incrementado en la medida en que tanto la potencia de generación como el factor de utilización se reduzcan; pero el factor de utilización de las centrales es a su vez función que del cubrimiento de la demanda desarrolle la central, ya que el cubrir una demanda del orden del 100% implica que su capacidad de generación por período, se disminuye, en la misma proporción en que alcanza la vida útil de la central (capacidad de generación máxima calculada en horas útiles), aspectos estos que se aprecian en el gráfico # 7 (secciones a y b).

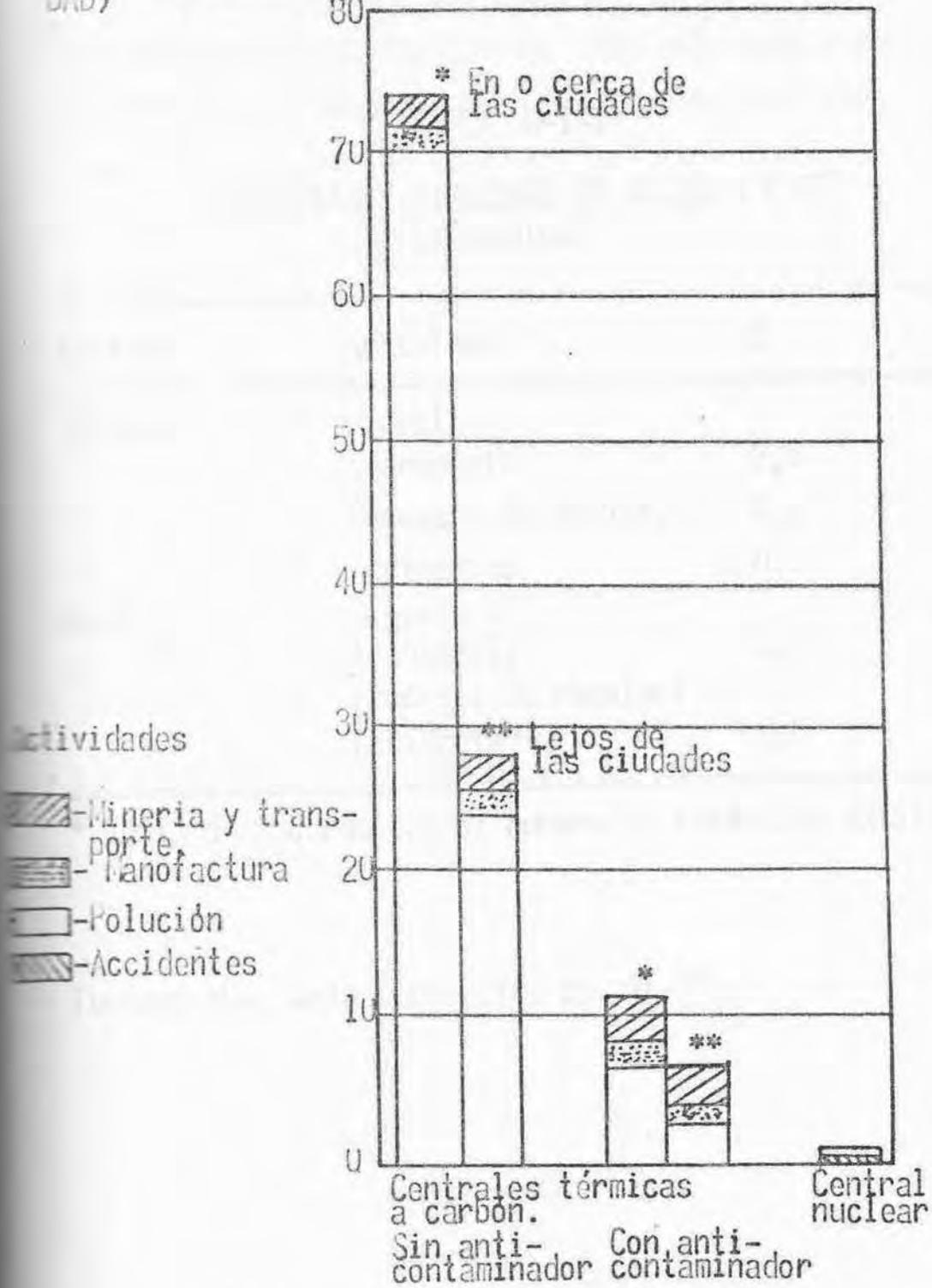
#### d - Contaminación térmica y nuclear

Los volúmenes de contaminación ambiental, que presenta la tecnología térmica del carbón, varía su intensidad de acuerdo con la proximidad a los centros urbanos, así por ejemplo se tiene que en términos generales, la contaminación ambiental presentada por una térmica a carbón sin equipos anticontaminantes, en un lugar alejado de los centros urbanos se aproxima al 24% ( en relación con los índices de contaminación normales del ambiente), mientras que la misma central ubicada en o cerca de la ciudad, presenta un margen de contaminación del 71%, mientras que con los equipos anticontaminantes (que podrían suprimir en un ciento por ciento la contaminación, no se incorporan en vista de que los costos de generación no permitirían la operación comercial de la central), la contaminación se reduce sustancialmente, en especial en los centros urbanos, si se tiene en cuenta que esta sería de un 3% para los lugares alejados y de un 6,2% en o cerca de las ciudades. (Gráfica 6-1)

En contraste con los anteriores planteamientos, se tiene que la energía nuclear no presenta características polutivas (en términos tóxicos), excepto por un leve incremento en la temperatura ambiente en las proximidades de las

GRAFICA # 6-1

ENERGIA NUCLEAR Y TERMICA A CARBON (CONTAMINACION Y SEGURIDAD)



Fuente: H.A. Bethe. The Necessity of Fission Power. p. 77.

TABLA 6-1-1  
 PORCENTAJES PROMEDIOS DE RIESGOS Y DE  
 SALUBRIDAD

Central	Actividad	%
Térmica	Minería y transporte	2,5
	Procesos de manufact,	1,8
	Accidentes	0,0
Nuclear	Minería y transporte	0,0
	Procesos de manufact.	1,3
	Accidente*	0,5

\* Varía de acuerdo con el número de centrales existentes.

Fuente: H.A. Bethe. Op. cit. pp. 76-77.

centrales.

En el subcuadro 6-1-1 se aprecian algunas cifras relacionadas con los riesgos de accidentalidad y peligros de salubridad que presentan estos tipos de centrales. Se destaca que en cuanto al fenómeno de radiaciones, procedentes de las centrales nucleoelectricas, se tiene de forma ilustrativa que: en un país como los Estados Unidos, que cuenta con el mayor número de centrales (189 unidades para diciembre de 1979)\*; el índice de radiación (0,001 de milirrem por año)\*\*; es mucho menor, que el que se recibe normalmente por las radiaciones provenientes del cosmos y aún mucho menor que la que se recibe por concepto de las radiaciones provenientes de los televisores a color (el cual se aproxima a los dos milirremos por hora)\*\*\*o los rayos X de los exámenes médicos, lo que de por sí, nos ilustra acerca de las radiaciones de las centrales nucleares.

---

\* - Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Op. cit. p. 260.

\*\* - Glenn T. Seaborg. Op. cit. pp. 23-24.

\*\*\* - Abdus Salam. La unificación de las formas básicas de energía. En El Correo de la Unesco, año XXXIV, julio de 1981. p.21.

## 2 - Aspectos económicos de la energía nuclear frente a otras fuentes alternas de energía

El desarrollo de la tecnología nucleoelectrónica está intrínsecamente relacionada tanto con el costo de las fuentes tradicionales y no tradicionales de energía, como con la disponibilidad de los recursos de los mismos, como también con el rendimiento energético que puedan tener las diferentes tecnologías que al respecto se propongan.

La problemática misma del desarrollo nuclear será al final de cuentas la misma que experimentará una economía, cualquiera sea su tipo, de no contar con las bases para su desarrollo, siendo por esto que en la actualidad, se trata de buscar en la energía nuclear una solución a la problemática energética mundial.

En el proceso de la fisión nuclear se desarrollan nuevas tecnologías y procedimientos que harán posibles mayores economías en los procesos de generación de fluido eléctrico. En el proceso de fusión nuclear se tienen positivas perspectivas teóricas y prácticas que permiten prever para el año 2000 avances notorios en este campo, haciendo posible la generación de energía excedente susceptible de ser empleada económicamente en los diferentes sectores de la economía,

permitiendo a la vez un abaratamiento en los costos de generación en relación con el proceso de fisión, en más de cien veces(127), una vez superados los problemas técnicos que permitan mantener el proceso de fusión en forma auto-sostenida.

La energía nuclear será una de las alternativas capaces de solucionar el problema energético mundial de las futuras décadas, si se tiene en cuenta que: en primer lugar la disponibilidad de los recursos energéticos de origen fósil, tienen una tendencia decreciente en cuanto a sus existencias. En segundo lugar, que las fuentes alternas no convencionales de energía, no alcanzan la potencia de generación que permita satisfacer eficientemente la demanda y por último, que los problemas ambientales surgidos por el consumo de los combustibles fósiles, harán que estos caigan en desuso aun antes de que estos presenten síntomas de agotamiento real(128), debido a los altos grados de contaminación producidos por el dióxido de carbono y demás gases tóxicos que implican su consumo, en especial del carbón y el metanol, los cuales tienen una incidencia directa en la temperatura de la superficie terrestre.

---

127- William C. Cough y Bernard J. Eastlund. Op.cit.

p. 147.  
128- Denis Hayes. Op. cit. p. 95.

Los aspectos económicos analizados en esta sección, son una consecuencia directa de los diferentes aspectos técnicos tratados en la sección anterior, los que generan y repercuten sobre los costos de generación y sobre los montos de las inversiones efectuados en el sector eléctrico, ya sea en planes de generación nucleoelectrico, de sistemas convencionales o de los dos simultaneamente.

Las economías de escala obtenidas con el empleo de la energía nucleoelectrica son comparativamente mayores a las obtenidas con las centrales convencionales (129) y se encuentran basadas fundamentalmente en el factor de utilización, potencia de generación y en la capacidad de cubrimiento de la demanda.

#### a - Costos de generación del fluido eléctrico

Los costos de generación de fluido eléctrico a partir de centrales nucleares, deberá ser calculado en función de variables tales como: localización, densidad industrial, cubrimiento de la demanda, infraestructura de redes de transporte del fluido eléctrico etc.

La incorporación de centrales nucleares dentro de los sistemas convencionales de generación hidroeléctrica o ter-

---

129- L.Cintra do Prado. Competitiveness Integration of Nuclear Power Plants in Systems that are mostly Hydro-elec-

Los aspectos económicos analizados en esta sección, son una consecuencia directa de los diferentes aspectos técnicos tratados en la sección anterior, los que generan y repercuten sobre los costos de generación y sobre los montos de las inversiones efectuados en el sector eléctrico, ya sea en planes de generación nucleoelectrico, de sistemas convencionales o de los dos simultaneamente.

Las economías de escala obtenidas con el empleo de la energía nucleoelectrica son comparativamente mayores a las obtenidas con las centrales convencionales (129) y se encuentran basadas fundamentalmente en el factor de utilización, potencia de generación y en la capacidad de cubrimiento de la demanda.

#### a - Costos de generación del fluido eléctrico

Los costos de generación de fluido eléctrico a partir de centrales nucleares, deberá ser calculado en función de variables tales como: localización, densidad industrial, cubrimiento de la demanda, infraestructura de redes de transporte del fluido eléctrico etc.

La incorporación de centrales nucleares dentro de los sistemas convencionales de generación hidroeléctrica o ter-

---

129- L.Cintra do Prado. Competitiveness Integration of Nuclear Power Plants in Systems That are mostly Hydro-elec-

moeléctricas es factible técnica y económicamente ante el empleo total o parcial de los equipos existentes en dichos sistemas, tales como las turbinas generadoras, redes eléctricas, torres transmisoras, transformadores etc, lo cual de una forma u otra reduce los costos de generación de fluido electronuclear, al ahorrar recursos de capital, ya que el costo de la energía nucleoeeléctrica no puede calcularse con base en los supuestos de las inversiones unitarias de cada una de las centrales nucleares, ni de su capacidad de generación, ya que esto sería una vision simplista de la importancia que juega dentro del contexto del analisis económico de una alternativa energética como es la energía nucleoeeléctrica.

En contraste con lo anterior la incorporación de un plan nucleoeeléctrico deberá de enmarcarse dentro del ambito macroeconómico en que se desenvolverá, teniendo en cuenta entre otras, las siguientes variables: factores tecnológicos, factores económicos entre los que se podrían destacar la vida útil de las centrales, potencia y factor de utilización de las centrales nucleares o convencionales, perspectivas del sector energético en cuanto su desarrollo y posibles fuentes de sustitución, costos de las inversiones, amortizaciones, mantenimiento y gastos de operación de cada uno de los tipos del sistema de generación de fluido, variables estas que influyen tanto en el costo de generación como en el monto de las inversiones y valor presente

de cada una de ellas.

Para el análisis de los costos de la energía nuclear se tendrán en cuenta de forma ilustrativa y referencial, costos registrados en otros países, los cuales dan una idea sobre la evolución histórica y la tendencia de los mismos, destacándose el hecho de que estos costos varían de país a país y aún dentro de un mismo país, experimentan notorias fluctuaciones, como se verá más adelante.

Los costos de generación nucleoelectrónica durante la segunda década de 1970, para algunos países fueron sustancialmente menores a los obtenidos en las centrales térmicas a carbón, petróleo, acpm o fuel oil en razón del incremento manifestado por los precios de los hidrocarburos.

En congruencia con lo anterior se tiene que por ejemplo en el caso norteamericano(130) el costo de generación por KWH en el proceso nuclear llegó a los 1,10 ¢ de dolar, mientras que en los procesos térmicos a carbón e hidrocarburos estos llegaron a los 1,7¢ y 2,8¢ de dolar respectivamente (131) (ver gráfico # 8), de donde se deduce clara y convin-

---

tric. En Economic Integration of Nuclear Power Stations in Electric Power System, publicación de la International Atomic Energy Agency (EIIIPS-IAEA). p. 351.

130- País que cuenta con todas las economías externas en el sector nucleoelectrónico, consistentes principalmente en

centemente que los costos de generación de la electricidad pueden competir con los costos de la electricidad de las centrales convencionales; pero esta competencia no solo se circunscribe a los países desarrollados sino que también pueden ser obtenidos por las naciones en vías de desarrollo como bien lo ilustra el caso argentino, en el que los costos de generación de fluido nucleoelectrico se aproxima a los 0,026570 de dolar por KWH haciendolo competitivo con las demás fuentes convencionales de generación eléctrica(132).

Pero los costos de generación de fluido eléctrico de cada uno de los sistemas (nucleares o convencionales) pueden variar como se dijo anteriormente en relación inversa al factor de utilización de las centrales en cuestion (gráfico # 9); el factor de utilización de las centrales convencionales se reduce en el tiempo en función inversa con la potencia generada y factor de cubrimiento efectuados en el transcurso de la operación de la central (ver gráfico # 7), lo que no garantiza en consecuencia unos costos de generación de fluido estables, si se tiene en cuenta que el cubrimiento de la creciente demanda de energía, obligará a que la central opere con el máximo rendimiento, disminuyendo de

---

la facilidad tecnológica, infraestructura de comunicaciones y transportes, como también en las facilidades en el suministro de los diferentes insumos y materias primas, factores estos que no son universales, lo que origina variación en los costos de generación de fluido eléctrico.

131- H. A. Bethe. The Necessity of Fission Power. En

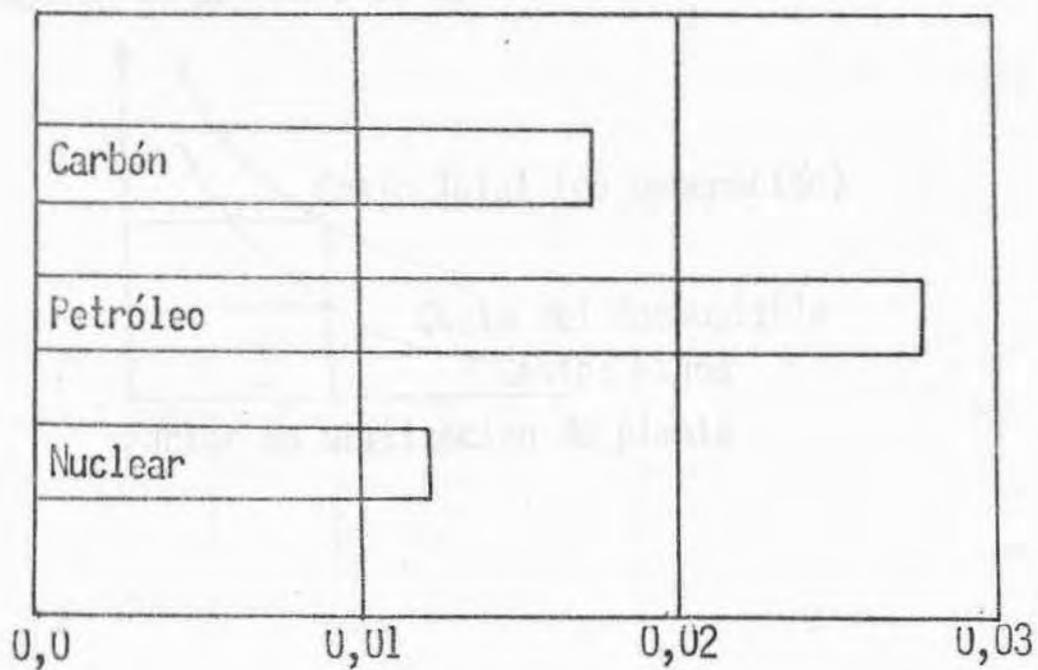
## GRAFICA # 7

CURVA DE UTILIZACION Y  
SISTEMA DE CUBRIMIENTO

Fuente: J. Pelsler. Electricity Cost in an Idealized Production System. p. 383

## GRAFICO # 8

COSTOS DE LA ENERGIA US\$ por KWH (1975)



Carbón 0,017 US\$/KWH

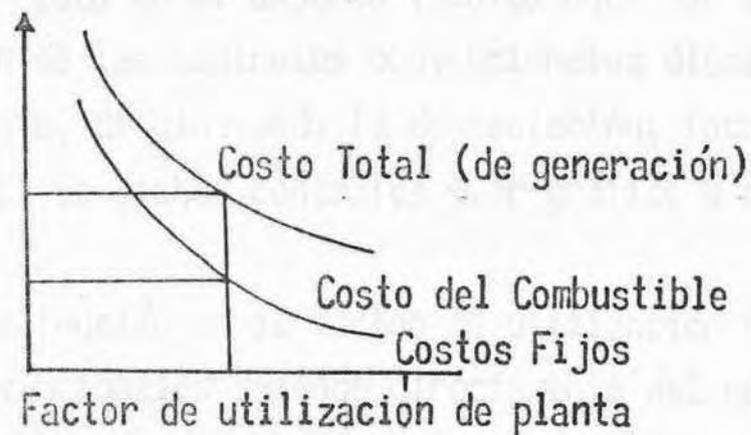
Petróleo 0,028 US\$/KWH

Nuclear 0,011 US\$/KWH

Fuente: H. A. Bethe. The Necessity of Fission Power. p. 74.

GRAFICA # 9

## REDUCCION EN EL COSTO DE GENERACION



Fuente: L. Cintra do Prado. Competitiveness and Integration of Nuclear Power Plants in Systems that are Mostly Hydro-Electric. p. 353.

por sí la vida útil la misma, lo que justifica el continuo incremento en la capacidad de generación con el objeto de no mantener sobrecargados los equipos y cubrir eficientemente la demanda.

Contrastando con lo anterior se tiene que la introducción de centrales nucleares dentro de un sistema convencional (hidroeléctrico-termoeléctrico) genera dos consecuencias: de un lado en el aspecto técnico hace que el factor de utilización de las centrales convencionales disminuya significativamente, disminuyendo la depreciación, incrementando la vida útil de dichas centrales (ver gráfico # 6).(133)

La disminución en el factor de utilización de las centrales convencionales depende directamente del número de centrales nucleares que se incorporen al sistema de generación, así por ejemplo se tiene que la incorporación única de cuatro unidades dentro de un sistema hará que el factor de carga convencional disminuya instantáneamente, pero manifestará un crecimiento continuo en el factor de cubrimiento en el transcurso del tiempo (gráfico # 6 (a)). La incorporación continua e intercalada de unidades nucleoelectri-

Energy, publicación de la Scientific American. Library of Congress Cataloging. 1979. p. 74.

132- Embajada Argentina. Boletín Informativo, año V, # 43 (noviembre de 1981, Bogotá), pp. 2-7.

133- J. Pelsler. Electricity Cost in an Idealized Production System. En (ETNPS-IAEA). 387.

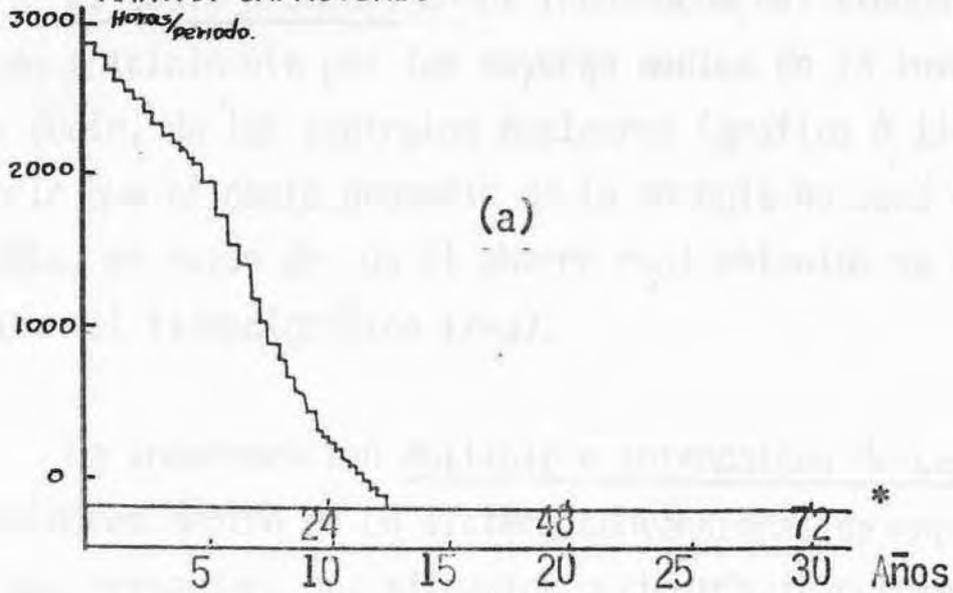
cas implicara que el factor de utilización de las centrales convencionales se reduzca de forma continua, incrementando la vida útil de las mismas (gráfico # 6-b)

En el aspecto económico se tiene que: mientras en un sistema convencional operando a máxima potencia, el valor presente de las inversiones en las centrales, varía de forma inversa con el valor presente total, siendo estos dos valores limitados en el tiempo por el cubrimiento y potencia a que operen (gráfico # 10), en un sistema mixto (nuclear-convencional), el valor presente total de las inversiones del sistema convencional disminuye en la medida en que entren a operar un mayor número de centrales nucleares, en razón del menor factor de carga que les corresponde a las centrales de tipo convencional, ya que la carga y en consecuencia la depreciación disminuyen y se distribuyen con el sistema nuclear (gráfico # 6 a-b).

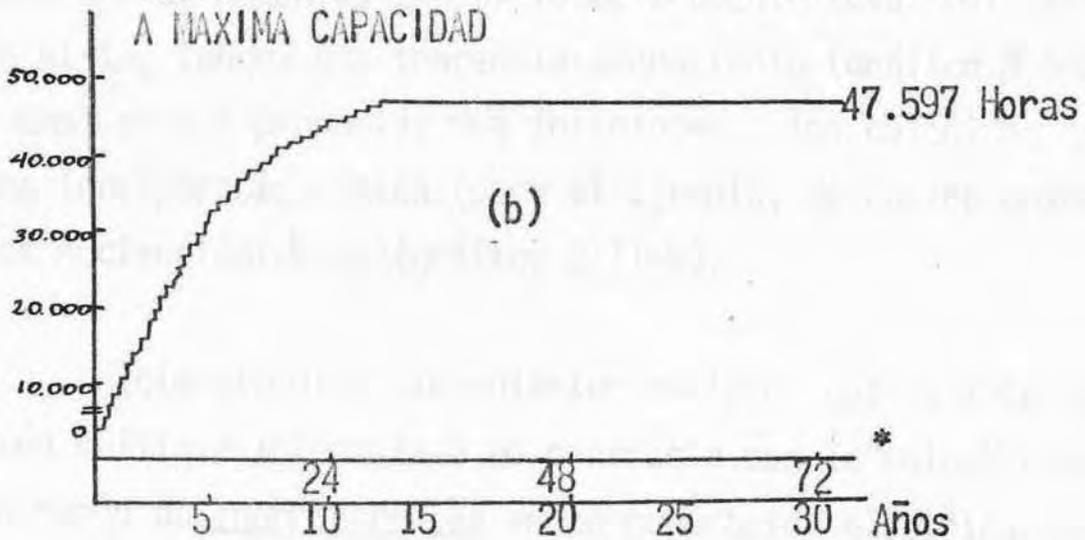
La incorporación única de centrales nucleares (por ejemplo de cuatro), implica que los costos promedios de generación eléctrica, se reduzcan inicialmente a un mínimo, los cuales en el transcurso del tiempo manifestarán un incremento, en razón de que el sistema convencional operará a una mayor capacidad, a consecuencia de la mayor demanda (gráfico # 6-a), lo que producirá que la vida útil del sistema convencional se reduzca, asegurando que el valor presente

GRAFICA # 10

VALOR PRESENTE Y TIEMPO DE OPERACION A MAXIMA CAPACIDAD.



VALOR PRESENTE TOTAL Y TIEMPO DE OPERACION A MAXIMA CAPACIDAD



\* Períodos de cinco meses.

Fuente: J. Pelsler. Electricity Cost in an Idealized Production System. p. 385.

total de la inversión sea alcanzado en la medida en que se opere a una mayor capacidad.

El costo promedio en el transcurso del tiempo, vendrá dado inicialmente por los mayores montos de la inversión, es decir, de las centrales nucleares (gráfico # 11-a), es decir que el costo promedio de la energía no será tan favorable, en razón de que el ahorro real obtenido va decreciendo en el tiempo (gráfico 12-a).

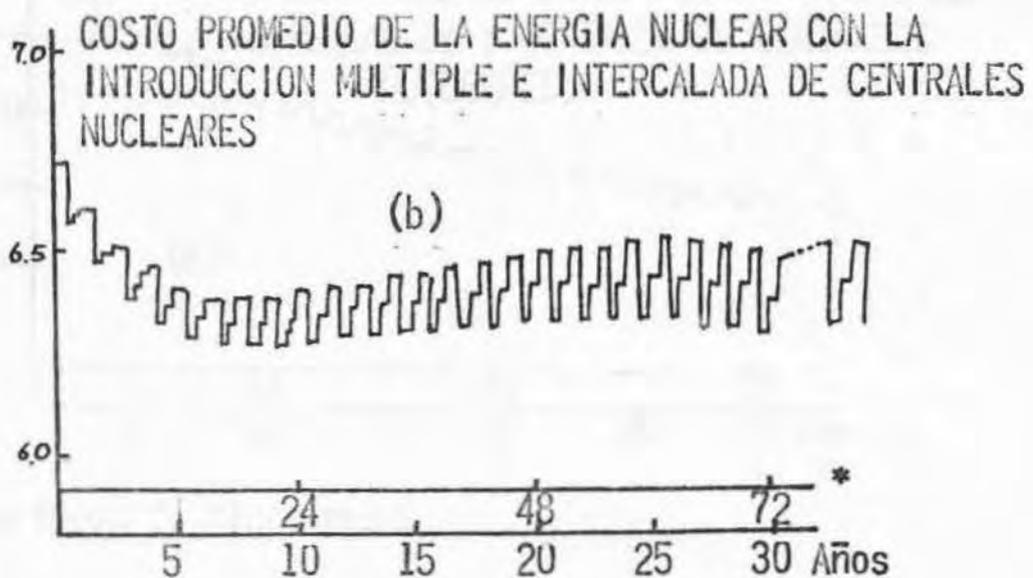
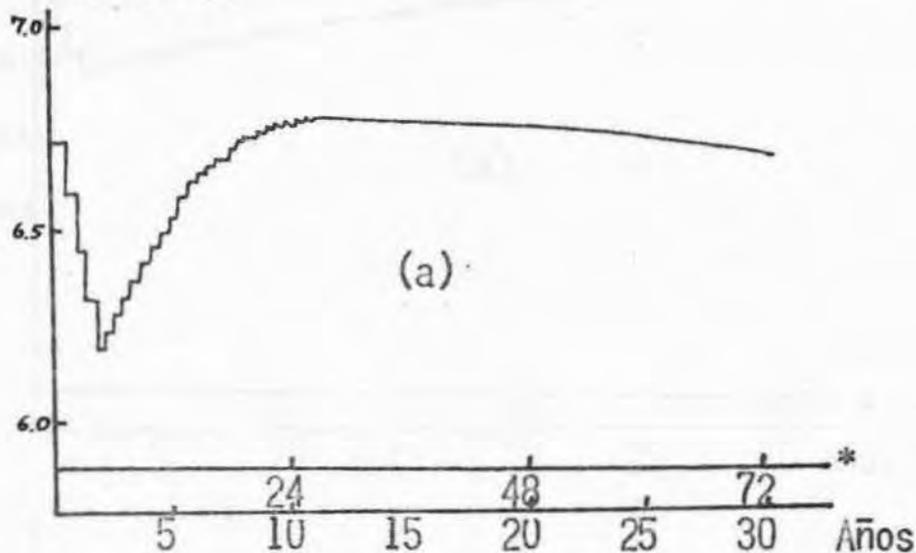
La incorporación múltiple e intercalada de centrales nucleares dentro de un sistema convencional de energía eléctrica presentará una situación mucho más favorable que la anterior en razón de que el valor presente total del sistema mixto, tendrá una tendencia decreciente (gráfico # 6-b), y unos costos promedios muy inferiores a los obtenidos con una incorporación única (para el ejemplo, de cuatro unidades nucleoelectricas) (gráfico # 11-b).

Adicionalmente a lo anterior se tiene que la incorporación múltiple intercalada en contraste con la "única", ofrece un rango de ahorros reales en la generación eléctrica mucho mayor (gráfico # 12-a-b).

De lo anterior se concluye que los costos de las inversiones iniciales en las centrales nucleares, hacen que los -costos de generación por kWh tenga un costo promedio mayor

## GRAFICA # 11

COSTO PROMEDIO DE LA ENERGIA NUCLEAR CON LA INTRODUCCION INICIAL UNICA DE CUATRO CENTRALES NUCLEARES.

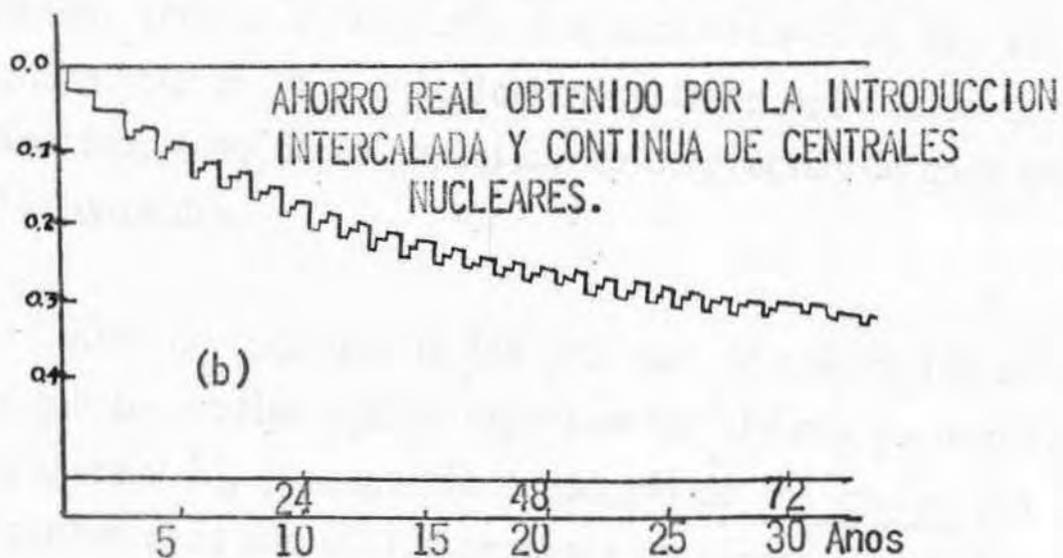
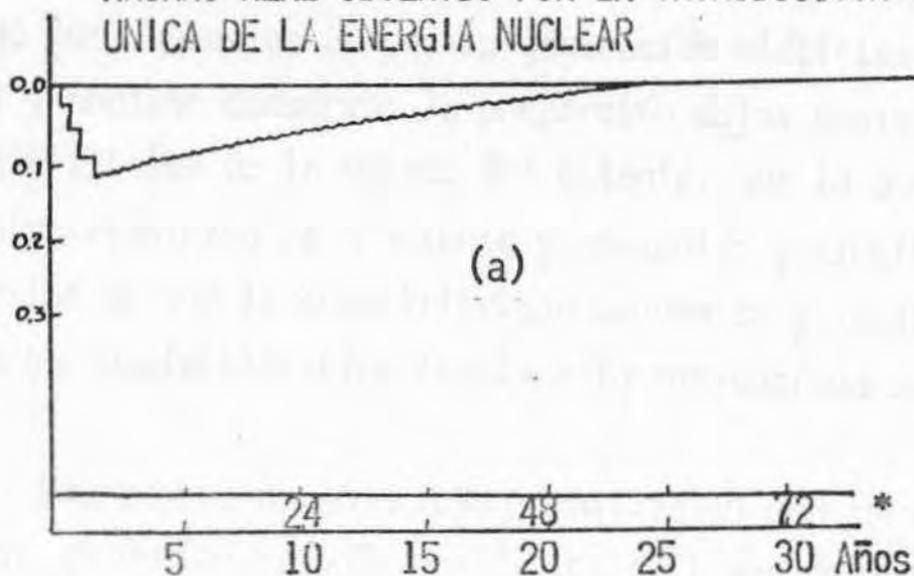


\* Periodos de cinco meses.

Fuente: J. Pelsler. Op. cit. p. 389.

## GRAFICA # 12

AHORRO REAL OBTENIDO POR LA INTRODUCCION INICIAL  
UNICA DE LA ENERGIA NUCLEAR



\* Períodos de cinco meses.

Fuente: J. Pelsler. Op. cit. p. 392.

el cual vá decreciendo en la medida en que se incrementa la capacidad de generación nucleoelectrica(134), mientras que los ahorros reales obtenidos en el sistema mixto se incrementan cuando predomina la generación nuclear; lo anterior bajo los supuestos de que la generación eléctrica convencional y nuclear conservan la proporción de los costos manifestados a finales de la década del setenta, que la demanda de fluido eléctrico es creciente y sostenida y finalmente la premisa de que la competitividad económica y técnica de la energía nucleoelectrica frente a la convencional se mantiene.

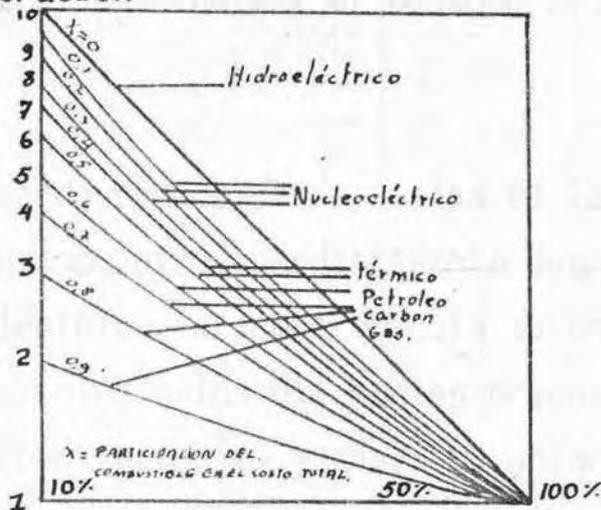
Los costos de generación manifiestan una serie de oscilaciones dentro de cada uno de los sistemas de generación (hídrico, térmico o nuclear); las oscilaciones de los costos dependen como se dijo anteriormente, tanto del factor de utilización, como de la capacidad de generación de cada una de las unidades.

Dentro de cada uno de los procesos de generación se destaca que los costos pueden experimentar algunas reducciones, la gráfica # 13, presenta la reducción de los costos que experimentan cada uno de los procesos de generación de fluido

134- J. Pelsler. *Op. cit.* p. 389. Véase también en:  
 - G. Mayer. *Problems of Nuclear Steam Power Plants for Industrial Purposes*. En *Economic Integration of Nuclear Power Stations in Electric Power Systems-EINPS*, publicación de International Atomic Energy Agency, 1980. pp. 115- 122.

GRAFICA # 13

Reducción en el  
Costo de Generación



Factor de utilización de planta

Fuente: L. Cintra do Prado. Competitiveness and Introduction of Nuclear Power Plants in Systems that are Mostly Hydro-Electric, p. 354.

eléctrico en función del factor de utilización. Así por ejemplo se tiene que referencialmente el proceso de generación hidroeléctrica, es el que presenta la mayor reducción en los costos de generación (línea de  $45^{\circ}$ ), la que demuestra una proporcionalidad entre estas dos variables; en el caso del fluido hidroeléctrico se tiene que el gasto de combustible es igual a cero (no así el consumo del elemento energizante).

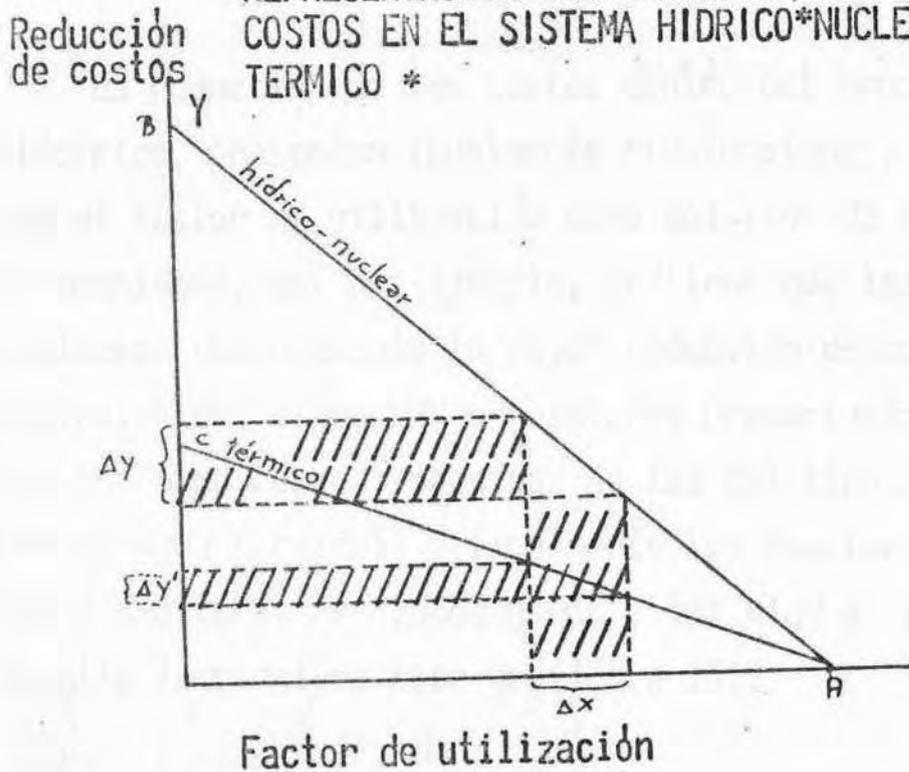
La curva de reducción de costos de la energía nucleoeeléctrica se encuentra inmediatamente después de la generación hidroeléctrica, después de esta se encuentran las curvas pertenecientes a los diferentes procesos de generación térmica (carbón, petróleo y gas). Lo anterior significa que la mayor reducción de costos se presenta en las centrales de tipo hidroeléctrico y nucleoeeléctrico; en un rango medio se encuentran las centrales térmicas a carbón y petróleo y finalmente, las centrales que presentan la menor reducción de costos\* de generación son las termoeléctricas a gas; para una mayor claridad en la configuración de la reducción de costos se presenta la gráfica # 14, en la que se presentan los incrementos en el factor de utilización ( $\Delta x$ ) y las subsecuentes reducciones en los costos ( $\Delta y$ ) lo que ilustra la sig-

---

\*- Que puede incluir las siguientes variables: depreciación, economías de escala, consumo de combustible, potencia de generación etc).

GRAFICA # 14

REPRESENTACION GRAFICA DE LA REDUCCION COSTOS EN EL SISTEMA HIDRICO\*NUCLEAR Y TERMICO \*



$\Delta Y \approx \Delta X$  - Hidrico  
 $\Delta Y' < \Delta X$  - Termico

\* El autor.

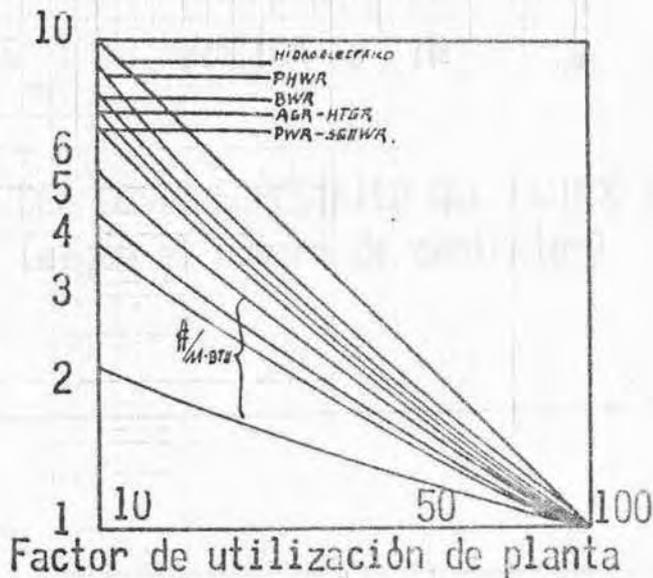
nificancia de cada una de las curvas de los diferentes procesos, se observa que en la medida en que se desciende a una curva de menor inclinación, el  $\Delta x > \Delta y$  o bien que para un mismo factor de utilización, la reducción en los costos para los diferentes procesos, tiene valores distintos.

La reducción de los costos dentro del proceso nucleoelectrico, presentan igualmente fluctuaciones, de acuerdo con el factor de utilización como del tipo de central que se considere; así por ejemplo, se tiene que las centrales nucleares que presenta la mayor reducción de costos, son las centrales del tipo PWR o Reactores Presurizados y Refrigerados por Agua Pesada, seguidos de los del tipo BWR o Reactores de Agua Hirviente y finalmente los reactores del tipo AGR o Reactores Avanzados a Gas y los HTGR o Reactores a Gas de Alta Temperatura (ver gráfico # 15).

Es de anotar que la incorporación múltiple e intercalada de centrales nucleares reduce los costos específicos de la energía de acuerdo con la capacidad de generación de cada una de las centrales como del número que de ellas operen en un momento dado (ver gráfico # 16); así por ejemplo, se observa que la incorporación de dos centrales de simultánea generación, reducen los costos de generación en un 10% aproximadamente, mientras que la introducción de cuatro podría reducir el costo entre un 30% -50% y así sucesivamente.

## GRAFICA # 15

Reducción en el  
Costo de generación

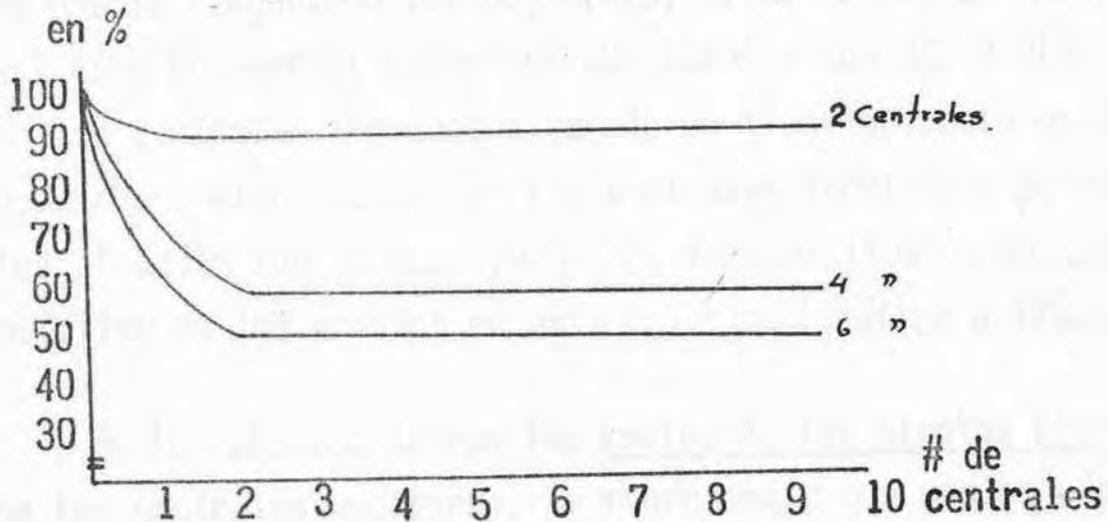


- PHWR: Reactor moderado y refrigerado por agua pesada presurizada (Pressurized Heavy Water Moderated and Cooled reactor).  
 BWR : Reactor de agua hirviente. (Boiling Water Reactor).  
 AGR : Reactor avanzado a gas. (Advanced Gas Reactor).  
 HTGR: Reactor a gas de alta temperatura. (High Temperature gas Reactor).  
 PWR : Reactor de agua presurizada. (Pressurized Water Reactor).  
 SGHR: Reactor de agua pesada y gas. (Steam Gas Heavy Water Reactor).

Fuente: L. Cintra do Prado. Op. cit. p. 356.

## GRAFICA # 16

COMPARACION DEL COSTO ESPECIFICO DEL FLUIDO NUCLEOELECTRICO  
(según el número de centrales)



Fuente: G. Mayer. Problems of Nuclear Steam Power Plants for Industrial Purposes. p. 121.

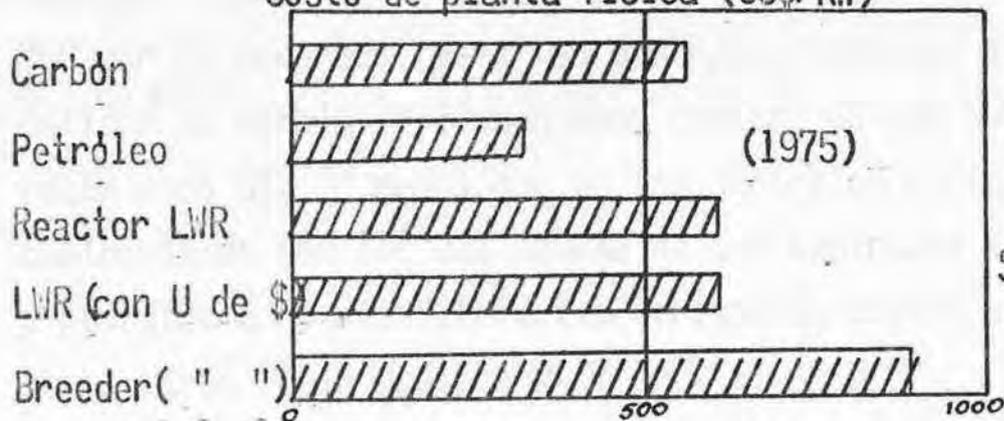
En cuanto a los costos del fluido eléctrico se tienen las siguientes características: el costo de la electricidad generada por el reactor del tipo LWR o Reactor de Agua Ligera, es menor en contraste con el costo del fluido obtenido en el reactor tipo Breeder y más económico que el costo del fluido de las mismas centrales térmicas (petróleo o carbón) teniéndose así que en el LWR el costo del KWH generado llegó (para finales de la década del 70)(135) a los US\$ 0,015, con los incrementos previstos para los insumos nucleares este precio llegaría a los US\$ 0,020, mientras que en reactor del tipo Breeder el costo del KWH llegó a los US\$ 0,018; en las centrales térmicas a carbón se tiene un costo de US\$ 0,025/KWH, mientras que en las centrales térmicas a petróleo el costo fue de US\$ 0,028/KWH, lo cual ilustra lo competitivo de los precios en esta materia. (gráfica # 17sec.c)

En lo relacionado con los costos de las plantas físicas de las centrales nucleares, se puede decir que son en efecto comparativamente mayores que los costos de las centrales térmicas convencionales. Así por ejemplo se tiene que para las centrales nucleares, el costo de la central por KW generado asciende a los US\$ 620 en la modalidad del reactor de agua ligera LWR, ( a los precios de 1976), mientras que para el de

135- H. A. Bethe. The Necessity of Fission Power. En Energy, publicado por la Scientific American, Library of Congress Cataloging, 1979. p. 73.

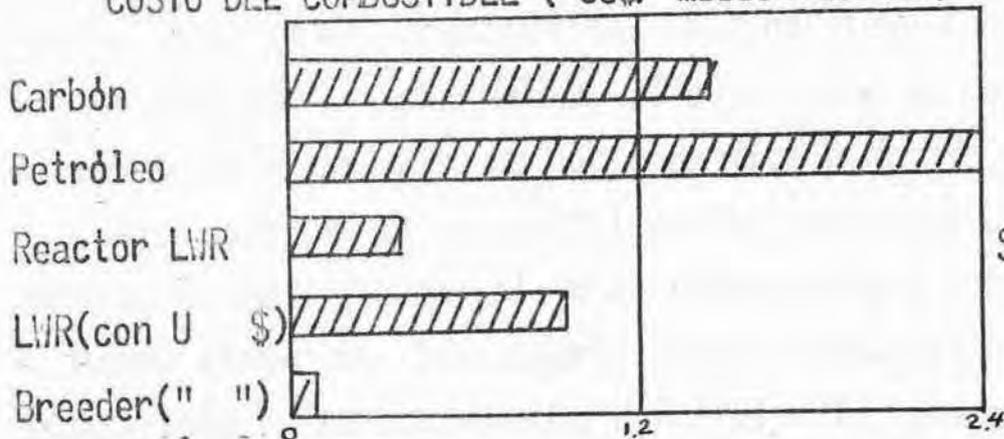
GRAFICA # 17

Costo de planta fisica (US\$/KI)



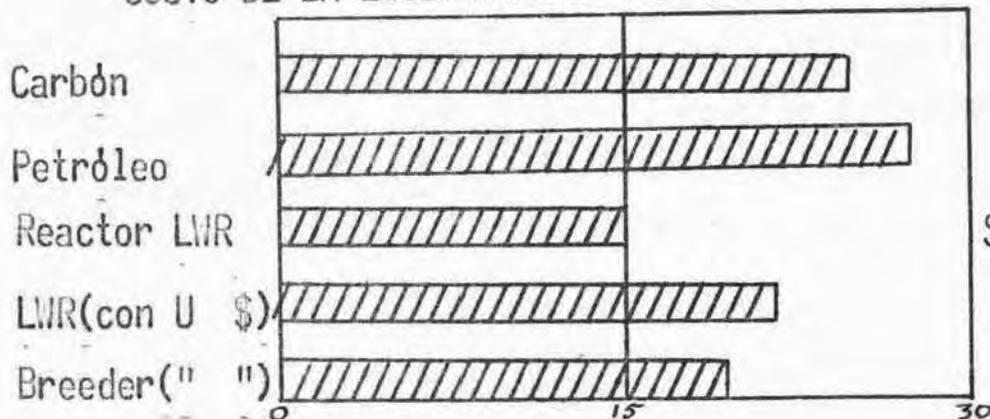
Sec. a.

COSTO DEL COMBUSTIBLE ( US\$/ millon de BTU)



Sec. b.

COSTO DE LA ELECTRICIDAD (milesimos de US\$/KWH)



Sec. c.

Fuente: H. A. Bethe. Op. cit. p. 73.

nominado reactor breeder, estos podrían llegar a los US\$ 900 por KW generado; para las centrales térmicas en la modalidad de carbón se tienen unos costos de US\$ 550/KW, es decir unos US\$ 70 menos que en las centrales nucleares, contrastando con los US\$ 420/KW de las centrales térmicas a petróleo o de sus diferentes derivados, costos estos que se ilustran en la gráfica # 17 sec. a.

En contraste con los costos de las plantas físicas, se tienen los costos del combustible, en los que se tiene que la tecnología más económica, la constituye la del denominado reactor "Breeder"(FBR), el cual tiene un costo en el combustible de US\$ 0,05 por cada millón de BTU generados, mientras que en la central nuclear del tipo LWR o Reactores de Agua Ligera, el costo se aproxima a los US\$ 0,3 pudiendo llegar con los mayores costos previstos para el combustible, a la suma de US\$ 0,70/ $1 \times 10^6$  BTU; comparando estas cifras se tienen los costos de los combustibles de las centrales térmicas a carbón y a gas, los cuales llegan a los US\$ 1,35 y US\$ 2,40 respectivamente por cada millón de BTU generado, lo que implica la gran economía del combustible nuclear, en especial la del reactor tipo Breeder, ver gráfica # 17. sec. b.

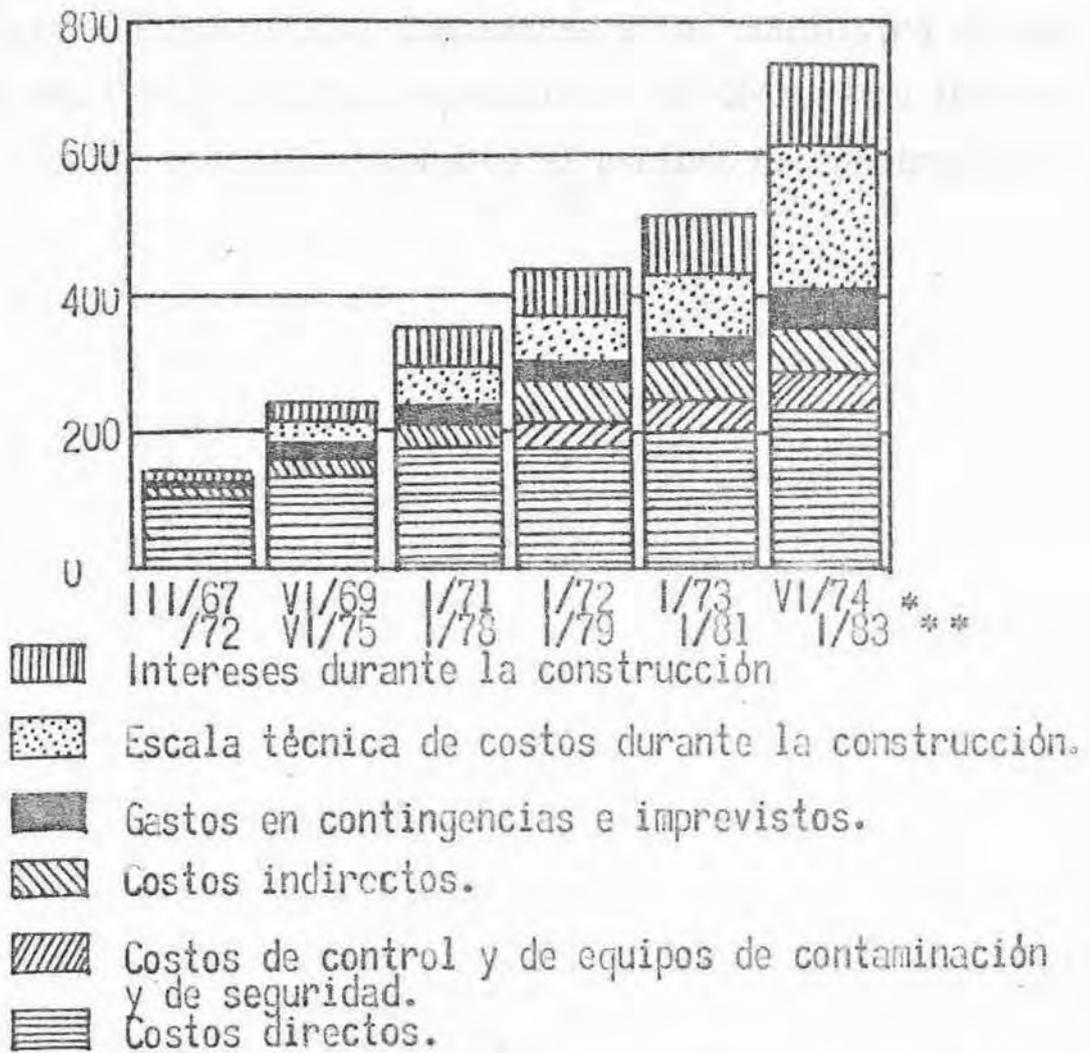
Finalmente se observa que los incrementos en los costos experimentados en los últimos años en la construcción de las centrales nucleares, se han debido básicamente a causa de los fenómenos inflacionarios registrados a nivel mundial, los cuales tienen su origen principalmente en el incremento de los precios del petróleo durante la década del setenta, lo que ha influido sobre los mayores costos financieros de la tecnología nuclear; así por ejemplo se tienen los mayores pagos por concepto de intereses durante el período de construcción (calculados con base en el valor presente de la inversión); en la gráfica # 18 se aprecia que los mayores costos registrados después del incremento de los precios del petróleo, se presentan en rubro de los costos de escala de las centrales (consistentes principalmente en fracciones de costos originados por la oferta, los cuales son escalonados en unos porcentajes determinados en función de índices tales como: el índice del costo del trabajo de los obreros empleados en el proyecto, índice del costo de materiales (como por ejemplo el índice de precios para el acero) etc, estos costos se asimilan a una inflación interna al mismo proyecto y pueden en un momento dado ser calculados con base en el índice de precios presentado por el gobierno para un sector afín al nucleoelectrónico\*; a los mayores costos de escala, le siguen los costos directos de construcción

---

\* Para mayor ilustración véase en Economic Evaluation of Bids for Nuclear Power Plants, en Technical Report Series # 175 de octubre de 1976, publicado por la IAEA.

GRAFICA # 18

INCREMENTO EN LOS COSTOS DE CONSTRUCCION DE UNA CENTRAL NUCLEAR DE 1000 MW (1967 - 1974)



\* Fecha de iniciación.

\*\* Fecha de operación comercial.

Fuente: A.H. Bethe. The Necessity of Fission Power. p. 71.

los cuales incluyen los siguientes rubros: costos de los terrenos y adecuación de los mismos, estructura y facilidades de localización, equipos de rectores, equipos de turbinas, equipos eléctricos, equipos de micelaneos de planta y materiales de las centrales.

A los anteriores costos se adicionan los costos indirectos (facilidades en la construcción, suministro de los equipos y de servicios, comisiones en el suministro de materiales y herramientas especiales y el consumo de los materiales de operación durante el período de construcción

### b- Costo social y privado de la energía nuclear

Las inversiones necesarias para llevar a cabo la ejecución de un plan energético como el nuclear, deberá de consultar las diferentes disponibilidades, tales como: de recursos energéticos propios, recursos técnicos y finalmente los recursos financieros.

El problema financiero constituye uno de los principales obstáculos, ante la carencia de recursos que requiere un plan nuclear, siendo por esta razón que en la gran mayoría de los casos se recurre a las fuentes de financiación externas, las cuales son dirigidas a la compra de los equipos de planta y asistencia técnica en los mercados internacionales, mientras que los recursos internos (ya sean estos provenientes del presupuesto nacional, créditos internos o recursos propios de los diferentes organismos encargados del sector eléctrico), se destinan a compensar a nivel interno los diferentes servicios de estudios de generación, transmisión y generación del fluido.

Las inversiones en esta tecnología, deberán ser compensadas básicamente por medio de recursos tarifarios y de recursos estatales, teniéndose en cuenta para ello, que, el

suministro de fluido eléctrico, se considera eminentemente como un servicio público y en consecuencia asumido en su ejecución por el Estado, debido al monto de la magnitud de las inversiones que requiere su desarrollo, aparte de que las inversiones efectuadas, en la gran mayoría de los casos reportan beneficios tardíos, es decir que la tasa interna de retorno es baja.

En el caso colombiano se tiene previsto hacer los pagos de un cierto porcentaje de la inversión total en el sector energético, por medio del mecanismo tarifario, que busca igualmente compensar los diferentes gastos de operación que implica el suministro del fluido, destacándose a este respecto que los gastos de mantenimiento, ocupan entre un 2 y un 10% del costo del KWH generado, el cual puede variar de país a país, como también de acuerdo con el área de localización de la central.

El empleo de la energía nucleoelectrónica, implicará necesariamente un replanteamiento en las políticas del sector ya que las mayores inversiones que se deban de hacer en el mismo, implicarán mayores costos para los usuarios, costos estos que deberán de atender, tanto el destino económico, como el beneficio que le reporte al consumidor el empleo de la energía, de tal forma que se estimule el consumo en aquellos sectores de la economía que reporten un mayor be-

neficio social. El monto de las tarifas deberá de consultar el ingreso real de los usuarios, con el objeto de lograr una mayor equidad en cuanto al pago que de la energía nucleoelectrica se deba de hacer, con el objeto, no de transferir recursos, si no con el objeto de optimizar el pago del consumo del fluido eléctrico.

En cuanto al sector industrial se tiene como característica que, este no puede asumir las inversiones de un plan nucleoelectrico, básicamente por: la magnitud de las inversiones ( de US\$ 2000 a 3000 millones por central de 1300 MW, a los costos de 1980\*), como también por la baja tasa interna de retorno (TIR), lo cual no resulta rentable para la empresa privada.

---

\* En los países desarrollados los costos son mucho menores, si se tiene en cuenta que la proyección en los costos de una central de 1000 MW, estimados para 1983 con base en los costos de 1976, se aproximaban a los 1000 millones de dolares. Para mayores referencias, ver en Economic Evaluation of Bids for Nuclear Power Plants. Publicación del Technical Report Series # 175, X/76. IAEA.

### I - La experiencia nuclear en otros países

El desarrollo de la energía nuclear a nivel mundial desde sus orígenes comerciales se ha enfocado básicamente a la satisfacción de la demanda de fluido eléctrico, como fuente alterna en el suministro de energía.

En la actualidad los países que poseen la capacidad científica, tecnológica y económica, para proveer esta tecnología a los demás países del mundo son principalmente: Alemania Occidental, Bélgica, Francia, USA, Rusia, Canadá, India, Reino Unido, Japón, Suiza y China, países estos en los que se ha logrado un alto conocimiento en el desarrollo del proceso de la fisión nuclear(136).

Los países que hasta 1979 producían un alto porcentaje de energía nucleoelectrónica, para satisfacer las necesidades internas, fueron: Los Estados Unidos, con 80,7 millones de TEP; Japón con 14,7; URSS con 12,5; Alemania Occidental con 9,6; Francia con 9,6; Canadá con 8,5; Reino Unido con 8,1; Suecia con 3,6; Suiza con 2,4; España con 1,7; Finlandia

---

136- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Op. cit. pp. 223-263.

con 1,6; Italia con 1,3 y finalmente Holanda con 0,9 millones de TEP(137).

Pero la verdadera importancia que ocupa la generación nucleoelectrica dentro de la producción total de energía de cada uno de los anteriores países, se observa en el cuadro # 15, en el que se destaca, que la mayor generación nucleoelectrica, se encuentra polarizada en aquellos países de mayor desarrollo económico, en los cuales la generación nucleoelectrica, ocupa entre un 9 y un 26% de la generación total de fluido eléctrico.

En el contexto Latinoamericano, se tiene que los países que han logrado un alto nivel en la tecnología nucleoelectrica son principalmente: Argentina, México y Brasil, en los cuales se tienen proyectados importantes planes, como es el caso de la Argentina, país este el más desarrollado en esta materia, ya que cuenta con un plan, en el que se prevé la construcción de seis centrales nucleares, de las cuales ya se encuentra en funcionamiento la primera, Atucha I, Central esta que cuenta con una capacidad de generación inicial de 300 Mw de potencia; la segunda central, Atucha II, se encontraba para finales de 1981, construida en cerca del 11%, tendrá una potencia total de generación de -

---

137- Subcommittee on Energy and Power. The Energy Fact book, U.S. Government Printing Office, 1980: p. 691

## CUADRO # 15

% DE PARTICIPACION DEL FLUIDO NUCLEOELECTRICO DENTRO DE LA GENERACION TOTAL DE ENERGIA ( $1 \times 10^9$  KWH) 1980.

Pais	Total	Nuclear	% Nuclear
Suecia	89,6	23,8	26,6
Belgica	48,4	11,8	24,6
Suiza	44,5	8,3	18,7
Francia	226,6	29,0	12,8
Reino Unido	288,0	32,4	11,2
Estados Unidos	2206,2	276,4	12,5
Canadá	297,2	29,4	9,9
Alemania Occ.	353,4	33,8	9,6
Finlandia	34,2	3,2	9,4
Japón	568,0	50,9	9,0
España	99,9	7,6	7,6
Holanda	61,6	3,8	6,2
Italia	174,9	4,2	2,4

Fuente: Subcommittee on Energy and Power. Op. cit. p. 691.

700 MW, se tiene igualmente en período de construcción la central de Embalse, la cual tendrá una potencia de generación de 600 MW. En el caso Argentino es de destacar que el porcentaje actual del cubrimiento de la demanda por el flujo nucleoelectrico se aproxima al 8%, sistema en el cual se tiene un costo de generación de US\$ 0,026, que lo hace competitivo con los costos de generación actualmente obtenidos por los diferentes sistemas convencionales (139), lo que hace que el desarrollo nuclear Argentino sea significativo en el ambito Latinoamericano, si se tiene en cuenta que ya se encuentra produciendo los combustibles y moderadores de los reactores por medio de la propia tecnologia Argentina (140), lo cual puede constituirse en un ejemplo para los demas países Latinoamericanos.

La participación Argentina en el proyecto Atucha II será: "del 30,2% en relación con los suministros electromecánicos, del 100% en ingeniería, 71% en la dirección del proyecto de la obra, montaje y puesta en marcha; del 100% en la provisión del primer núcleo de combustible y de la primera carga de agua pesada"(140), lo que nos demuestra

---

138- Gobierno Argentino(embajada). Boletín Informativo V, # 43 (de noviembre de 1981, Bogotá), pp. 2-7.

139- Ibid. p. 6.

140- Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas Argentino. Información Económica de la Argentina, # 19 (julio-agosto de 1981), p. 13.

el desarrollo logrado por este país en la búsqueda de la autosuficiencia energética basada en la tecnología nuclear.

Otra experiencia Latinoamericana la constituye el caso Mexicano, país en el cual se encuentran en la etapa de construcción dos centrales nucleares, las que se preve que estén funcionando para antes de 1984, estas centrales son: Laguna Verde I y Laguna Verde II, las cuales tendrán una capacidad de generación de 654 Mw cada una (141), destacandose que la construcción de estas plantas se encuentran apoyadas por el gobierno Mexicano.

Pero las perspectivas no siempre revisten <sup>las</sup> características positivas de los dos países Latinoamericanos citados anteriormente; para otros países en vías de desarrollo que cuentan con potencialidades energéticas que no le ofrecen ventajas competitivas a la energía nuclear, como bien lo ilustra el caso de Irán, país en el cual las reservas petrolíferas y gasíferas son abundantes, las cuales podrían ascender a la cifra de  $65 \times 10^9$  barriles de petróleo, recurso este que no hace viable el desarrollo de la tecnología nucleoelectrónica (142) si se tiene en cuenta la argumentación económica de la optimización en el consumo de los recursos

---

141- Subcommittee on Energy and Power, Op. cit. p. 244

142- Joel Darmstadter. Op. cit. p. 15.

que cuentan con las mayores disponibilidades, siendo por la anterior circunstancia, que el plan de generacion nucleo eléctrica Iraní (de 23 GW)(143) fracasó, ante las políticas discordantes de un plan Nucleoeléctrico que en el diagnóstico económico de largo plazo, no podría presentar perspectivas de competitividad frente al recurso petrolífero tan de suyo abundante en el territorio Iraní; pero este fracazo también provino de las mismas causas políticas internas ocurridas durante 1980, que terminaron por cambiar el régimen institucional imperante hasta esa fecha, cambiando en consecuencia todas las políticas adoptadas dentro del régimen derrotado.

Brasil es otro de los países Latinoamericanos en el cual se prevé igualmente un desarrollo avanzado de la tecnología nuclear, teniendose así por ejemplo que para finales de 1979 se contaba con la siguiente situación: Central Angra I construída en un 93%, la cual contaría con una capacidad de generación de 1245 MW; Central de Angra II con similar potencia a la anterior central(144), planes estos que se prevé entrarán a operar comercialmente despues de 1987, los cuales igualmente se han visto alterados por la falta de una política seria, en cuanto a la ejecución de

---

143- Bijan Mossavar Rahmani. La Energía Nuclear y los Países en Desarrollo. En Comercio Exterior de Mejico. (vol. 31, # 11, noviembre de 1981) p. 1304.

144- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation

los diferentes planes y proyectos propuestos, ya que las demoras en la ejecución de estos, se han debido fundamentalmente a las falsas expectativas en el suministro de otras fuentes energéticas (145)

---

and Federal Services, Op. cit. p. 234.

145- Antonio Barros de Castro y Frederico Magalhaes Gomes. La Crisis Energética. Una Perspectiva Brasileña. En Comercio Exterior de México. (vol. 31, # 11, noviembre de 1981). p. 1277.

## 1 - La situación colombiana

La producción, uso y aprovechamiento de la energía nuclear en Colombia ha estado principalmente en manos de Gobierno nacional, por medio del ente jurídico denominado: Instituto Colombiano de Asuntos Nucleares (hoy, Instituto de Asuntos Nucleares, IAN), creado en 1955, y adscrito al Ministerio de Minas y Energía, entidad esta que ha dirigido los diferentes proyectos en cuanto a los usos pacíficos relacionados con la energía nuclear, los cuales se encuentran encaminados principalmente a la "industria, la ingeniería, la seguridad radiológica, la química y la bioquímica"(146).

Los principales objetivos de este organismo, se pueden condensar en los siguientes items: (147)

- a- "La investigación y la difusión de las técnicas nucleares en las ciencias.
- b- Entrenamiento de personal en ciencias nucleares, incluyendo becas en el exterior.
- c- Producción de isotopos para usos industriales e importación de los mismos para fines médicos.
- d- Protección de la población contra la contaminación radiactiva.

---

146- IAN. Informe de Labores, 1976. pp. 1-30  
147- IAN. Informe de Labores, 1977. p. 4.

- e- Asesorar al Gobierno Nacional en los diferentes proyectos sobre el uso de la energía nuclear.
- f- Otorgar licencias para el manejo e importación de isótopos.
- g- Adelantar estudios para la exploración y explotación de los minerales radiactivos.
- h- Colaborar con otras entidades en estudios relacionados con la introducción de la nucleoelectricidad!

El desarrollo y ejecución de los dos últimos objetivos ha sido recientemente objeto de amplios estudios, como bien lo ilustra el estudio energético del gobierno (ENE, enmarcado dentro de los lineamientos generales del PIN, del cual se puede deducir que en materia nuclear, se tiene previsto fundamentalmente, el reconocimiento a nivel Nacional, de las potencialidades de los diferentes recursos fisionables, previniéndose así por ejemplo, dentro de los planteamientos de la presentación inicial del ENE, el desarrollo y explotación de dichas reservas(148), como también la planeación de proyectos de exportación de las mismas.

En congruencia con lo anterior se puede decir que los diferentes modelos de simulación analizados en el ENE, favorecen la exportación del recurso fisionable, no incluyen las potencialidades que pudiesen tener en la genera-

---

148- DNP. ENE, pp. 15-37.

ción de fluido nucleoelectrico(149), si se tiene en cuenta que en el ENE se da preferencia al desarrollo del recurso hídrico, para los años que restan del presente siglo(150), estimandose que para el año dos mil se contara con los adecuados suministros de energía, en especial de tipo hidroeléctrico y potencialmente el de tipo térmico con base en las reservas carboníferas con que cuenta el país.

Las políticas de exportación del recurso nuclear, se fundamentan en la estrechez del mercado interno, considerándose igualmente dentro de la políticas de exportación, la tendencia decreciente manifestada por los precios del óxido de uranio, en el transcurso de los últimos años y la cual se mantendrá en el futuro, como consecuencia de la saturación de los mercados internacionales, debido a factores tanto económicos como técnicos de la energía nuclear, tales como, el reprocesamiento del combustible nuclear, como las innovaciones tecnológicas, introducidas por los reactores del tipo reproductor y convertidor, factores estos que hacen que la demanda por combustible decrezca.

En consecuencia con lo anterior se tiene que si Colombia no exporta las reservas uraníferas, se verá avocada en

---

149- Ibid. p. 66.

150- Ibid. pp. 10-12.

el mediano plazo a quedarse con las reservas, en el subsuelo, si como se tiene previsto, el proceso de fusión nuclear, entrará a operar comercialmente antes de treinta años, lo que sugiere que Colombia ha adoptado la decisión de esperar a que este proceso se desarrolle, si se tiene en cuenta que la ejecución de un plan nucleoelectrico lleva como mínimo, un período de trece años y que el gobierno Nacional no tiene previsto, por lo menos en el ENE, un plan de esta magnitud.

En cuanto a las potencialidades futuras de utilización de las fuentes alternas de energía, como la solar, geotérmica, eólica, térmica a carbón o nucleoelectrica, tendrán que ser desarrolladas y empleadas en gran escala, en vista de que existirá una mayor demanda por fluido eléctrico (como consecuencia del crecimiento industrial y el mayor crecimiento de las ciudades a causa de los fenomenos migratorios previstos).

Según las proyecciones del DNP, el recurso hídrico colombiano, se estará agotando entre los años del 2021-2027 (151), esto bajo los supuestos de una tasa de crecimiento del 8,9% anual entre los años de 1979-2000 y con tasas de crecimiento del 6 y 8% anual, a partir de este último año

---

151- Otero y Angel. Op. cit. Anexos # 3-4.

teniéndose como referencia, los siguientes parámetros: que el fluido de tipo hidroeléctrico, ocupará entre un 70-80% de la generación total de energía y en consecuencia la generación termoeléctrica, sería del 30% y 20% respectivamente.

Según los planteamientos del ENE, para el año 2000, se estarán produciendo 8810 miles de TPE(152) de fluido hidroeléctrico, los cuales, bajo los supuestos, de una tasa de crecimiento en la oferta de energía del 7,5% anual, a partir del año 2000, se presentará un cambio sustancial en las proyecciones del Departamento Nacional de Planeación, ya que el recurso hídrico o potencial hidroeléctrico, se habrá agotado con diez años de anticipación a lo previsto, es decir que se agotará en el año 2017 aproximadamente ( ver cuadro # 16), lo que implicará que durante el período 2000-2015, se deberán de ejecutar los diferentes planes alternos propuestos, ya sean estos de tipo térmico a carbón, nuclear, o bien, otras fuentes no convencionales de energía, que puedan abastecer eficientemente la demanda.

---

152- DNP. ENE, p. 84.

## CUADRO # 16

PROYECCION DE LA OFERTA DE ENERGIA. PERIODO 2000-2020.

Año	Potencia en GW.	Incremento Quinquenal	
2000	33,4		} estudio, evaluación y construcción de los planes de alternativas energéticas.
2001	32,7		
2002	35,2		
2003	37,8		
2004	40,7		
2005	43,7	10,3	
2006	47,0		
2007	50,5		
2008	54,3		
2009	58,4		
2010	62,7	19,0	} Puesta en mar- cha de los pla- nes de alterna- tivas propues- tos.
2011	67,5		
2012	72,5		
2013	77,9		
2014	83,8		
2015	90,1	27,4	
2016	96,8		
2017	104,1		
2018	111,9		
2019	120,3		
2020	129,3	39,2	

Cálculos del autor.

CONCLUSIONES

El presente trabajo se refiere a la...

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos...

En consecuencia...

## CONCLUSIONES

---

El origen de la problemática energética Nacional se debe, tanto, a factores de tipo interno como externo; factores internos que se encuentran relacionados directamente con los factores externos, si se tiene en cuenta que por ejemplo, en el caso de los hidrocarburos, se tenía que para antes de 1970 no resultaba rentable para las empresas petroleras nacionales o internacionales, el efectuar grandes inversiones en exploración y explotación en Colombia, ya que los precios internacionales como el costo de dichas actividades resultaban comparativamente menores en el contexto internacional en contraste con la perspectiva Nacional, razón por la cual el gobierno optó por importar el excedente de los requerimientos, de los países vecinos con el objeto de refinar el crudo en el interior del país, procediéndose en consecuencia a ampliar la capacidad de refinación del país; actualmente se cuenta con una capacidad de refinación de cerca de 235.000 barriles diarios, es decir 100.000 barriles más de los que se producen a nivel interno.

La dependencia del exterior en materia de hidrocarburos, produjo como consecuencia dos efectos: el primero, que

Colombia, incrementará las instalaciones físicas de refinación y segundo, que el número de pozos perforados y explotados disminuyese sensiblemente.

El incremento en los precios internacionales del crudo, impactó a la economía nacional, lo que produjo una inflación generalizada, afectando el comercio exterior colombiano y el PIB.

Las importaciones cada vez más costosas de combustibles, hicieron que las pérdidas de Ecopetrol se incrementaran año tras año, ante lo cual se optó por incrementar paulatinamente los precios a niveles tales que indujeren a un uso más racional y a un pago que se aproximara a los precios internacionales.

Actualmente se busca lograr la autosuficiencia en hidrocarburos, por medio de grandes inversiones en el sector, ampliando sustancialmente el número de exploraciones, para cuya meta se ha propuesto explorar 400 pozos en los próximos dos años.

En el subsector del fluido eléctrico, se tiene que la deficiencia en el suministro de fluido, se ha debido básicamente al retraso en la ejecución de los proyectos de ampliación de la capacidad instalada, lo que ha originado el racionamiento continuo a partir de 1976, a lo cual se trata de poner solución actualmente por medio de grandes -

proyectos, con los cuales se busca ampliar la capacidad de generación eléctrica en más de 8 GW para 1988.

Dentro del sector eléctrico, se busca hacer, la máxima utilización del recurso hídrico para el año 2.000, ya que más del 93% de la generación eléctrica, corresponderá al fluido eléctrico, mientras el 7% será suministrado por fuentes de tipo térmico, lo que implicará que el potencial hídrico se habrá agotado para los primeros años del siglo XXI, lo que influirá necesariamente en el desarrollo de las fuentes alternas de energía entre las cuales se podrían citar: la energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, térmica a carbón o nuclear. Las dos últimas como se vió en el trabajo son las que tienen las mayores posibilidades, ante la competencia en los costos de generación que se presenta, aunque no así en cuanto a potencia; las primeras fuentes no podrán suplir los requerimientos de energía que en gran escala se requieren, si se tiene en cuenta básicamente la baja potencia y eficiencia que presentan con la tecnología actual y menos aún en Colombia, en donde, si bien se han logrado importantes avances sobre todo en materia solar y de geotermia, los estudios no han concluido en nada que haga pensar que puedan ser alternativas de niveles macro-económicos.

El hecho de que la capacidad instalada se debe de duplicar, aproximadamente cada ocho años, implicará que las

fuentes de energía, deben de ser de gran potencia, lo cual solo puede ser posible por dos caminos viables: primero, la construcción de un gran número de centrales de mediana potencia ( de 100-200 MW) o bien por un número proporcionalmente menor de centrales nucleares cuya potencia podría oscilar entre los 300 y los 1300 MW por central; se destaca que la potencia de generación de las fuentes alternas citadas anteriormente, no surtirán los efectos de autosuficiencia energética ni aún en el mismo sector residencial, en razón de la baja eficiencia de las mismas, aparte de las restricciones de ingreso que la gran mayoría de la población colombiana padece, lo que impedirá su uso intensivo.

Se plantea entonces que la alternativa térmica a carbón, podrá ser viable en razón de que el país cuenta con abundantes reservas de este mineral pero dentro del ENE no se contempla su uso intensivo como fuente generadora de electricidad, aspecto este que deberá ser invertido, una vez agotado el recurso hídrico; con el cambio de objetivo se deberá pensar igualmente en el empleo de la energía nuclear, ya sea en la modalidad de fisión o de fusión, en esta última modalidad se tienen previstos planes de comercialización a partir del año 2000.

En el caso de optarse por una solución de tipo mixto (hidroeléctrico, térmico a carbón y nuclear) se deberán tener en cuenta las economías de escala que brinda el em-

pleo de la energía núcleo-eléctrica, en función de: la capacidad de generación, el factor de utilización, la modalidad de incorporación del plan núcleo-eléctrico (múltiple - intercalado o único) siendo la primera modalidad la más económica, si se tienen en cuenta las magnitudes en los montos de los ahorros reales obtenidos en los costos de generación.

Por las razones anteriormente expuestas, se deduce que la alternativa energética, técnica y económicamente viables para los próximos años será la energía nuclear.

APENDICE

Periodo	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	1975-76
1971-72	107	107	107	107	107
1972-73	107	107	107	107	107
1973-74	107	107	107	107	107
1974-75	107	107	107	107	107
1975-76	107	107	107	107	107

APENDICE I

TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL SECTOR RESIDENCIAL

	Energía Eléctrica G/H	GLP 10 <sup>3</sup> Gal.	Kerosene 10 <sup>3</sup> bar.	Coginol 10 <sup>3</sup> bar.	Gas Nat. MPCD	Carbón 10 <sup>3</sup> Tm.
Total						
Período	8,4	2,7	1,9	5,9	11,4	0,7
1980-85	9,3	2,2	2,1	5,7	29,3	0,3
1985-90	8,9	2,3	1,9	6,3	11,4	0,6
1990-95	8,2	3,2	1,9	5,7	5,0	0,9
1995-00	7,2	3,1	1,7	5,7	5,0	0,9

Fuente: DNP. ENE. p. 67.

APENDICE II

TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL SECTOR INDUSTRIAL

	Energía Eléctrica G/R	Fuel oil 10 <sup>3</sup> bar.	ACPM 10 <sup>3</sup> bar.	Kerosene 10 <sup>3</sup> bar.	Carbón 10 <sup>3</sup> Tm	Gas Nat. MPCD. ind.Energ.
Total						
Período	8,4	-0,5	5,1	-0,9	5,1	2,8
1980-85	7,2	0,3	5,6	-0,1	1,2	-9,6
1985-90	8,7		5,9	-0,1	5,7	7,3
1990-95	8,7	-1,2	4,6	-1,6	6,3	6,2
1995-00	9,0	-1,3	4,5	-1,8	6,4	5,8

Fuente: Ibid. p. 69.

APENDICE III

TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO DEL SECTOR DEL TRANSPORTE

	Gasolina Automotor	A C P M Automotor	A C P M No automotor	JP-1A	Gasolina de Aviación
Total					
Promedio	3,66	7,6	2,4	6,05	-7,8
1980-85	3,10	7,9	1,9	5,58	-7,6
1985-90	3,80	7,7	2,7	6,34	-6,9
1990-95	3,69	6,8	2,5	5,36	-7,6
1995-00	3,97	6,6	2,7	5,48	-9,7

Fuente: Ibid. p. 70.

APENDICE IV

COSTOS ESTIMADOS DE TRANSPORTE Y DE CARBON PARA UNA TERMOELECTRICA

Supuestos:

- a- Costos comerciales de transporte del carbón (terreno plano pavimentado) \* \$ (50,0 ± \$3,0) Tm/Km
- b- Distancia de la mina a la termoeléctrica: 100 Kms.
- c- Capacidad de transporte del equipo rodante (volquetas) 5 Tm. (máximo 2 viajes diarios)
- d- Requerimientos diarios de una central de 1000 MW : 5479 Tm de carbón, \*\* Costo Tm de carbón \$ 3000 \*\*\*

# de volquetas(viajes) requerido diariamente:

$$548 = 5479/2 \times 5$$

Costo transporte 1 Tm cada 100 Kms: \$5000,0  
 " " de las 5479 Tm:  $5000 \times 5479 = 27,395$   
 millones de pesos. ( $\$27,4 \times 10^6$ ) día

$$\text{Costo por Km} = \$27,395 \times 10^6 / (86.400 \text{ seg.}) (1000.000 \text{ Kw}) =$$

$$= \$0,00032 \text{ Kw. (por concepto de transporte).}$$

$$\text{Costo por KWH} = (\$0,00032)(3600 \text{ useg}) = \underline{\$1,16 \text{ KWH}}$$

$$\text{Costo diario de la 5479 Tm de carbón} = \$3000 \times 5479 \text{ Tm} =$$

$$\$16,44 \text{ millones.}$$

$$\text{Costo por Km} = \$16,44 \times 10^6 / (86.400 \text{ seg})(1000.000 \text{ Kw})$$

$$= \$0,00019 \text{ (pro concepto del carbón).}$$

$$\text{Costo por KWH} = \$0,00019 \times 3600 \text{ useg.} = \underline{\$0,68 \text{ KWH}}$$

Los mayores costos corresponden al rubro de transporte de carbón, si se tiene en cuenta, el precio del KWH por este concepto es mayor que por concepto del precio del mismo carbón.

\* En terrenos montañosos (\$ 70 ± 5), según costos del sec

..../..

APENDICE IV  
(cont.)

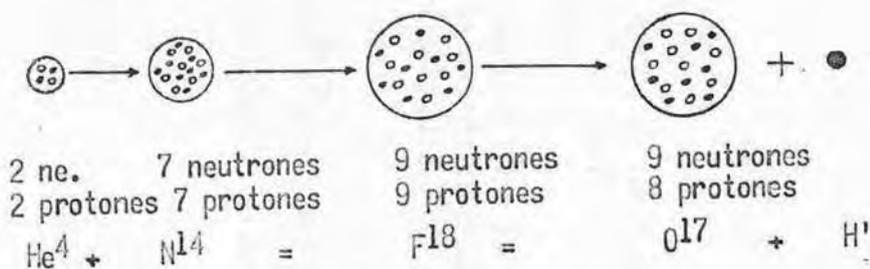
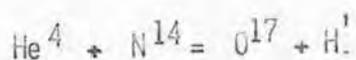
tor privado del transporte (encuesta).

\*\* Deducido por el autor, de acuerdo con los datos presentados por: Ernesto Villarreal Silva. Op. cit. Tabla # 2.

\*\*\* A los precios de febrero de 1982. (promedio)

APENDICE V

OBTENCION DE OXIGENO A PARTIR DEL NITROGENO



Fuente: Donald V. Hughes. La Energía nuclear y su Aplicación para Fines Pacíficos. pp. 29-29.  
 Véase también en Henry De Wolf Smyth. La Energía Atómica al Servicio de la Guerra. p. 23.

## APENDICE VI

## ENERGIA LIBERADA POR EL NUCLEO DE HELIO ( He )

Núcleo de helio (Partícula Alfa) = No'atomico = 2, No''de electrones = 2

masa atómica = No' + No'' = 4

2 protones = 2,01516

2 neutrones = 2,01786

masa atómica ml. = 4,03302 ( de los constitutivos sepa dos)

masa del núcleo = 4,0028  
m<sub>2</sub>.

Energía equivalente para desestabilizar la estructura nuclear de la partícula alfa = a la energía liberada por la desintegración nuclear de la partícula alfa.

$$E = MV^2$$

$$E = (m_1 + m_2) V^2$$

$$E = (4,03302 + 4,0028)(3 \times 10^{10})^2 \text{ gm} \times \text{cm}^2/\text{seg}^2$$

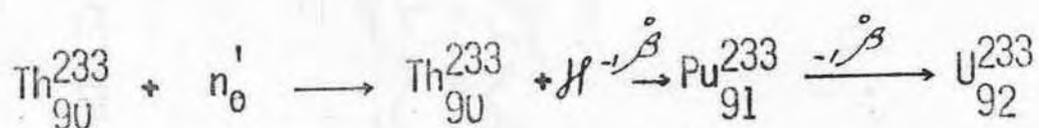
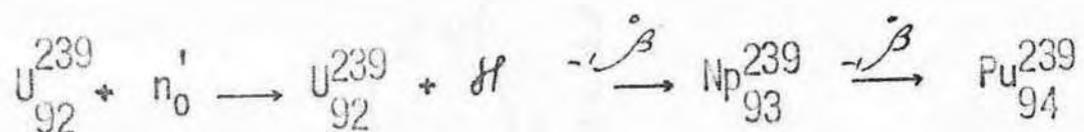
$$E = 2,7197 \times 10^{19} \text{ Ergios} = 2,7198 \times 10^{12} \text{ Julios.}$$

$$= 755.500 \text{ KWH.}$$

Fuente: De Wolf Smyth. Op cit. p. 36.

APENDICE VII

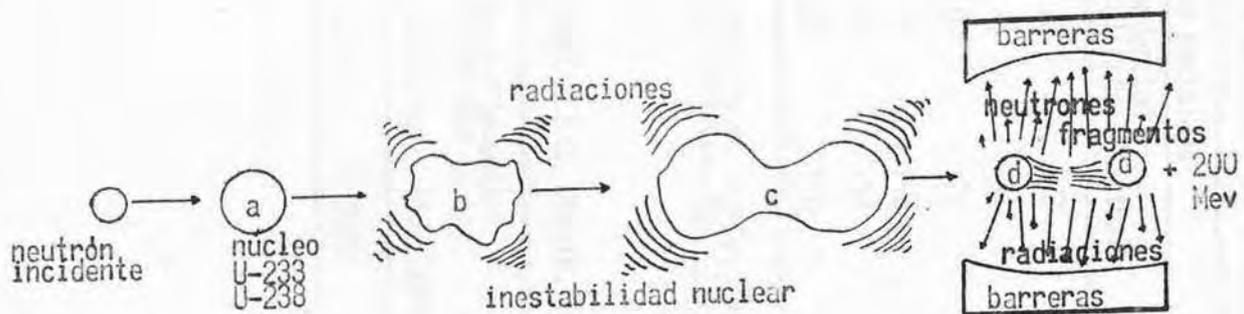
PRODUCCION ARTIFICIAL DE U-233 y Pu-239.



Fuente: Héctor F, Cardenas. Op. cit. p. 2

APENDICE VII.a.

PROCESO DE FISION



Fuente: Hughes. Op. cit. p. 33.

## APENDICE VIII

## REQUERIMIENTOS MUNDIALES DE URANIO. (En miles de toneladas)

Año	Sin reciclaje		Con reciclaje	
	Tendencia: Acelerada	Actual	Tendencia: Acelerada	Actual
1977	23	23	23	23
1980	43	41	43	41
1985	88	71	82	65
1990	156	102	126	85
1995	234	134	181	104
2000	338	178	242	125

Fuente: Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services. Op. cit. p. 141.

## RESERVAS MUNDIALES DE URANIO. (En miles de toneladas)

	Razonablemente Aseguradas		Estimaciones Adicionales	
	US\$ 80/Kg	US\$ 130/Kg	US\$ 80/Kg	US\$ 130
Total	1850	2590	1480	2450

Fuente: Ibid. p. 150.

## BIBLIOGRAFIA

Bartolomé M. Davis. Artículos para las escuelas nuevas, publicado en El Correo de la Unión, No. 1019, de julio de 1901.

Don Francisco. Exposición y aplicación del método y el libro nuevo en Colombia, por Don Francisco, publicado en El Correo de la Unión, publicación de la Facultad de la Escuela de la Universidad de los Andes, 1901 de 1901.

Don Francisco. Exposición y aplicación del método y el libro nuevo en Colombia, publicado en El Correo de la Unión, 1901 de 1901.

## BIBLIOGRAFIA

Don Francisco. Exposición y aplicación del método y el libro nuevo en Colombia, publicado en El Correo de la Unión, 1901 de 1901.

Departamento Nacional de Educación. Plan de Instrucción Nacional 1905-07, primera edición. En Boletín de Instrucción Nacional, No. 27 de 1905.

En Bogotá, marzo de 1905.

Don Francisco. Exposición y aplicación del método y el libro nuevo en Colombia, publicado en El Correo de la Unión, 1901 de 1901.

Don Francisco. Exposición y aplicación del método y el libro nuevo en Colombia, publicado en El Correo de la Unión, 1901 de 1901.

## BIBLIOGRAFIA

=====

- Berkouski M. Boris. Obstáculos para las energías nuevas.  
Publicado en: El Correo de la Unesco. Año  
XXXIV, de julio de 1981.
- Chona Francisco. Exploración y explotación del petróleo y  
el gas natural en Colombia. En: Seminario  
Sobre la Energía en Colombia, publicación  
de la Facultad de Ingeniería de la Univer-  
sidad de los Andes, marzo de 1979.
- Danceli Halacy. Nueva era de la energía solar. Edición: Ma-  
rymar S.A. 1ra edición, Buenos Aires, Argen-  
tina, 1975.
- Darmstadter Joel. Energía mundial, demanda y abastecimiento.  
En: Energía para el mundo, publicación: The  
Internationál Communication Agency, USA, -  
1976.
- Departamento Nacional de Planeación. Plan de Integración  
Nacional, PIN 1978-82, primera edición, Edi-  
torial, Redactores Asociados, mayo 27 de  
1980.  
- ENE, Bogotá, marzo de 1982.
- De Wolf Smyth Henry. La energía atómica al servicio de la  
guerra. 1ra. edición, editorial Espasa Cal-  
pe, Argentina S.A. 1946.
- Dubos Rene. Opciones energéticas. En: Horizontes, # 37 Inter

national Communication Agency, United -  
States of America 1776 Pennsylvania Ave.  
NW, Washington DC, febrero de 1980.

Ellis B. Harry, "El dilema entre la energía y el ambiente"  
publicado en Horizontes USA, diciembre  
de 1975, editado por: International Com-  
munication Agency, USA.

Foreign Policy Association, "Influencia del petróleo", pu-  
blicado en Perspectivas Económicas, No.  
31, editorial: International Communica-  
tion Agency USA.

García Parra Jaime. "Petróleo un problema y una política",  
publicado en la Revista del Banco de la  
República de Colombia, No.583 de 1976.

Gilinsky Victor, "Plutonio, proliferación y precio del re-  
procesamiento", publicado en Perspectivas  
Económicas No.27, marzo de 1979, editada  
por: International Communication Agency  
USA.

Gobierno Nacional, "Decreto No. 844 de 1975", publicado -  
en la Revista del Banco de la República  
de Colombia No.571 de marzo de 1975.  
"Decreto 156 de enero 10 de 1975", publi-  
cado en la revista del Banco de la Repu-  
blica de Colombia No.568 de 1975

Hayes Denis, "Rayos de esperanza, transición a un mundo -  
sin petróleo", primera edición, edito -  
rial World Water Institute, 1977.

Hernández M. Héctor, "Recursos hidroeléctricos de Colom -

bia", publicado en: "Seminario sobre la -  
Energía en Colombia", publicado en la Fa-  
cultad de Ingeniería de la Universidad -  
de los Andes, marzo de 1979.

Horizontes USA, "Combustibles del futuro", publicado en Ho-  
rizontes USA No.33, editado por: Interna-  
tional Communication Agency USA.

Hughes Donald James, "Sobre la energía nuclear y su publica-  
ción para fines pacíficos", 1ra edición,  
editorial Reverte SA. 1960.

IAEA. Economic Evaluation of Bid for Nuclear Power Plants,  
publicado en: Technical Report Series No.  
175, octubre de 1976.

Ilife C.E. "Assessing the economics of nuclear power stations  
in an electricity generating system", en -  
Economic Intergration of Nuclear Power Sta-  
tions in Electric Power Systems, publica-  
do por la International Atomic Energy A -  
gency, (IAEA), 1980.

Inform-Export, "Fuentes no convencionales de energía", en -  
Inform Export No.68-69, año VII, publica-  
ción del Gobierno Argentina  
Perspectivas Eenergéticas, Inform-Export,  
68-69 año VII.

Junta Monetaria, "Resolución No.6 del 8 de febrero de 1978"  
en la Revista del Banco de la República -  
de Colombia No.604, febrero de 1978.

Junta Monetaria, "Resolución No.35 del 25 de abril de 1979",  
en la Revista del Banco de la República -

de Colombia, No. 619 de abril de 1979.

Kiefer Irene. "Zonas Geotérmicas de la tierra". Publicado en: Energía y Tecnología, No. 2, de la serie de Próblemas Contemporáneos, editada por: International Communication Agency, 1976.

Leval A. Cbuki. "Flexibility of Nuclear Power Plants for Peaking Purposes in Electric Systems". En: Economic Integration of Nuclear Power Station in Electric Power Systems. Editado por International Atomic Energy Agency, 1980.

Londoño B. Luis. "Contribuciones para un balance energético Nacional". En: Seminario Sobre la Energía en Colombia (SSEC), publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, marzo de 1979.

Magalhaes Gomes Frederico, Barros de Castro Antonio. "La crisis energética". En Comercio Exterior de México, vol. XXXI, No. 11 de noviembre/1981.

Mayer G. "Problems of nuclear steam power plants for industrial puposes". En: Economic Integration of Nuclear Power Station in Electric Power Systems, editado por IAEA, 1980.

Nevy J. Walter. "Petróleo, cooperación y caos", en Energía y Tecnología. No. 2. editado por: The International Communication Agency. 1976.

Mauders J.E. "Assessment of the merit of meeting the rand

base-load from a large nuclear coastal installation" en Economic Integration of Nuclear Power Stations in Electric Power Systems editado por la IAEA, 1980.

Marquez D. Guillermo, "Notas sobre la situación internacional del petróleo", en la revista del Banco de la República de Colombia, No. 570, abril de 1975.

Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas Argentino, "Atucha II tercera central nuclear del país", en información económica de la Argentina No. 119 de julio de 1981.

Mossavar-Bijan-Rahmani "La energía nuclear en los países en desarrollo. En Comercio Exterior de México, vol 31. No. 11 noviembre de 1981.

ONU-CEPAL, "La energía en América Latina", publicado por el Institute Economic Development Bank for Reconstruction and Development, Washington - D.C., 1954.

Otero Prada Diego, "Colombia y la crisis energética", editorial Tercer Mundo, 1980.

Otero Prada Diego y Carlo A. Angel. "Disponibilidad de capacidad hidroeléctrica y su influencia en la capacidad térmica del futuro. En: Seminario Sobre la Energía en Colombia. Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Marzo de 1979.

Pease S. Rendel. Fusion Power. Publicación de; The Unesco Courier. 31 st year, June 1978.

- Pelser J. Electricity Cost in an Idealized Production System. En Economic Integration of Nuclear Power Station in Electric Power Systems. Editado por IAEA, 1980.
- Quirt John. "Prospección del Petróleo, En: Perspectivas Económicas, # 3 de 1980, editada por: The International Communication Agency, ICA, USA.
- Restrepo Londoño Andrés. "El Carbón en Colombia!" En: Seminario Sobre la Energía en Colombia. Publicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, marzo de 1979.
- Robert A. John. "La energía nuclear, curiosidad, posible realidad para el año 2000." Publicado por: Economic Article Services, EAS, # 26:7, XII/1980.
- Robinson L. Arthur. "La Energía de Fisión en Nuestro Tiempo." Publicado por: Economic Article Services, EAS, 25:4, VI/1979.
- Rowen S. Henry and Roverly C. Rowen. "Proliferación y Seguridad en Materia de Energía!" En: Horizontes - USA, # 33, diciembre de 1979.
- Seaborg Glenn. "El Atomo y las Necesidades de Energía!" En Energía y Tecnología, # 2, 1976. Editada por: International Communication Agency.
- Subcommittee on Energy, Nuclear Proliferation and Federal Services of the Committee on Governmental, - Affairs U.S. Senate. Nuclear Proliferation Factbook. U.S. Government Printing Office, Washington, 1980.

Subcommittee on Energy and Power of the Committee on Interstate and Foreign Commerce United States House of Representatives. The Energy Factbook, november 1980.

Villarreal Silva Ernesto. "Situación actual y algunas consideraciones sobre el futuro de la energía nuclear en Colombia". En SSEC, marzo de 1979.

Yager A. Joseph. "Cooperación internacional en la energía nuclear". Publicado por: Economic Article Services, EAS, # 25:4 de VI/1980.

=====