

REPUBLICA ARGENTINA  
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
Dependiente de la Presidencia de la Nación  
DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO  
GERENCIA DE INVESTIGACIONES  
Departamento Prospectiva y Estudios Especiales

PENETRACION DE LOS REACTORES RAPIDOS REPRODUCTORES EN UN  
PARQUE DE CENTRALES DE U NATURAL-D<sub>2</sub>O

Carlos José GHO

Buenos Aires

1987

## RESUMEN

Se presenta un modelo evolutivo del parque nucleoelectrico argentino en los próximos 40 años. Se estudian las consecuencias de la incorporación al mismo de centrales de reactores rápidos reproductores en el caso del ciclo autárquico del plutonio o en un sistema limitado de reprocesamiento de combustible.

## ABSTRACT

A model of the evolution of Argentine's installed nuclear power for the next 40 years is presented. The consequences of FBR's introduction are studied in both autarchic Pu cycle and a limited reprocessing system.

## RESUME

On presente un model d'evolution du parc électronucléaire argentin pour les prochains 40 ans. On étudie les conséquences de l'incorporation des surgénérateurs à neutrons rapides dans le cas du cycle autarchique de plutonium et pour un système de retraitement du combustible limité.

PENETRACION DE LOS REACTORES RAPIDOS REPRODUCTORES EN UN PARQUE DE REACTORES U NATURAL-D<sub>2</sub>O

La introducción de reactores rápidos reproductores FBR (como acronímico inglés) en el parque nucleoelectrico nacional presenta el interés potencial de una gran economía de recursos.

En efecto, los FBR producen más combustible del que consumen y en ese sentido sería deseable que todos los reactores fueran del mismo tipo.

Sin embargo, el pasaje de un parque de reactores como el nacional, de U natural-Agua Pesada, a uno FBR sólo puede lograrse a muy largo término debido fundamentalmente a la necesidad del plutonio producido por aquellos para alimentar estos últimos.

Es entonces de interés comparar con y sin FBRs los consumos de U natural, la existencia de Pu fuera de pila, las necesidades de procesamiento, etc. y cómo esto evoluciona en el tiempo.

## I. MODELOS DE EVOLUCION DEL PARQUE NUCLEOELECTRICO ARGENTINO

Con el fin de evaluar las posibilidades que la línea de reactores rápidos ofrece , hemos elaborado algunos modelos de la evolución futura del parque nucleoelectrico nacional, bajo dos ópticas diferentes en cada caso: a) sólo entran en servicio reactores térmicos de agua pesada-U natural (RT); b) entran en servicio RT más reactores rápidos reproductores (FBR).

Este procedimiento permite comparar ambos casos obteniéndose información de las ventajas y desventajas que los FBR ocasionarían, no sólo en forma cualitativa sino también en forma cuantitativa, dentro de las hipótesis de los modelos presentados.

Para formular un modelo evolutivo como el que nos ocupa (40 a 50 años) es necesario situarse en un contexto espacio-temporal. Daremos aquí una miscelánea de puntos relacionados con el establecimiento del mismo.

Hay una relación, llamada relación de elasticidad, entre el crecimiento del consumo eléctrico de un país y el aumento del PBI. En los países de bajo consumo per cápita, pero en proceso de industrialización, esta relación es superior a la unidad. Cuando el grado de industrialización del país es grande, ( el consumo per cápita es superior a, digamos, 4000 Kwh/por año y habitante) el crecimiento de la demanda energética es menor en razón del doble efecto de la saturación y las mejoras tecnológicas/1/.

Entre 1964/73 el crecimiento medio del consumo de energía eléctrica en Argentina fue del 7,2% anual /2/. Entre 1975 (9 Mtep) y 1980 (10.8 Mtep) /3/ este promedio fue del 3.7%.

La tasa de crecimiento demográfico se estima en 1.5% anual para los próximos años.

Varios modelos (/2/, /3/, /4/, /5/, /6/) han sido propuestos anteriormente y se constata en general un criterio demasiado

optimista, como lo demuestran las cifras de los primeros años.

## II. EVOLUCION DEL PARQUE NUCLEOELECTRICO ARGENTINO

El crecimiento sostenido de la potencia instalada de origen nuclear en Argentina previsto para los próximos años en la última década se ha visto momentáneamente (esperamos) frenado por la actual situación coyuntural.

Atucha I, Embalse y Atucha II son por el momento las únicas centrales que pueden ser contabilizadas hasta 1990. De allí en más no hay actualmente un plan definido de equipamiento nuclear, lo que nos obliga a trabajar sobre la base de suposiciones. Con el fin de encuadrarnos en ciertos márgenes de error, hemos considerado dos hipótesis de crecimiento diversas, baja y alta, según las suposiciones hechas, pesimistas en el primer caso, optimistas en el segundo.

### II.1. Hipótesis baja

En recientes declaraciones, el Sr. Subsecretario de Planificación Energética /7/8/ ha indicado que: el Producto Bruto Interno (PBI) crecerá entre el 4 y 5% anual; las relaciones de elasticidad histórica son del orden de 1.1 para el crecimiento de la producción energética (PE) respecto del crecimiento del PBI; se espera un crecimiento de la PE del orden de 5% en los próximos años y algo menor más adelante; las futuras centrales nucleares deberían ser de poca potencia, típicamente 350 Mwe para facilitar el financiamiento de sus construcciones.

En base a esto hemos considerado para construir esta hipótesis baja las siguientes suposiciones:

- a) Hasta 1993 solo existirán en Argentina: Atucha I, Embalse y Atucha II.

- b) A partir de 1993 y hasta el 2000 la demanda nucleoelectrica crecera el 5% anual.
- c) Desde el 2001 en adelante este crecimiento sera del 4% anual.
- d) Solo un tipo de reactores sera incorporado: 350 Mwe a Unat-Agua Pesada.
- e) Cuando se considere los FBR estos seran de 600 Mwe.

Esta hipotesis es "baja" porque prevé un desarrollo limitado de la industria nuclear. La parte que toca a la energia nuclear en el total de la energia electrica producida anualmente es constante en los proximos 30 años, ya que el parque nucleoelectrico evoluciona igual que la PE total. Si se espera que la energia nuclear juegue un rol muy importante el siglo venidero se concluye que las suposiciones son más bien pesimistas.

## 11.2. Hipotesis alta

Solo en los países avanzados, donde el consumo de energia electrica per cápita supera los 3-4000 Kwh/año por habitante hay una tendencia a igualar el crecimiento relativo de la PE al crecimiento relativo del PBI.

En países menos desarrollados como el nuestro y que esperan recuperar el retraso acumulado, que además tienen un consumo de energia electrica per cápita relativamente bajo (aprox. 1500 Kwh/año hab. en 1980) la relación debería ser mayor que el 1.1 supuesto en la hipotesis baja y puede llegar a 1.4 /1/. Esto conduce a una tasa de crecimiento del 7% anual para la PE si se estipula 5% para el PBI. Esta tasa es la propuesta en la ref/6/ y es aún menor que las propuestas en las referencias /2/ a /5/. Suponiendo que la energia nucleoelectrica sigue el mismo proceso que la PE obtendremos la hipotesis alta.

- a) Hasta 1990 solo Atucha I, Embalse y Atucha II.
- b) Desde 1991 en adelante el crecimiento sera del 7% anual.

c) Sólo un nuevo tipo de reactores Unat-D<sub>2</sub>O será incorporado a la red y cada unidad tendrá 750 Mwe.

d) Cuando se considere los FBR, estos serán de 1000 Mwe.

Esta hipótesis es optimista ya que no tiene en cuenta los problemas coyunturales actuales o supone que han sido ya salvados hacia la próxima década. Un crecimiento de la PE/cápita del 7% anual nos conduciría a aprox. 3200 Kwh/año hab. en el 2000 y 5200 Kwh/año hab. en el 2010. Esta última cifra es la media curpea de 1984.

Esta misma hipótesis puede ser considerada en el marco de un crecimiento de la PE del 5% anual, si existe la voluntad política de incrementar paulatinamente en las próximas décadas la importancia relativa de la energía nuclear frente a las otras formas de producción enéctrica.

### II.3. Hipótesis media

En esta hipótesis hemos querido tener un promedio de las anteriores en la cual se tenga en cuenta la situación coyuntural de los próximos años pero que contemple un rol mayor de la energía nuclear en el siglo venidero.

En ella hemos aceptado la hipótesis baja hasta la entrada en servicio de la IV central (que sería de 350 Mwe) y de allí en más hemos impuesto un crecimiento del 6% anual, con centrales RT de 650 Mwe (y eventualmente centrales FBR de 650 MWe).

Señalemos que cualquiera de las tres hipótesis sería válida por sí misma si se decidiera adoptarla unilateralmente y adecuar las otras fuentes de energía a la demanda del caso.

Así por ejemplo la hipótesis alta para el parque nucleoeléctrico en el seno de un parque total que evoluciona como la hipótesis baja, conduce a un crecimiento de la importancia relativa de la electricidad de origen nuclear, lo que sería deseable en el próximo siglo.

Para las hipótesis alta y baja se han considerado además dos quemados de extracción (4000 Mwd/ton y 7000 Mwd/ton) y sólo 7000 para la hipótesis media.

### III. EL METODO UTILIZADO

Es una versión simplificada del código NURPLA-2 /9/ utilizado en Europa para estudios similares.

- 1) Se establece un plan de equipamiento hasta una fecha dada.
- 2) De allí en más se determina una demanda nucleoelectrica nominal.
- 3) Cuando la producción eléctrica del parque ya instalado más la del reactor a instalar no supera la demanda en más del 20% de la energía anual producida por este último reactor, se decide incorporarlo.
- 4) La incorporación de un reactor se realiza un año antes que la demanda lo exija. En el año de incorporación el factor de carga es nulo.
- 5) La vida útil del reactor es de 30 años.
- 6) El factor de carga es 0.8 para todos los años.
- 7) La carga inicial debe requerirse y fabricarse dos años antes que el reactor tenga su primera criticidad.
- 8) El combustible de recarga se fabrica el año anterior a su entrada en el reactor.
- 9) El combustible irradiado pasa dos años en las piletas de enfriamiento y es procesado al año siguiente.
- 10) Cuando compiten un reactor térmico con uno rápido el segundo es prioritario con un año de gracia.
- 11) No se consideran transitorios en la gestión de los combustibles.



Evidentemente el carácter estimativo de este estudio permite algunas de estas simplificaciones, en caso de un estudio más exacto, deberían probablemente ser replanteadas.

Para este trabajo hemos considerado los siguientes datos:

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LOS REACTORES UTILIZADOS EN EL MODELO EVOLUTIVO

TIPO	POTENCIA (Mwc)  (c)	ENERGIA Anual (Twh)	REQUERIMIENTOS						PRODUCTOS			
			CARGA INICIAL			RECARGAS (por año)			DESCARGA Final		DESCARGAS Anuales	
			U nat (Tons)	U empobr (Tons)	Pu (Tons)	U nat (Tons)	U empobr (Tons)	Pu (Tons)	U empobr (Tons)	Pu (Tons)	U empobr (Tons)	Pu (Tons)
<sup>a</sup> RT1 (Atucha I)	350	2.5	40	--	--	14	--	--	39	0.10	43	.11
<sup>a</sup> RT2 (Embalse)	650	4.6	75	--	--	92	--	--	74	0.19	91	.23
<sup>a</sup> RT3 (Atucha II)	750	5.2	85	--	--	104	--	--	84	0.21	103	.26
<sup>b</sup> RT1	350	2.5	40	--	--	77	--	--	39	0.08	76	.15
<sup>b</sup> RT2	650	4.6	75	--	--	161	--	--	74	0.15	160	.32
<sup>b</sup> RT3	750	5.2	85	--	--	185	--	--	84	0.17	182	.37
FBR1	600	4.2	--	26	2.4	--	11	1.2	25	2.9	10	1.4
FBR2	1000	7.0	--	13	4	--	18	2.6	42	1.8	17	2.3

FBR = Reactor rápido

RT = Reactor térmico

(a) = bajo quemado  $\approx 4000$  Mwd/Ton

(b) = alto quemado  $\approx 7000$  Mwd/ton

(c) = las potencias eléctricas y energías anuales han sido redondeadas evidentemente.

#### IV. RESULTADOS

Aceptando los datos aproximados de la Tabla 1, no se puede afirmar que los resultados obtenidos sean absolutos, sino más bien indicativos.

En el llamado "ciclo autárquico del plutonio", los FBR entran en servicio en forma prioritaria (con un año de gracia inclusive) sobre los RT, a medida que las exigencias de producción y el stock de plutonio lo permiten. Todo el plutonio se supone reprocesable, es decir, la capacidad de las usinas de reprocesamiento se adapta a las circunstancias. Esto conduce a la llamada "penetración máxima posible" de los FBR en el parque nucleoelectrico.

Analizaremos primero las dos primeras hipótesis (alta y baja) para ambos quemados de extracción. Cuando los FBR no son considerados obtenemos extremos en cuanto a la producción energética y extremos en cuanto a la producción de plutonio.

En la figura 1 hemos graficado la producción nucleoelectrica para cada una de las hipótesis presentadas.

El movimiento de centrales resultante se resume de la manera expuesta en la Tabla 2.

Vemos que la hipótesis alta prevé la instalación de una central de 750 Mwe cada dos años aproximadamente en la primera década del próximo siglo y cada año en la segunda década.

TABLA 2. MOVIMIENTO DE CENTRALES EN LAS DIFERENTES HIPOTESIS (solo RT)

AÑO	E N T R A D A S			S A L I D A S		
	HA	HM	HB	HA	HM	HB
1973	Atucha 1	= RT1 (I)	RT1 (I)			
1983	Embalse	= RT2(II)	RT2(II)			
1989	Atucha 2	= RT3(III)	RT3(III)			
1994	RT3(IV)					
1996		RT2(IV)	RT1 (IV)			
1998	RT3( V )					
1999			RT1 (V)			
2000		RT2(V)				
1	RT3(VI)					
2			RT1 (VI)			
3	RT3(VI I)	RT2(VI)	RT1 (VI I)			
4				RT1 (I)	RT1 (I)	RT1 (I)
5	RT3(VI I I)		RT1 (VI I I)			
6		RT2(VII)				
7	RT3(IX)					
8		RT2(VI I I)	RT1 (IX)			
9	RT3(X)					
10	RT3(XI)					
11		RT2(IX)	RT1 (X)			
12	RT3(XII)					
13	2xRT3(XI I I - XI V)	2RT2(X-XI)	3xRT1 (XI -XII - XI I I)			
14	RT3(XV)			RT2(II)	RT2(II)	RT2(II)
15		RT2(XI I)	RT1 (XI V)			
16	RT3(XVI)					
17	RT3(XVII)	RT2(XI I I)	RT1 (XV)			
18	2xRT3(XV I I I - XI X)	RT2(XIV)				
19	2xRT3(XX - XXI)	2RT2(XV - XVI)	3xRT1 (XVI - XVII - XVII I)			
20	RT3(XXII)			RT3(III)	RT3(III)	RT3(III)
21	RT3(XXII I)	RT2(XVII)	RT1 (XIX)			
22	2RT3(XXIV - XXV)	RT2(XV I I I)	RT1 (XX)			
23	2RT3(XXVI - XXVII)	RT2(XIX)				
24	3RT3(XXV I I I - XXIX - XXX)	RT2(XX)		RT3(IV)		
25		RT2(XXI)				
26		RT2(XXI I)			RT1 (IV)	RT1 (IV)
27		2RT2(XXI I I - XXIV)				
28		RT2(XXV)				
29		RT2(XXVI - XXVI I)		RT3(V)		
30		2RT2(XXV I I I - XXIX)			RT2(V)	

Hacia el 2023 unas 22 centrales de 750Mwe c/u deberían estar operando (Atucha I y II y Embalse habrían sido decomisionadas). La potencia nuclear instalada sería en ese caso unos 16.500 Mwe. Habría unas diez centrales similares en construcción.

La hipótesis baja prevé para el mismo año sólo 14 centrales de 350 Mwe es decir unos 6000 Mwe. El ritmo de instalación sería del orden de 1 central cada 2 años en las primeras dos décadas del siglo venidero, con algún punto singular en la compensación de las centrales decomisionadas. Habría unas 5 centrales en construcción en 2023.

En la llamada hipótesis media 15 centrales de 650 Mwe existirían hacia el 2023 (9750 Mwe) pero en la 3ª década del siglo próximo se pasaría rápidamente a un ritmo de incorporación de 2 centrales/año.

La producción anual de plutonio depende del quemado de extracción y ha sido representada en la fig. 2. con un retraso de 3 años correspondientes al enfriamiento y eventual reprocesamiento del combustible quemado. Se observa que en caso de requerirse el aprovechamiento total del plutonio sólo con los térmicos\*, se debería estar en condiciones de extraer del orden de 300 KgPu/año en 1990 y hacia el 2020 entre 2Ton/año (hipótesis baja) y 5Ton/año (hipotesis alta).

El plutonio acumulado fuera de pila (reprocesado o no) crece indefinidamente como se ve en las figuras 3 a)b)c) y d) y en el 2020 se encuentra entre 30 tons en la situación más optimista (hipo.baja, alto quemado) y 70 tons en el caso más pesimista (hip. alta, bajo quemado)

En la Tabla 3 indicamos el movimiento de centrales cuando se permite la entrada de los rápidos, a partir del año 2000, en el sistema autárquico ya mencionado.

\* Hemos supuesto que esto no modifica las características de los reactores en 1ª aproximación.

TABLA 3. MOVIMIENTO DE CENTRALES CON INCORPORACION DE FBR POSIBLE

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS
	H. Baja A. Quem.	HB BQ	HA AQ	HA BQ	
1998			RT3(V)	RT3(V)	
1999	RT1 (V)	RT1 (V)			
2000					
1			RT3(VI)		
2	RT1 (VI)	RT3(VI)	FBR(VII)	RT3(VII)	
3					
4					RT1 (I)
5					
6			RT3(VIII)	RT3(VIII)	
7	RT1 (VIII)	RT1 (VIII)			
8			RT3(IX)	FBR2(IX)	
9					
10	RT1 (IX)		FBR2(X)	RT3(X)	
11		FBR1 (IX)	RT3(XI)	RT3(XI)	
12	RT1 (X)				
13	FBR1 (XI)	FBR1 (X)	2xRT3(XII-XIII)	2RT3	
14		FBR1 (XI)	RT3(XIV)	FBR2 (XIV)	RT2(II)
15	FBR1 (XII)		RT3(XV)		
16			RT3(XVI)	RT3(XV)	
17	RT1 (XIII)	RT1 (XII)	RT3(XVII)	FBR2 (XVI)	
18			FBR2 (XVII)	RT3(XVII)	
19	2xRT1 (XIV-XV)	3xRT1 (XIII-XIV XV)	FBR2 (XIX) RT3 (XX)	2RT3	
20			RT3 (XXI)	2RT3	RT3(III)
21	FBR1 (XVI)	FBR1 (XVI)	RT3 (XXII)	FBR2 (XXII)	
22			RT3 (XXIII)	RT3 (XXIII)	
23	RT1 (XVII)	RT1 (XVII)	3xRT3 (XXIV-XXV- XXVI)	FBR2+RT3	
24					

Aquí no sólo importan las necesidades energéticas sino que deben tenerse en cuenta las disponibilidades de plutonio, por lo que los resultados dependen de la estrategia de quemado elegida para los reactores térmicos.

Para la hipótesis baja los reactores son de 600 Mwe (FBR1) y de 1000 Mwe (FBR2) para la hipótesis alta.

Constatamos que en todos los casos la entrada en servicio del primer reactor rápido podría realizarse en los primeros tres años del siglo próximo. Notemos sin embargo que el segundo FBR entraría entre 5 y 10 años más tarde en razón de la baja disponibilidad de Pu en los primeros tiempos.

Para la hipótesis baja sólo un FBR sería factible en el primer decenio y tres o cuatro de ellos en el segundo (según la estrategia de quemado adoptada) totalizando hacia el 2023 entre 2400 y 3000 Mwe instalados, es decir, entre el 40 y 50% del total.

Similarmente para la hipótesis alta se llegaría en el 2023 a unos 4 a 6 FBR (4000 a 6000 Mwe) representado entre el 20 y 30% del parque nucleoelectrico total. La mayoría de estas centrales entrarían en el segundo decenio.

En las figs.3 a)b)c)d) encontramos una primera consecuencia favorable de los FBR. El Pu fuera de pila deja de crecer indefinidamente. En efecto, en todos los casos considerados en volumen se estabiliza alrededor de las 5 toneladas.

Este es un aspecto favorable interesante. Si en el caso de solo RT no se reprocessara el combustible irradiado estas curvas serían proporcionales a los desechos acumulados (el factor de proporcionalidad depende del quemado y oscila entre 400 y 500 Tons de combustible irradiado por Ton de Pu). Estos desechos que contienen plutonio, es decir, un valor energético potencial, deberían ser acondicionados de alguna forma, labor que será seguramente difícil por las características y volumen de los mismos.

En caso de ser reprocessados, el plutonio debe ser almacenado con particular cuidado, teniendo en cuenta tanto los riesgos

criticalidad y seguridad nuclear, como la protección física del mismo para evitar los robos eventuales que conduzcan a la construcción clandestina de armas nucleares.

La mejor manera de aprovechar el valor energético del plutonio reduciendo el volumen de los desechos radioactivos y vigilando su seguridad física es utilizarlo en un FBR, donde la criticalidad es buscada ex-profeso.

Señalemos que el uranio empobrecido producto del reprocesamiento es también utilizado en los FBR lo que unido a la alta densidad de potencia de estos reactores redundará en una reducción del volumen del combustible irradiado y de los desechos fuera de pila.

En las Figs.4 a)b)c)d) hemos representado el consumo acumulado de Unatural. que totalizaría entre 16000 y 55000 Tons hacia 2020 (según la hipótesis y estrategia de quemado elegidas) cuando se considerarán sólo RT.

En las mismas figuras están representados gráficamente los datos de la Tabla 4, las reservas de uranio natural en Argentina y los recursos estimados\*. En la situación menos penalizante

---

\* Las reservas y recursos "in situ" han sido multiplicados por el factor 0,83 que estadísticamente representa el grado de eficiencia en la recuperación del mineral de uranio en Argentina, como se puede comprobar en la ref. /10/. Se obtiene así la cantidad de uranio realmente utilizable en los planes nucleares que se encaren.

Comúnmente se consideran "reservas" a los recursos razonablemente asegurados (RRA) donde el costo de extracción sea inferior a U\$S 80/Kg. Estas reservas pueden ser extendidas considerando RRA y Recursos adicionales estimados I(RAEI) a costos menores de U\$S 130. Finalmente los recursos totales estimados comprenden todas las categorías y costos.

TABLA 4. RECURSOS DE URANIO EN ARGENTINA AL 31/12/1984  
(Tons U) Ref. /10/ (in situ)

Categoría según costo en U\$S/Kg U \ Tipo de Recurso	Recursos Razonablemente Asegurados	Recursos Adicionales estimados(I)	Recursos Adicionales Estimados(II)
> 80	18725	7020	3820
80 - 130	4530	1100	9540
< 130	2625	---	---
<b>TOTALES</b>	<b>25880</b>	<b>8120</b>	<b>13360</b>
Reservas Mineras	= 18725 (in situ)	15525 (recuperables)	
Reservas extendidas	= 31375 (in situ)	26040 (recuperables)	
Recursos totales	= 47360 (in situ)	39170 (recuperables)	

(Se ha tomado como factor de recuperación 83% promedio de datos de la ref /10/).



(hip. baja alto quemado) las reservas extendidas se agotarían a fines del primer cuarto del próximo siglo. En otras hipótesis se llega a este problema a mediados de la segunda década.

Muy interesante es el consumo anual de Unat por Mwc instalado, valor que decrece a medida que los FBR van siendo introducidos, llegando en 2020 a un 60% de la cifra correspondiente al caso RT puro.

Conviene señalar aquí que éstas serían las máximas ventajas cuantitativamente hablando en el supuesto caso de un balance autárquico de Pu. Esto requiere a su vez que todo el Pu existente haya sido reprocesado, de manera que las curvas de la fig. 2 se transforman en las curvas de la fig. 5. Notemos que rápidamente en todos los casos las necesidades de reprocesamiento se hacen importantes. Para la hipótesis alta las 4 Ton/año deben alcanzarse a fines de la primera década del siglo próximo si hay FBR y diez años más tarde si no los hay. Hacia el 2020 unas 9 o 10 tons/año deberían ser reprocesadas para mantener el sistema con los FBR obliga a reprocesar grandes volúmenes de Pu, y esto parece ser un inconveniente. Recordemos sin embargo que la cantidad de combustible irradiado a ser reprocesado es sin embargo menor con los FBR que sin ellos. De la Tabla 1 vemos que se deben procesar sólo unas 8 toneladas de combustible FBR para recuperar 1 tonelada de Pu, mientras que para los RT son necesarias entre 400 y 500 tons.

Vemos entonces que para que el modelo sea realista se debe tener en cuenta la capacidad de reprocesamiento disponible.

Para tener más idea de este aspecto hemos analizado el caso de la hipótesis media hasta el año 2030 en la suposición de alto quemado para los RT, lo que significa que el reprocesamiento de 400 tons de combustible produce 1 ton de Pu. La capacidad de reprocesamiento de combustible ha sido fijada en

6 Tons/año	del	1991 al 2000	(15kg Pu/año)
100 Tons/año	"	2001 al 2005	(250Kg Pu/año)

200 Tons/año	del	2005 al	2010	(500Kg Pu/año)
400 Tons/año	"	2010 "	2015	(1 Ton Pu/año)
600 Tons/año	"	2015 "	2020	(1.5 Tons Pu/año)
900 Tons/año	"	2020 "	2025	(2.25 Tons Pu/año)
1.200 Tons/año	"	2025 "	2030	(3 tons Pu/año)
1.600 Tons/año	"	2030 en más		(4 tons Pu/año)

Esta elección arbitraria está basada sin embargo en algunos hechos reales.

La planta de reprocesamiento de Ezeiza, actualmente en construcción, responderá aproximadamente a las características estipuladas para los años 90.

Las plantas de reprocesamiento de la India tienen una capacidad aproximada de 100 Tons/año. Dadas las similitudes en los desarrollos nucleares de India y Argentina hemos creído lógico conservar un módulo de estas características para el desarrollo de la industria de reprocesamiento, que deberían construirse a razón de 1 cada 5 años en la primera década, 2 cada 5 años en la segunda, 3 cada 5 años en la tercera, etc.

El equipamiento en RT (650 Mwe) ha sido dado en la Tabla 2.. Para la entrada de los FBR (600 Mwe) dos alternativas distintas han sido consideradas: a) Hasta 2030 sólo se reprocesa combustible RT con las capacidades expuestas; b) además de estas capacidades se agregan plantas de reprocesamiento de combustible FBR dos años después de la entrada en servicio de cada central FBR y con capacidad de reprocesar todo su combustible.

En ambos casos el primer FBR recién podría entrar en servicio hacia el 2013 indicando esto en definitiva que, para hacer posible la aparición de los FBR, una capacidad de reprocesamiento entre 1 y 2 ton Pu/año es necesaria.

En el caso a) esto se pone de manifiesto en el hecho de que los siguientes FBR aparecen en los años 2022 y 2032, i.e. cuando la disponibilidad de Pu lo permite.

En el caso b), en el año 2015 entraría en servicio una planta

reprocesamiento dedicada al primer FBR, lo que permite la entrada de un segundo FBR en el año 2019.

Una planta de reprocesamiento de combustible FBR es más compacta que las de RT (para igual producto final de Pu), si bien más complicada por la elevada concentración del mismo.

La construcción de cada FBR seguida de su planta de reprocesamiento (o la ampliación de la capacidad existente) conduce a una rápida inserción de los FBR en el parque nucleoelectrico. Tendríamos en ese caso un FBR entrando en los años 2019, 2023, 2025, 2029, 2030, 2032, etc.

En el caso a) la proporción de FBR en el año 2032 sería el 11% de la potencia nuclear total instalada; en el caso b) esta cifra sería del 27%.

## CONCLUSIONES

Hemos presentado un modelo de evolución del parque nuclear eléctrico nacional por medio de dos hipótesis extremas de crecimiento en los próximos años. Esto permite encuadrar los resultados obtenidos dentro de un margen de error razonable.

Las características de los reactores utilizados son similares a las de Atucha I y II y Embalse, eligiéndose la talla del reactor en función de la hipótesis de crecimiento.

A fines de la segunda década del siglo venidero la potencia nuclear instalada debería situarse entre los 6 y 14000 Mwe. La máxima penetración posible de los reactores rápidos reproductores hacia esa fecha sería entre el 20 y 50%, la mayor parte de la cual provendría de centrales FBR instaladas en el segundo decenio.

Los FBR aportan un significativo ahorro de combustible recién a largo plazo, ya que hacia el año 2020 sólo se habría economizado un 20 a 25%, aunque a partir de allí los consumos anuales de Unat se reduzcan en 40 a 50% respecto de un parque RT puro.

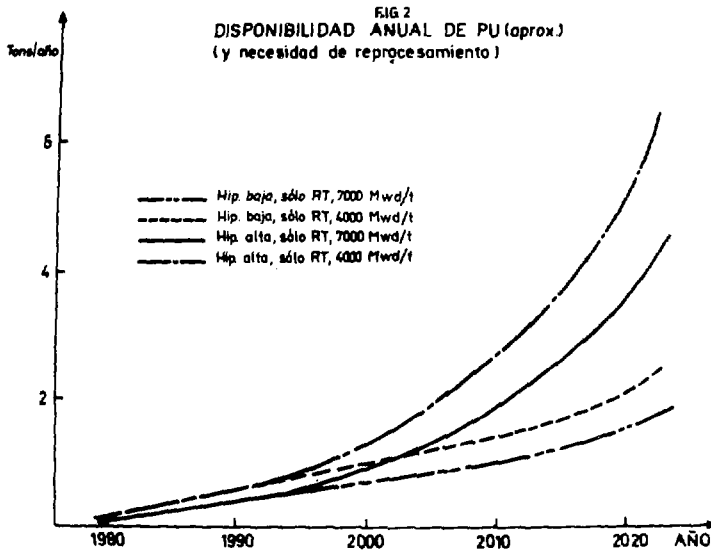
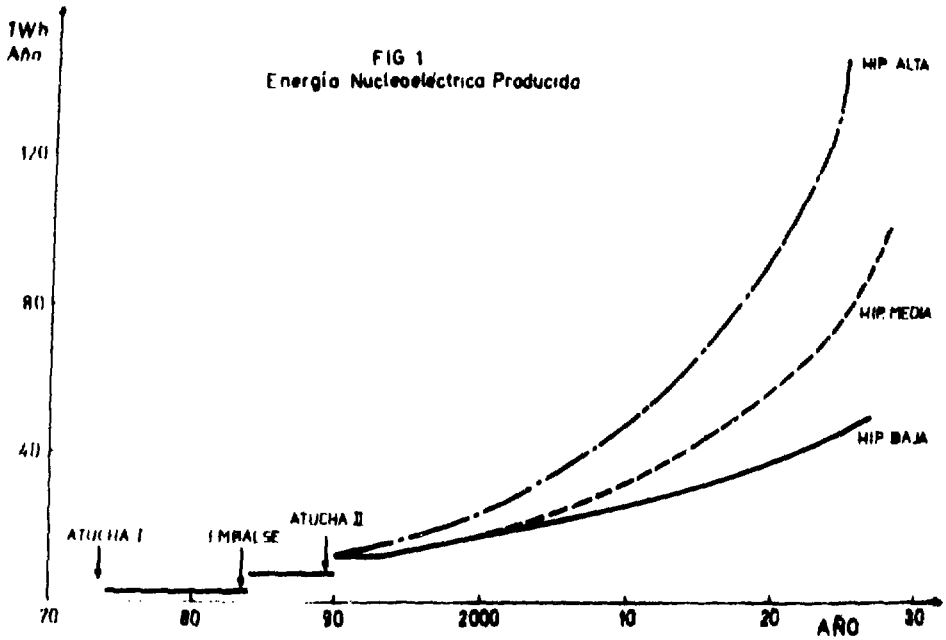
La desaparición del Pu fuera de pila que ocasiona la presencia de los FBR es contrabalanceada por un requerimiento importante de facilidades de reprocesamiento (fundamental en los FBR ya que el combustible quemado contiene más plutonio que el virgen).

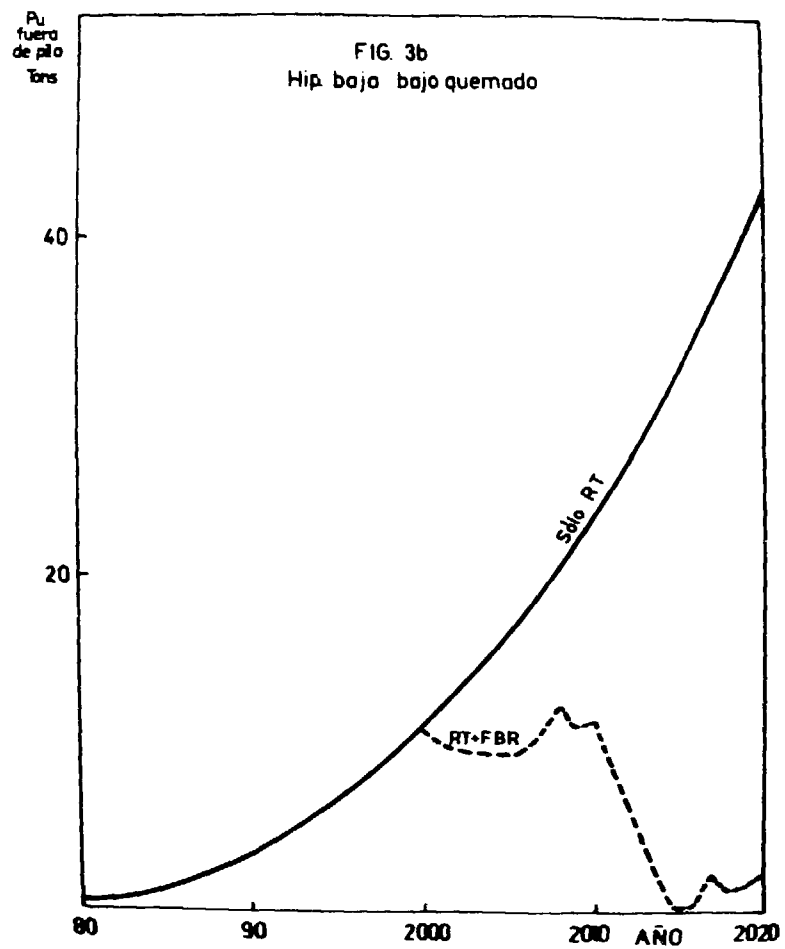
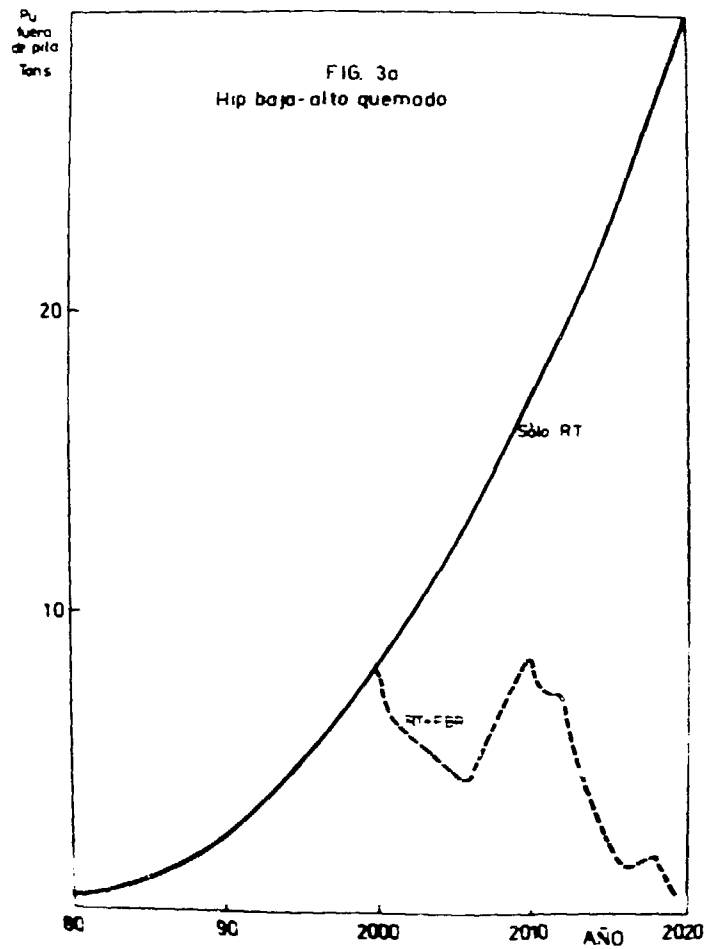
El volúmen de las plantas de reprocesamiento del combustible de los RT puede ser un escollo importante para la llegada del primer FBR. Las plantas para reprocesar el combustible de estos últimos, más compactas, requerirán mayor tecnología, pero deberían estar en operación muy poco tiempo después que el primer FBR, para facilitar la entrada de los siguientes (y darle sentido a su existencia).

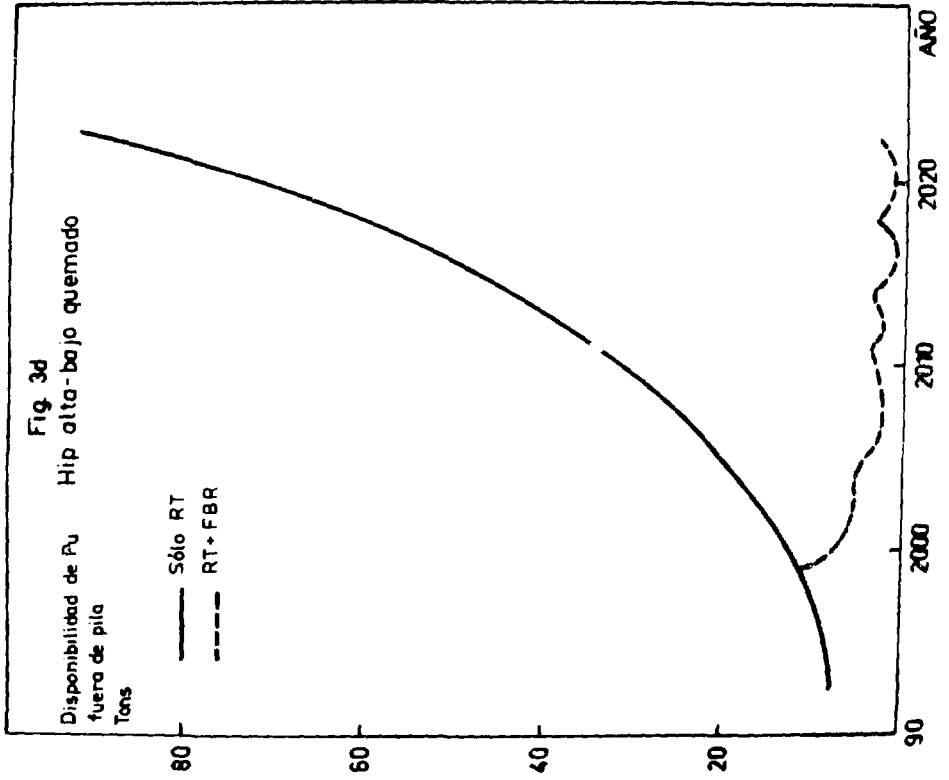
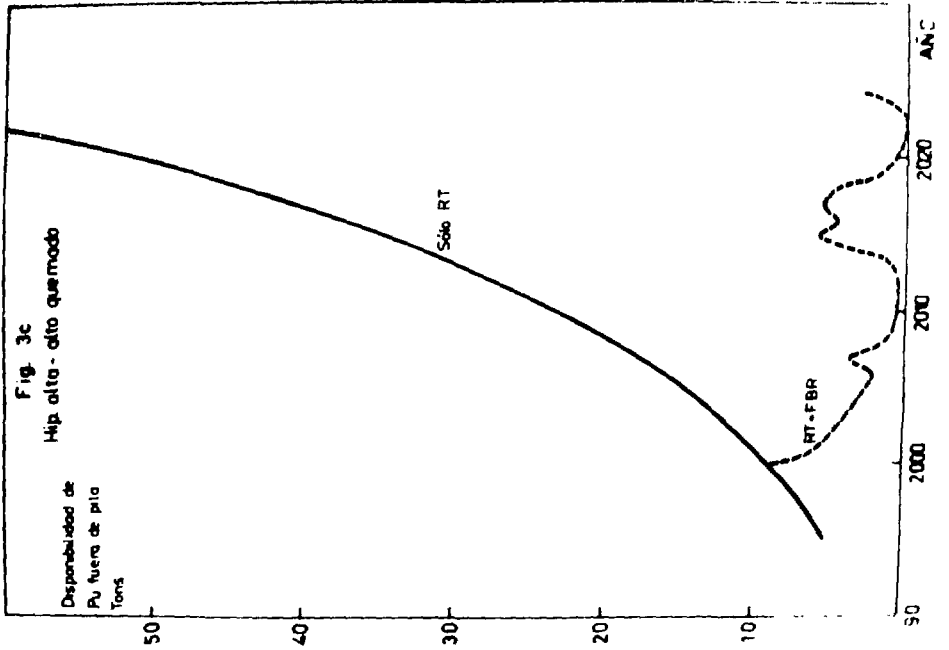
Teniendo en cuenta estos resultados creemos que un proyecto de introducción de FBRs difícilmente podría ver la luz antes del segundo decenio del siglo próximo.

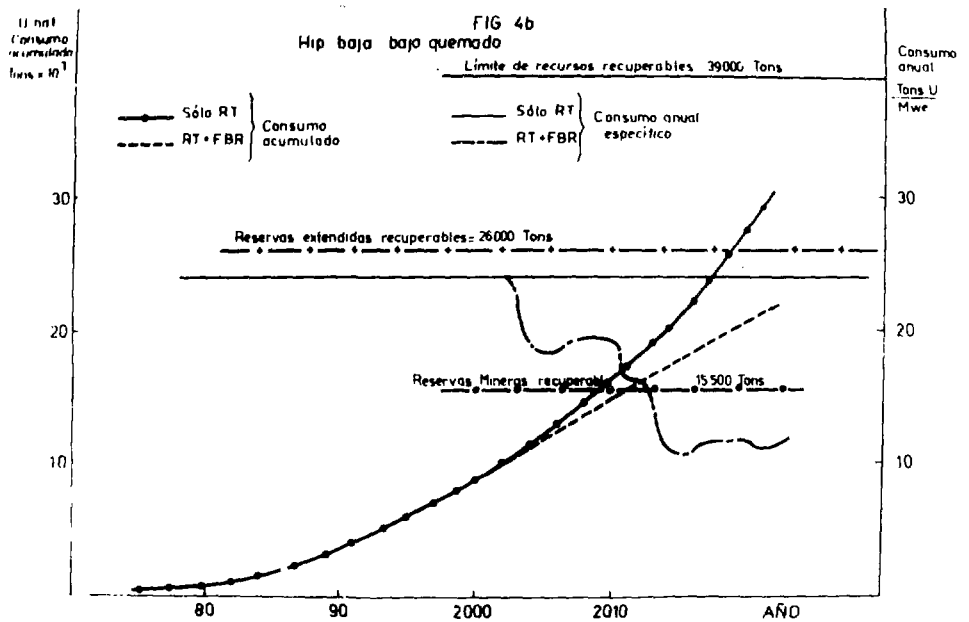
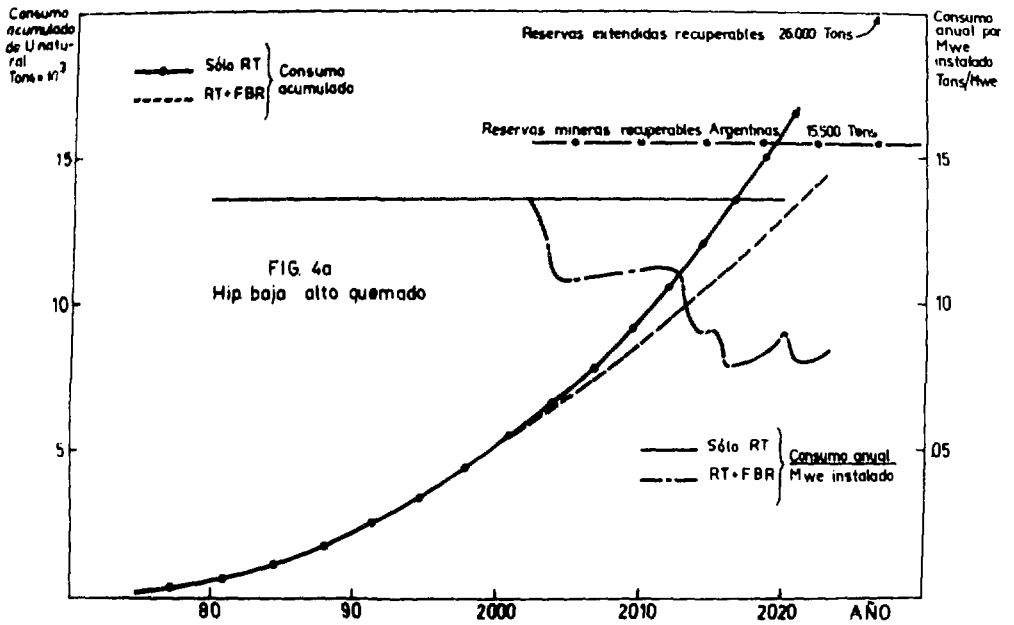
Por otra parte, retrasar su entrada significa posponer el ahorro de combustible y las otras ventajas para fechas muy remotas; en ese caso se pone en juego uno de los objetivos de los planes de desarrollo nuclear nacional que implica la independencia energética. La industria nuclear tendrá un contratiempo a fines del primer cuarto de siglo próximo si no se pasa a algún concepto reproductor, para evitar el agotamiento de las reservas uraníferas propias.

Para no retrasar la entrada de los FBRs urge desarrollar la industria del reprocesamiento y comenzar con la investigación y desarrollo de reactores de este tipo.







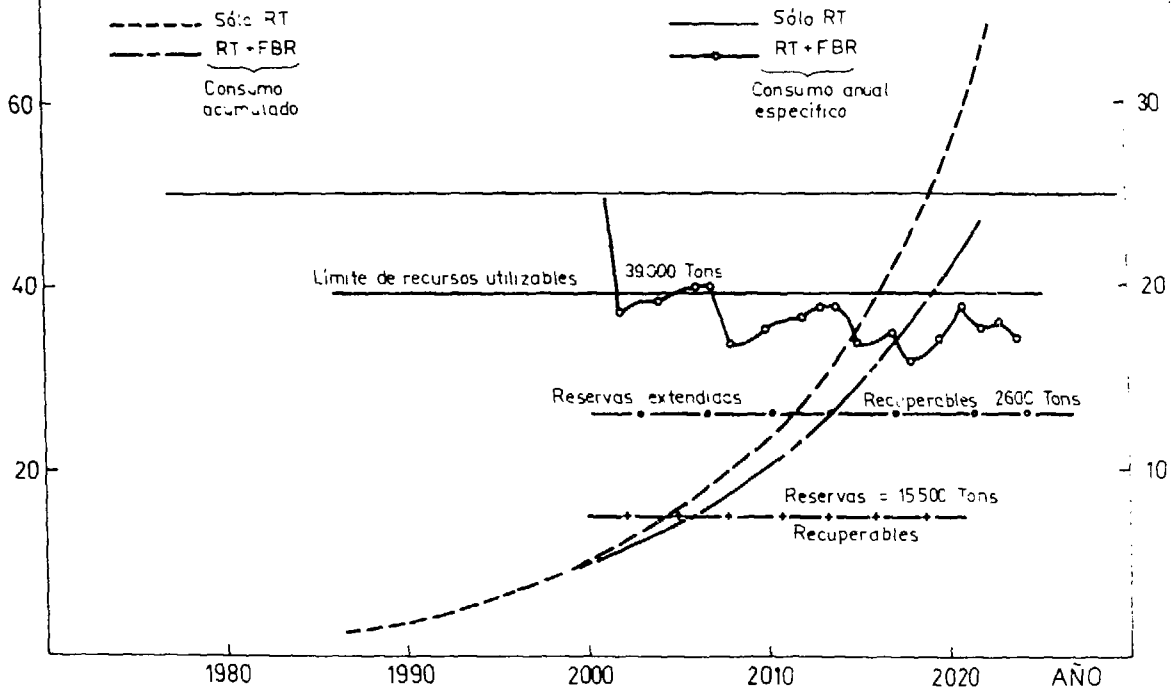


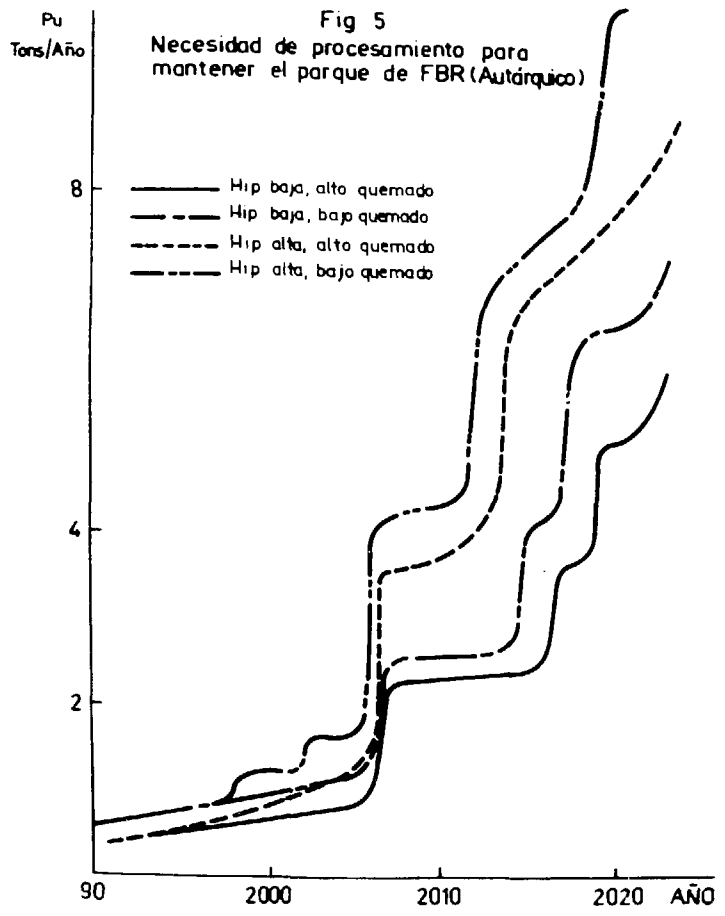
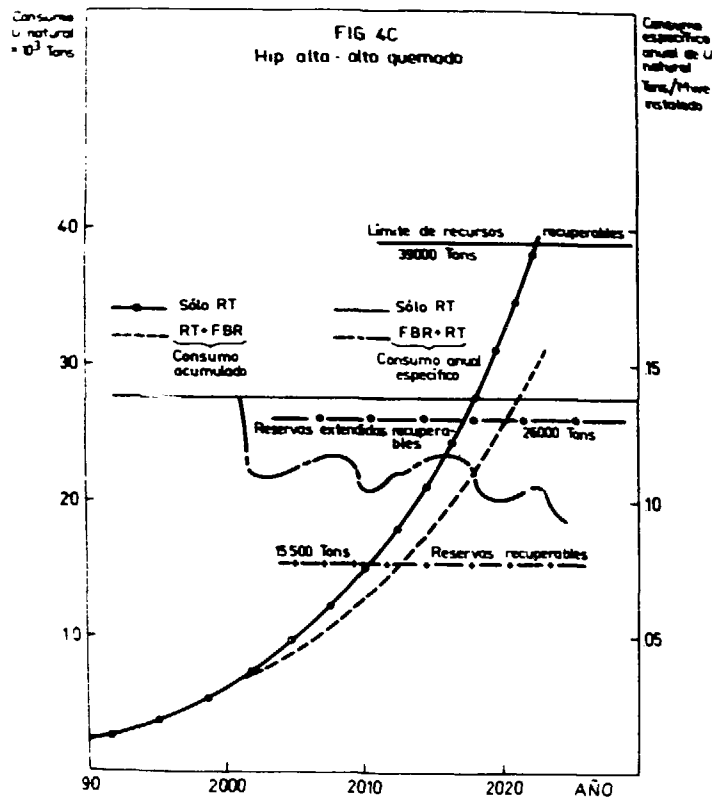


U nat  
consumido  
Tons 10<sup>3</sup>

FIG. 4d  
Hip alta, bajo quemado

Consumo  
específico  
anual  
Tons/Mwe





REFERENCIAS

- /1/ Meinel-Meinel - Annals of Nucl. En. 10(3/4) 1983.
- /2/ Servicio Informativo del C.I.E., Feb. 1976.
- /3/ M.Crespi - Informe Energético 8(1981).
- /4/ Executive Intelligence Review - August 1983.
- /5/ E.Jeffs - Energy Int'l 16(7) 1979.
- /6/ EIDE Coyuntura y Desarrollo N° 63, Nov. 1983.
- /7/ J.Lapeña - Energía 2001, 3 N° 30, Nov.1984.
- /8/ J.Lapeña - Disertación en el Congreso de la AATN, Buenos Aires, Nov. 1984.
- /9/ O.Comellini - Código NURPLA-2, Comunicación privada.
- /10/ Stipanovic - "Recursos Uraníferos Argentinos". Informe a la SeCyT, Enero 1985.

## AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer la valiosa colaboración de la Sra. Marta Gismondi, quien mecanografió el texto, y del Sr. Jorge Altamirano, quien confeccionó las figuras de este trabajo.

C.J.G.