



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

1/10

Ing. Carlos Pierro:

Vamos a ver qué pasa con la energía nuclear. José Luis Antúnez está a cargo de Atucha II, tiene una responsabilidad muy grande, todos estamos deseosos de empezar este Bicentenario, de llegar al Bicentenario con más energía nuclear. Y más sabiendo que en algún momento va a tener que entrar Embalse en el período de revisión para aumentar su vida útil. Así que no quisiera estar en el saco de José Luis. Actualmente se desempeña como Vicepresidente de Nucleoeléctrica Argentina. Es Ingeniero Electromecánico graduado en la ciudad de Buenos Aires. Se desempeñó como Gerente General de Transener. Director Comercial y de Desarrollo de Proyectos Eléctricos en el Grupo Pérez Companc. SADE, Ingeniería y Construcciones S. A. y Gerente General de Nuclear S.A., entre otras funciones.

Ing. José Luis Antúnez:

Me han pedido que hable un poquito sobre el futuro de la generación nuclear en el sector eléctrico. No me han pedido que hable de Atucha II, así que no lo tengo en el temario para nada, pero con gusto puedo ampliar cualquier tema. En realidad todas las preguntas que recibí en el pasillo fueron sobre Atucha II; ninguna sobre lo que pienso sobre la generación nuclear en el 2074.

Bien, pasemos a la primera diapositiva, por favor. Se ha hablado mucho en los paneles anteriores, con enorme profusión de datos y calidad de las exposiciones, sobre el crecimiento de la energía a futuro. Cualquiera que sea el camino y la rampa de crecimiento, el mundo va a seguir consumiendo cada vez más energía. Esto parece evidente, y lo único que quiero mostrar en esta diapositiva y las dos que siguen es que cualquiera que sean esos escenarios, no hay ninguno que pronostique que la energía eléctrica va a crecer menos que la demanda global de energía. En todos los casos todo el mundo pronostica que la energía eléctrica va a crecer más que la global. Es decir, el mundo está tendiendo hacia una mayor electrificación. Ésta es una que hizo Siemens hace ya casi 10 años.

- Es una hecha hace menos tiempo, pero fíjense que está pronosticando un 66% de crecimiento de la demanda global de energía en un período determinado: 2000-2030, ésta es lo que yo llamaría una de las curvas de bajísimo crecimiento. Pero fíjense en



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

2/10

lo siguiente: aun ésta, que es la de bajísimo crecimiento -pasemos a la siguiente- está pronosticando el 105% de aumento de la demanda global de energía eléctrica, casi el doble.

- ¿De dónde obtiene el mundo la energía eléctrica hoy? Hay cifras del 2004 que son idénticas, ya se habló mucho de esto. Lo que a mí me interesa para esta exposición, es que el mundo está obteniendo alrededor del 16% de su energía eléctrica de fuentes nucleares.

- Todo esto que vimos en la diapositiva anterior requiere –con la única excepción de las energías fotovoltaica, la eólica- requiere mover masa. Así que les hice un cuadrito de cuántos MJ obtiene uno por cada kg de masa, en los distintos casos. La hidráulica no usa energía potencial, así que, fíjense, este es el valor del agua de una represa a 100 m de altura en MJ/kg. Después viene la transformación química, está el valor de combustión, está el valor para la madera, la biomasa, digamos, el carbón, el diesel y el metano. Y después entramos en los nucleares. Los nucleares hoy que estamos usando, energía de fisión nuclear, y éste es el orden -comparen con el orden de magnitud de 1 kg de cualquiera de los otros combustibles disponibles- cuando llegue -de esto vamos a hablar un poquito más adelante en la exposición- vamos a obtener casi 10 veces más que esto de la energía de fusión, y el límite era el de la conversión directa de masa y energía. Si uno, por una máquina milagrosa, pudiera transformar un kg de masa en energía, esto sería el valor que obtiene. Y digo “era” porque los físicos, que son incansables en su ingenio, me estuvieron explicando “¿por qué no le echás anti-materia al tanque de tu central?” En cuyo caso es el doble de ésta. Siempre hay que tener algún sueño para el futuro.

- ¿Cómo está el mundo hoy en cuanto a centrales nucleares? Muy distinto que cuando era estudiante hace más de 40 años. Hoy hay casi 450 centrales nucleares en operación, y digo “casi 450” porque el mes que viene entra en paralelo Cernavoda II, en Rumania, que es CANDU idéntico a Embalse, están entregando una potencia de 374.000 M, y, lo que es muy interesante, es que ya la industria electronuclear tiene 12.000 años-reactor de experiencia, bastante más de lo que había cuando se diseñó Atucha I. La primera central electronuclear del mundo en entrar en operación comercial fue Calder Hall en Gran Bretaña en 1956, hace 51 años. Y les diría que, si bien el diseño de Calder Hall es totalmente distinto al de Atucha I, los valores que se usaban,



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

3/10

los parámetros, los coeficientes de seguridad eran aproximadamente los mismos que había –yo creo que en el '60, cuando se empieza a diseñar Atucha I no debía haber ni 40 años-reactor de experiencia-. El 17% de la población mundial, ya lo vimos. Y hay 26 centrales en construcción. Esto difiere un poco de las cifras que escuché hace un rato, pero ésta es la cifra que está dando la Agencia Internacional de Energía Atómica, con 21.000 Megavatios.

- Para aquellos que dicen “no quiero energía nuclear en mi país”, hay que avisarles que 2/3 de la población mundial viven en naciones donde hay reactores nucleares. Y si sumamos los que están a 4 km de la frontera de uno que sí tiene en uno que cree que no tiene, porque no lo tiene en su país, estamos pasando cómodamente el 80%.

- Ésta es interesante simplemente para despertar la curiosidad de los Ingenieros. Pregúntense por qué es ésta la distribución geográfica de las centrales nucleares en el mundo, en términos de latitudes. Por qué es que casi todas están al Norte del Ecuador. Háganse esa pregunta y después cuando tengan ganas comparemos respuestas.

- Los países obtienen distintos porcentajes de su energía respecto a la energía nuclear. No es que cada uno de los que tienen energía nuclear obtenga el 17% de su energía de origen nuclear. Así que esto va desde el extremo de Francia, que es el que más obtiene, y va a seguir obteniendo por mucho tiempo, está prácticamente en el 80%. El más pequeñito en cuanto a porcentaje es China. China es hoy –supongo que todos lo saben- el 2º sistema eléctrico del planeta. Ha pasado a Japón. Está todavía lejos del millón de Megavatios de EE.UU., pero con sus 373.000 M China es hoy el 2º sistema eléctrico del planeta. Así que esta noticia periodística de las trescientos y algo de centrales me encantó. Lo que no leí en la noticia –y lo averiguaremos algún día- es en qué tiempo piensan construir las 330 centrales nucleares. Pero con que China suba el 1% de su participación en el sector nuclear, va a ser un crecimiento fantástico.

- Los países del G8, ya se habló bastante de ellos, acá están todos. EE.UU. da bastante el promedio mundial, con 21%. Y por cierto es muy alto en Francia y Japón.

- Acá los amigos del Ing. Pierro y sus colegas del Tehuec están pronosticando que la participación porcentual de lo nuclear va a crecer en el mundo hacia el 2020 y mucho hacia el 2050.



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

4/10

- Hay otras fuentes que, si bien para el 2050 están de acuerdo con los colegas del Ing. Pierro, están mostrando gran pesimismo en cuanto al crecimiento de la generación nuclear en su participación en los próximos años. Fíjense lo que pronostica entre la roja, que es la predicción del 2004, y la azul, que es la predicción del mismo ente para el 2005, tanto para el 2010, que ya lo tenemos encima, como para el 2015, está pronosticando menos participación de las centrales nucleares en la generación eléctrica mundial. ¿Y por qué lo está pronosticando? Porque no hay nada en construcción. Estas 26 que están en construcción son un chiste comparado con la energía que se está consumiendo en el planeta. Así que, como no hay nada en construcción hoy -y seguramente el que hizo esto piensa lo mismo que yo con respecto a los plazos de construcción de las centrales nucleares- hasta el 2015 piensa que en realidad la participación va a disminuir. Pero después se juntan con el pronóstico de los colegas de Pierro, y ya para el '20 y para el '25 están dando una mucha mayor participación de la generación nuclear en la generación eléctrica en el mundo.

- ¿Qué cambió para que ahora -miremos más allá del 2015, que es lo que ustedes en el fondo pidieron, y miremos al 2025- se vea más participación de las nucleares? ¿Qué pasó? Todo lo ya dicho: el precio de los fósiles subió.

- Las reservas de petróleo preocupan, cada uno tiene su opinión, pero ciertamente son preocupantes.

- Y acá sí viene lo bravo: el efecto de las emisiones gaseosas. Claramente -ya en forma inequívoca, como dijo una excelente transparencia que hemos visto hace un rato- está demostrado el cambio climático y su correlación con el tema de los gases de efecto invernadero. Las centrales nucleares, tienen muchos motivos para criticarlas, pueden hacer todas las críticas que quieran, pero lo que sin duda está claro es que no emiten anhídrido carbónico.

- Fíjense en este gráfico muy sencillo que dice "si la generación adicional que se incorpora entre el '90 y el '99 se hubiera incorporado sin energía nuclear, éste hubiera sido la emisión de anhídrido carbónico. Y ésta es la real que ha habido, teniendo en cuenta la participación de la energía nuclear. Así que las cosas van mal, pero irían muchísimo peor si no estuvieran estas 449 centrales nucleares generando en el planeta porque lo más probable es que gran parte de ellas hubiera sido reemplazada por centra-



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

5/10

les a carbón.

- ¿Por qué algunos somos poco optimistas respecto al plazo de construcción de las centrales nucleares y creemos que hay que trabajar como burros para mejorarlo? Es que tampoco al mundo le ha ido muy bien con las centrales nucleares. Nosotros somos un mal ejemplo. Fíjense la evolución de los años de la construcción de las tres centrales de la Argentina: Atucha I se hizo en 6 años, punta-punta, llave en mano. Embalse tardó 10 años. Atucha II lleva 27. Y cuando lo terminemos, si es que podemos cumplir el plazo, va a tener más de 30 de construcción. Pero al mundo tampoco le fue muy bien, en particular a los EE.UU. Fíjense que tiene un plazo promedio de 10 años, pero ha tenido casos de casi 24 años de construcción de centrales nucleares. Bien, EE.UU. no ha comenzado ninguna planta desde 1977 y esto sigue siendo cierto hoy. Hay varios pedidos de licencia, pero no hay ninguna construcción iniciada en los EE.UU. Es por eso que quienes hacen estos gráficos son prudentes respecto a lo que va a pasar con la energía nuclear en el corto plazo. Los franceses: prolijos, con una gran virtud, la misma central, mismo diseño, tampoco han hecho algo monstruoso, y han tenido centrales con casi 16 años de construcción. De acá sacamos el Phoenix y el Super-Phoenix, a propósito, los dos reactores Breeder.

Trabajando como un burro, con buenos proveedores, buenos socios y con todos los recursos a disposición, a uno podría irle mejor. Fíjense que las centrales empezadas desde el 2001 han tenido unos plazos de construcción excelentes, en particular la de Qinshan en China, los canadienses la construyeron la primera en 59 meses punta-punta, lo cual es un plazo realmente espectacular. Así que trabajando bien se puede hacer en menos tiempo. ¿Quiénes se han lucido en esto? Y, fundamentalmente, China, Japón y Corea.

- ¿Qué está ofreciendo la industria nuclear? Esto ustedes lo saben de memoria. Está mejorando la seguridad en las centrales y la gestión de los desechos, por un lado. Y por otro lado, hay una nueva generación de reactores que está llegando. Ahora vamos a hablar un poquito de esto.

- ¿Qué es lo que hay y qué es lo que está llegando? ¿Cómo son las 449 que hay? Son de relativamente pocas tecnologías: son de 6 tecnologías. El reactor de recipiente de presión, que es lo conocido por reactor Westinghouse, porque han sido de los prime-



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

6/10

ros que hicieron esto, que tiene la absoluta mayoría. Hay casi 300 de las 449 centrales que son de este tipo. Reactor General Electric, el reactor hirviente, como así se lo llama, porque el vapor se produce en el interior del reactor y se manda directamente a la turbina, mientras que en el PWR y en muchos de los otros hay un ciclo intermedio de intercambio entre la extracción de calor del reactor y la generación de vapor a través de un generador de vapor. El CANDU, de los cuales nosotros tenemos uno en Embalse, y he puesto “tipo CANDU” porque acá están contadas las centrales de la India, de las cuales sólo dos son licencia CANDU, pero las demás son un derivativo de CANDU, así que podemos agruparlos en el tipo de reactor de tubos de presión. Las dos nuestras: caso único en el planeta en estos momentos, que son Atucha I y Atucha II, que son centrales con reactor de recipiente de agua pesada. Después los reactores de gas –diseño que originalmente tiene origen británico- de los cuales hay 23. Y por último, el tristemente célebre diseño Chernobyl, que es un reactor de agua liviana utilizando grafito como moderador, de los cuales hay –acá sacamos Chernobyl- 3 en funcionamiento todavía.

¿Hacia dónde va esto? Algunas de éstas siguen su desarrollo, casi todas, la única excepción es el reactor del tipo de Atucha I y II, que no tiene ya más interesados en desarrollarlo. El PWR sigue hacia el Advanced PWR, que es simplemente una máquina más grande, con sistemas mucho más amistosos para la operación, y más seguros también. Lo mismo pasa con el reactor de agua hirviente, con el Boiling, que también tiene el Advanced –alguien mencionó que Japón tiene ya dos de éstos andando-. El CANDU va en dos caminos, interesantes ambos: uno es el Advanced Candu, que es simplemente la misma máquina, con mejores sistemas y 750 Mega de potencia, sería comparable a Atucha II.

Ustedes saben que Embalse tiene 620. Y el otro, interesantísimo, es el que llaman “reactor canadiense avanzado” –están diciendo que para el 2017 se podría empezar a comercializar- es un reactor interesantísimo de uranio natural y agua pesada, pero sólo usa el agua pesada como moderador del reactor. La extracción de calor del reactor la hace con agua liviana. Esto simplifica los sistemas, disminuye la dosis fuera del reactor, todavía más –a pesar de que el CANDU es un reactor muy amistoso en ese sentido- y además hace baratísima la inversión en agua pesada, porque sólo queda un 25% del agua pesada que uno usa en un CANDU normal.



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

7/10

Y los de gas, que nadie daba un centavo por ellos, realmente están siguiendo un camino interesante, ahora lo vamos a ver. El reactor de gas tiene una gran ventaja: no tiene el problema de pérdida de refrigerante que tienen los reactores enfriados con líquido. El reactor de gas, si pierde el refrigerante –que era anhídrido carbónico, ahora va a ser helio en el futuro- se reemplaza con aire, pero lo importante es que el reactor no tiene hacia la criticalidad. Se apaga solo igual.

- ¿Qué diseños estamos viendo, ya que estamos hablando, para el futuro? Hay una línea de diseño, que es la de los intrínsecamente seguros, que es muy interesante. Los llaman “intrínsecamente seguros” porque para la refrigeración del núcleo dependen de las fuerzas de la naturaleza y no de bombas. Y se están usando un par de las fuerzas de la naturaleza, de las cuales uno pertenece a un diseño argentino, que es el CAREM, un reactor en el cual la fuerza para el enfriamiento es el viejo conocido termosifón. Es decir, el reactor se refrigera porque el agua caliente sube y el agua fría baja. Interesantísimo como diseño, no tiene bomba del primario.

Después está el PIUS, que es diseño sueco, éste simplemente está sumergido en una pileta gigantesca, es decir, la refrigeración del núcleo, en caso de emergencia, el reactor tiene bomba de circulación, pero en caso de emergencia se enfría con una monstruosa pileta que está más alta que el reactor. Así que usa las fuerzas de la naturaleza también. El R600 es igual que el PIUS, prácticamente.

Después vienen cosas interesantes: el de agua supercrítica, que no es más que un BRW modificado, pero en lugar de enviar vapor de baja a la turbina, genera vapor supercrítico adentro del reactor, y en realidad lo que está generando es agua supercrítica, que se transforma en vapor supercrítico ni bien dejó el reactor y emprende su camino a la turbina. Y los Magnox y los otros de gas están en unos desarrollos extremadamente interesantes, que van a refrigerar con helio, y el helio, a altísima temperatura, lo van a mandar directamente a una turbina de gas, donde va a cumplir un ciclo, lo mismo que una turbina de gas, en lugar de que la cámara de combustión le esté entregando gases productos de la combustión de gas natural o de combustible líquido, le va a entregar helio muy caliente proveniente del reactor.

Después viene toda la línea de los rápidos de metal, donde hay toda clase de aparatos, hay aparatos de sodio líquido, hay aparatos de litio, hay aparatos sumergidos en



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

8/10

plomo el reactor, son los que se llaman Breeder modificados, que tienen la ventaja que pueden usar combustibles mixtos –y curiosamente, asusta un poco el usar sodio líquido o plomo, pero desde el punto de vista de la generación de elementos proliferantes, son extremadamente controlables-

Y después el reactor de fusión. El combustible que va a usar va a ser deuterio y tritio. ¿Qué va a usar para extraer calor? Todavía no se sabe muy bien, es un gran interrogante. Aparentemente los neutrones rápidos provenientes de la reacción de fusión van a ser atrapados en un blindaje, que va a estar alrededor del anillo de plasma. Ustedes saben que para mantener la reacción de fusión hace falta una temperatura extrema que no permite que el plasma toque nada. Entonces lo que se usa es mantener esto confinado mediante bobinas magnéticas. Y escapan neutrones rápidos, porque finalmente, lo que necesitamos los Ingenieros es sacar la energía de adentro del reactor. Ahora, que el plasma se auto-sostenga, es interesante como experimento físico, lo que nosotros necesitamos es vapor o alguna otra cosa caliente para generar energía. Esos neutrones rápidos van a ser capturados.

- **Tiempos.** No esperen ningún módulo grande de éstos en producción antes del 2020. En paralelo en las redes del mundo un “bicho” grande de estos de 700 ó 1.000 M, no lo esperen antes del 2020. Con el Breeder, Francia lo hizo, pero los problemas de operación y de costo de operación que tuvieron son tan grandes que ellos mismos lo han abandonado. Así que tienen que pasar a los reactores rápidos de metal nuevos.

- **¿Qué opina la gente de la fusión?** Lo que en general se opina es que los reactores de fusión faltan 40 años, entre 30 y 40 años para poder tener reactores operables en la industria eléctrica. La gente deposita mucha confianza –ésta es una encuesta hecha con Método Delphi entre científicos y tecnólogos nucleares de todo el mundo- la gente tiene mucha confianza en los reactores intrínsecamente seguros, piensa que van a andar bien-y la sola palabra “intrínsecamente seguro” a todos les gusta usar las fuerzas primarias de la naturaleza y no depender del eje de una bomba para la refrigeración- pero en cuanto a la fusión, realmente existen grandes dudas, y fíjense que todo el mundo lo ve en el largo plazo.

- **Y acá les marqué la fusión, la están viendo, como pueden observar, para dentro de mucho tiempo.** Y lo grave es que el 22% de los encuestados entre estos científicos y



Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional. Energías convencionales y alternativas.

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

9/10

tecnólogos dijo que jamás va a ocurrir. Pero tampoco hay que enfermarse mucho. Entre los descubrimientos de algunos fenómenos físicos y su utilización tecnológica han transcurrido 100 años. Así que como todavía no hacen 100 de la primera explosión de bomba de hidrógeno, que fue la primera fusión que se produjo en el planeta, fue en el '50, así que falta todavía hasta el 2050, tenemos tiempo para transformarlo en algo tecnológico. Pero ciertamente, de acá al 2030 no esperen ningún reactor de fusión entregando energía en la red.

- ¿Y por casa cómo andamos? A esta diapositiva algunos de ustedes la conocen, ésta es la composición del sistema eléctrico argentino, en el 2005, acá está lo que es nuclear, lo que es hidro, lo que son los ciclos combinados -interesantísimo, para los que hablaron tan bien sobre el consumo de gas y su expansión logarítmica en la Argentina- acá está reflejado. Fíjense que había 0 ciclos combinados hace apenas 10 años, y hoy están ocupando nada menos que esto respecto a la generación. Turbogas han bajado un poquito, naturalmente, igual que el vapor convencional, porque algunas unidades se usaron para hacer ciclos combinados.

- El año pasado no debe haber habido mucha diferencia con esto, lo nuclear se debe haber achicado un poquito, debe haber sido el 7% aproximadamente de la energía entregada a la red. Y éste es el caso del 2005, la proporción entre hidro y térmica depende de la hidraulicidad del año.

- Mientras tanto la demanda sigue creciendo, y acá paro yo y lo dejo al Ing. Legisa para que nos diga qué piensa que va a ocurrir con esto del 2005 en adelante. ¿Seguirá creciendo al 5% acumulado anual? Preparémonos. Todos: térmicos, hidráulicos, nucleares, fotovoltaicos y el que venga. Esto es un desafío monumental para cualquier sistema eléctrico. Y aunque crezca al 2 ó al 3, igual de acá al 2030 una tensión muy importante sobre el sistema.

- La demanda potencia sigue casi la misma curva. ¿Cuánto va a aportar lo nucleoelectrico a esto? ¿Qué podríamos esperar? En el momento en que se inauguró Embalse esto era como el 13, ahora ha bajado al 8, al 7 el año pasado.

- Promedio mundial, el 17, esto ya lo vimos.



**Energía eléctrica. Perspectiva mundial, regional y nacional.
Energías convencionales y alternativas.**

Ing. José Luis Antúnez
Director Ejecutivo de Atucha II.

10/10

- Y en la UE es el 35. ¿Dónde estaremos nosotros en el 2030? Esto lo va a decir el Ing. Legisa. Yo lo único que les puedo decir es lo que dice la última diapositiva: que cada reactor de 700 M, que es el módulo que tenemos a la vista hoy, puede entregar a la red 5.200 GV/h por año. Así que, si la demanda de hoy, que es más o menos 100.000 GV/h se duplica, entonces un reactor adicional puede cubrir el 5% de esa expansión. Esto es todo.