

Foro de discusión sobre la energía nuclear en México

J. Arias Chávez

Miguel N. Lira 337, Col. Villa de Cortés, 03530 México, D.F.

C. Vélez Ocón

SEMIP, Colima, Col

(recibido el 7 de septiembre de 1987; aceptado el 7 de septiembre de 1987)

Nota Editorial. Este artículo incluye los textos de dos de las participaciones a la mesa redonda "Foro de discusión sobre la energía nuclear en México."

Editorial Note. This article includes the text of two contributions to the panel discussion "Debate about Nuclear Energy in México."

PACS: 01.75.+m; 28.45.-x

Laguna verde: costo/beneficio de una quimera o veinte años después

J. Arias Chávez

1. Introducción

Si se me permitiera definir la diferencia entre un científico y un tecnólogo, diría que el primero en esencia es un gran curioso: quiere saber cómo es y cómo se comporta la realidad del universo que le rodea; mientras el segundo tiene su mayor interés no tanto en saber el cómo y el por qué de las cosas, sino sólo lo necesario para modificar o adaptar una parte del mundo a su criterio o conveniencia. Ello

sería desde luego lo que se desprende de la llamada "ciencia pura" en comparación con la "ciencia aplicada".

En ese mismo enfoque, quisiera criticar además, eso sí, ciertos excesos de cada uno de estas dos posiciones respecto a La Ciencia, La Verdad y La Realidad. Por lo que toca a ciertos científicos tan apasionados en su búsqueda de la *verdad*, que hacen de su cruzada un misticismo, llegan a creer que la más o menos buena aproximación a la realidad que les permite su instrumental científico convierte "su" ciencia en la realidad misma. No nos parece que esté por demás recordarles a estos científicos que la ciencia y sus conclusiones verdaderas, sólo serán siempre *modelos* de la realidad, modelos cada vez más aproximados, exactos o fieles, pero *nunca la realidad misma*, por más asintótica que se vea a la función ciencia con respecto a un fenómeno y un tiempo. La historia de la ciencia nos proporciona a cada rato ejemplos de este proceso de ensayos o errores y sucesivas e interminables aproximaciones.

Por lo que toca a muchos tecnólogos, especialmente en el acelerado desarrollo de conocimiento científico y sus inmediatas y asombrosas aplicaciones en las poco más de dos centenares de vueltas alrededor del Sol que llevamos desde la Ilustración, en su euforia de poder modificar el mundo que les rodea *a su propia imagen y semejanza*, piensan que el poder divino les pertenece y olvidan su dimensión de simples aprendices de brujo. Ambos, el científico y el tecnócrata, olvidan su condición humana y en su arrogancia enajenada sueñan con ser dioses o aun creen ya serlo. Triste, pero sobre todo peligrosa, la caricatura de prometeos que ofrecen al mundo hoy.

Tras esta introducción lírica que tiene las pretensiones de un marco conceptual preliminar, pasaré a establecer la metodología-empírica de este trabajo.

2. ¿Vale la pena?

Esta simple frase encierra el mismo criterio de "costo/beneficio" que norma generalmente la racionalidad de los actos que emprendemos. Mal haría quien viera en este criterio sólo uno de utilitariedad

o prosaico materialismo, pues de hecho es lo que como individuos o entidades utilizamos para decidir si emprendemos algo o no. Es un criterio de racionalidad.

Al asunto de la nucleoelectrica de Laguna Verde, tan controvertido hoy, vamos a aplicarle precisamente este criterio, pues a nuestro juicio es lo que le haría falta para regresarlo a la racionalidad, esa abstracta virtud que tanto decimos amar y respetar. Una racionalidad, sin embargo, que habremos de considerar no como un juicio estático e inmutable, permanentemente valedero, sino como un parámetro que puede variar y, de hecho, varió en el tiempo. Tanto en el momento inicial en que el proyecto de construir nuestra primera nucleoelectrica se decidió como ahora mismo, puede establecerse el criterio del costo/beneficio. Antes, un poco de historia.

En 1966, tras la década de los cincuenta en que México envió a sus primeras generaciones de científicos al extranjero a prepararse en las entonces nuevas disciplinas de lo nuclear, y de que en la cuna de esta forma de energía se había proclamado el Programa de "Átomos para la Paz" y de algunos años iniciales de operación de la llamada Comisión Nacional de Energía Nuclear se decidió, por una parte, establecer un Centro de Investigaciones Nucleares, en Salazar, que a los tres años empezaría a funcionar y, simultáneamente, meternos a la energía nuclear "en serio" con un proyecto nucleoelectrico. En enero de 1967 se crea la División Nucleoelectrica dentro de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), mientras ya desde el año anterior se iniciaron los primeros estudios de prospección general de la tecnología a escoger, en colaboración con entidades [1] norteamericanas pero con algunos mexicanos a su cargo, así como la prospección y evaluación de posibles sitios. Para 1968 ya se había prácticamente tomado la decisión por Laguna Verde, y al año siguiente se iniciaron las primeras obras en el sitio, consistentes en excavaciones de evaluación micro-geológica y que serían parte de los cimientos y estructuras bajo el nivel del suelo. Como en cada sexenio, se interrumpen las obras por primera vez en 1970. La obra hasta 1971 o tal vez 1972 se presupuestaba en unos 128 o 130 millones de dólares (MD), su plazo de terminación previsto era 1974 o 75 [2]. En

un brinco histórico, llegamos hasta hoy en que la CFE anuncia que en el primer trimestre de 1987 se procederá a la carga nuclear de la primera unidad para que, tras un mínimo de seis u ocho meses de pruebas, inicie su operación comercial a fines de ese año o principios de 1988. El costo que hoy admite la paraestatal es de unos tres mil quinientos MD "ya con costos financieros". La segunda unidad se espera terminarla para 1989 o 1990.

Ahora sí, intentemos establecer las *dos* racionalidades detrás de estos hechos: la justificación que se tenía en los inicios del proyecto en base a su costo/beneficio y la que ahora pueda presentar, veinte años después.

Se decía entonces que México requería diversificar su oferta energética, pues ya se tenía una marcada dependencia del petróleo. Se le utilizaba no sólo para generar electricidad sino que, además, existía el agravante de que con el agotamiento de las reservas probadas de México se tendría que importar petróleo, no obstante que éste era muy barato, *los precios de entonces eran del orden de poco más de dos dólares por barril*. Por otra parte, legítimas aspiraciones al despegue científico y tecnológico movían a muchos entusiastas y aun a jóvenes miembros de la comunidad científico-técnica a impulsar la entrada de nuestro país en el sector "punta" por excelencia de la investigación y el desarrollo tecnico-científico de aquel entonces. También hay que considerar ciertos deseos, no tan legítimos, presentes entre los funcionarios y las altas esferas gubernamentales, acerca del prestigio personal y nacional que ello suponía y, por último, cabe admitir que en algún rincón de mentes nacionalistas tal vez se colara una secreta pasión incipiente por la tentación de una bomba tricolor. Con todo y este último supuesto, aún no hemos incluido ciertos obvios intereses económicos de las empresas extranjeras por las grandes utilidades que estos negocios representaban, ni los de sus socios o agentes locales. Tampoco osamos considerar las muy reales ambiciones y planes geopolíticos de las potencias nucleares.

¿Cuánto iba a costar todo esto? ¡Una ganga! Aparte de los mencionados 130 MD prácticamente nada más. Nadie entonces, al menos acá, pensaba en los desechos o menos en los accidentes y las

incipientes protestas de los ecologistas de los países desarrollados: chifladuras "hippies", nada más.

Mucho ha llovido en 20 años, ¡y han cambiado tantas cosas!...

3. Veinte años después

Los beneficios, a la luz de la realidad actual, son muy discutibles, veamos:

a) Sustitución y diversificación energética.

Muy probablemente el costo hoy estimado para toda la obra de 3,500 MD "con costos financieros" probablemente se queda corto, pero seamos conservadores y aceptemos un costo total de 3,600 y ahora dividámoslo entre 12 dólares del barril de crudo (estimación bastante conservadora pues antes de 1974 valía unos dos dólares, y aunque llegó a más de 30, ahora ha venido cayendo hasta menos de los 10 y no sabemos cuánto y cuándo se recuperará, pero para los fines de esta operación parece aceptable tomar su promedio, en los 20 años transcurridos, de 12 dólares). Así, dividamos 3,600 MD entre 12, el resultado, 300 millones de barriles, nos da cuenta de la cantidad de petróleo equivalente que México ha tenido que exportar para sufragar tan onerosa cantidad, la mayor parte en divisas a altas tasas de interés. Pues bien, suponiendo que la nucleoelectrónica Laguna Verde operará sus 30 años a duras penas "sustituiría" menos de los 300 millones de barriles, que, véase bien, se tuvieron que erogar *antes* de que se genere un solo kilowatt-hora de electricidad nuclear. Aquí queda la supuesta sustitución.

Por lo que hace a la diversificación, otras muchas fuentes y potenciales casi sin usar, aguardan en México para una verdadera diversificación no petrolizadora: más del 80% del potencial hidráulico sin utilizar aún y ya plenamente identificado como obras concretas y económicamente viables; el potencial geotérmico casi sin tocar y aún poco evaluado, pero que en Cerro Prieto tiene más de 15 años de ser una realidad económica que hasta se exporta. Incluso los cen-

tenares de millones de pies cúbicos diarios de gas asociado que aún se desperdician sin provecho en el Sureste (y ello sólo usándose en gaseoeléctricas equivale a la energía que producirían tres o cuatro "Lagunas Verde") [3]. Todo ello para ni hablar del enorme potencial de la energía solar directa en sus distintas aplicaciones, de la biomasa que hoy ya genera más energía primaria en México [4] que toda la electricidad del país, la energía eólica (un estudio del Instituto de Investigaciones Eléctricas de la CFE dice que sólo en La Ventosa, Oax. se generaría, a costos económicos, el equivalente de más del 10% del consumo eléctrico actual, o las mareas y oleajes de 10,000 km de litorales o las diferencias térmicas oceánicas.

b) Desarrollo científico y tecnológico "avanzado".

Hoy la opción nucleoelectrica, al menos en su versión de los reactores nucleares de fisión de la "primera generación", viene siendo abandonada en la práctica de casi todos los países avanzados y del tercer mundo; unos que en ella pusieron esfuerzos e inversiones, otros que no lo hicieron. Austria, Australia, Brasil, Dinamarca, Filipinas, Grecia, Israel, Portugal, Noruega, Suecia, la han abandonado por referéndum o decisión gubernamental o nunca decidieron abrazarla, aún requiriendo opciones energéticas y pudiendo optar por la nucleoelectrica. En Canadá y EUA las ventas han bajado tanto que en el primero su industria prácticamente ya quebró, y en el segundo no hay pedidos nuevos desde 1978 y existen más de 100 cancelaciones en una década y decenas de proyectos parados, abandonados o incluso reconvertidos a otros combustibles [5]. Aun la RFA e Inglaterra, que habían cifrado mucho de su futuro energético en ella, hoy la han frenado, e incluso los más poderosos partidos de oposición que pueden volver al poder el año próximo, han ofrecido cancelar sus programas nucleares.

En cambio la URSS, que sin embargo como Francia frenó casi a la mitad sus planes y ello desde 1980-81 (*antes de Chernobil*) o, por último, Japón, que comprensiblemente sin energéticos y con

gran necesidad de ellos, hace casi dos décadas se comprometieron demasiado y demasiado prematuramente con ella.

En todo caso, lo realmente moderno, si se tratara de modas, serían las biotecnologías, los microcircuitos y la robótica, las telecomunicaciones, los láseres, etc. Y en energía, sin duda alguna, el desarrollo de las fuentes renovables y el ahorro y la eficiencia en lugar de los reactores rápidos o la fusión, que lleva ya 40 años como nueva piedra filosofal. Ahí quedó "la modernidad".

c) *La energía barata ilimitada.*

Se decía hace un cuarto de siglo que tal vez resultaría tan barata que sería más costoso cobrarla que regalarla a los usuarios. Esa visión quedó muy, muy atrás. Hoy, tanto en México como en el resto del mundo, se están revelando sus verdaderos costos económicos. Aquí, el apartado 102 del Programa de Energía de 1980 (sexenio muy pro nuclear) admitía que la nucleoelectrica, en sus costos de kilowatt-hora generado, era casi la más cara, sólo superada por la de los hidrocarburos (entonces en su precio histórico más alto) y eso aún sin los incrementos reflejados de la Isla de las Tres Millas (*mucho menos Chernobil*), sin los incrementados costos de la seguridad y sin tomar en cuenta la enorme baja de los precios del petróleo, el gas y, en similar medida, del carbón. Los costos que arrojará Laguna Verde ya desde ahora, permiten extrapolar valores elevadísimos, muy por encima de lo previsto, no digamos hace 6 años, sino las cifras oficiales de hoy, como lo empezarán a reflejar las tarifas abruptamente elevadas a partir de enero, para pagar la deuda externa de la CFE (*más de 10,000 millones de dólares*), la mayor parte seguramente directa o indirectamente atribuible a Laguna Verde.

Por otra parte, resulta aún más ridículo haber confiado tanto a esta opción, como el ambiciosísimo y ya abandonado programa de 20,000 MW, sobre todo si hoy, tras más de un cuarto de siglo de exploraciones por gambusinos, por empresas contratistas, por la Comisión Nacional de Energía Nuclear, por el INEN y luego por ININ y URAMEX, sólo se tienen reservas probadas por 14 mil toneladas de

uranio —sólo diez mil económicamente recuperables— que apenas si alcanzan para algo más que Laguna Verde. Ahí el mito de “sustituir a combustibles que se agotan”.

d) *El acceso a la independencia tecnológica.*

Sin comentarios, sólo recuérdese la cruel ironía del virtual embargo norteamericano entre 1976 y 1981 de “nuestro” uranio enriquecido.

e) *El pivote del desarrollo industrial.*

¿Dónde quedó? ¿Qué se empezó a fabricar aquí para sustituir la importación casi total de componentes de la nucleoelectrica? ¿Qué desarrollo tecnológico o transferencia de tecnología más allá de la ingeniería civil en la que México ya desde antes destacaba? Nada, o casi nada.

f) *La formación de cuadros técnicos altamente capacitados.*

Los que hubo, básicamente en el SUTIN, ya desaparecieron, los que quedan todavía en CFE, están desbalagados, desmoralizados y, por ello, indisciplinados y hartos.

g) *La generación de electricidad.*

La sola mención del pequeño porcentaje del consumo actual, que representará en el mejor de los casos el 3% con la primera unidad o el 6% si llegaran a operar las dos y en las óptimas condiciones de eficiencia posibles (muy dudoso), es tan bajo para el costo que el argumento cae por sí mismo.

Hasta aquí los beneficios que reportaría la nucleoelectrica. Pero ahora pasemos a los costos reales que estos “beneficios” comportan veinte años después de su errónea concepción original.

4. Costos reales y actuales

Los costos de esta aventura, hoy por hoy, no pueden restringirse a simplemente los económicos. En todo caso, podríamos aceptar intentar traducir todos los costos reales a términos económicos, para fines de homologación y comparación en nuestros "costos/beneficios", pero los "costos" abarcarían ahora muchos más rubros que los simplemente económicos o financieros, veamos:

a) Costos económicos directos.

Los costos oficialmente reconocidos hoy son muy limitados, pues ni siquiera abarcan todo el período descrito. Las cifras oficiales admiten haber gastado hasta hoy unos 2,000 MD y que aún faltan otros cuatrocientos. Ello, repetimos, en costos directos y sin tomar en cuenta 300 o 400 MD de costos financieros, es decir, sólo las erogaciones sin los intereses acumulados del capital en ese lapso. Ya se mencionó que incluidos los costos financieros, la CFE admite que costará en total unos 3,500 MD, lo que, siendo ya enormemente más alto que los 128 originales, aún no nos parece real pues se basan en falsas premisas o arbitrariedad de juicio [6]:

- Sólo incluyen el período que empieza en 1972 o quizá tal vez desde "el inicio real" en 1976, cuando dicen que se empezaron las primeras obras "importantes".
- Si no incluyen todos los contratos de prospección tanto de la tecnología y sus concursos contractuales como los de la selección del sitio, obras preliminares e infraestructura necesaria así como otros gastos enormes de administración en que la CFE incurrió, y hoy sabemos cuánto se endeudó, las cifras entonces no son reales ni relevantes.
- Si no incluyen, pues no se aclara, la devaluación del dólar en ese lapso, y si además las tasas y plazos considerados no son los reales, tampoco sirven, por todo ello es que hoy pensamos que una aproximación mucho más real a los costos económicos actuales anda por el doble de las cifras más altas admitidas.

b) Costo representado por los riesgos de accidente.

Este costo es tan real que en EUA la administración gubernamental tuvo que instituir la arbitrariedad de la Price Anderson Act. que establecía un límite de indemnizaciones de 560 MD a pesar de que una investigación del Laboratorio Nacional de Brookhaven probaba que los muertos podían llegar a 45 mil y los daños materiales a 17 mil MD en el más grave accidente. Esto nos da una idea del costo económico real de un aseguramiento tan alto, que ninguna empresa puede asumir.

De modo es que, si realmente se quisiera tomar en cuenta el riesgo de accidente como un costo, habría que efectuar los cálculos actuariales. Por cierto, resulta significativo que en parte alguna, tras 25 años de experiencia mundial y a pesar del negocio que representan las aseguradoras, ninguna planta nuclear esté asegurada contra accidentes en cuanto al pago de indemnizaciones a los afectados externos. Este sería, pues, un costo altísimo.

c) Costo de posibles daños en operación normal.

Si recordamos que la simple operación normal —sin accidente alguno— de una planta nuclear como Laguna Verde conlleva afectaciones al medio ambiente de diversa índole, es lógico tasar estos posibles efectos nocivos como un factor de costo adicional para ser tomado en cuenta.

En efecto, aparte de que por razones de seguridad este tipo de plantas opera con menores entalpías que una termoeléctrica convencional, lo que le confiere cierta eficiencia termodinámica menor (más desperdicio térmico), además debe añadirse que al tener que liberar calor de desecho y no poderlo hacer como las termoeléctricas convencionales por medio de sus gases de escape a la atmósfera, sino por un enfriamiento de circulación de agua que luego vuelve al cuerpo de agua original, ello supone unas diez veces más calor de desecho al medio acuático que en una termoeléctrica convencional, lo que indudablemente afectará en esa proporción a la vida acuática, no

sólo de manera directa a los organismos ya vivos, sino a los delicados equilibrios de sus cadenas tróficas y otras relaciones ecológicas, como su ciclo reproductivo. Este efecto obviamente representa un costo ecológico-económico.

Por otra parte, por más perfectas que fueran las medidas de seguridad y de blindaje contra la radiación, hay una probabilidad *no cero*, de escapes de partículas radiactivas que se traduce de hecho en el escape de algunas, sobre todo si se toma en cuenta que en estos reactores de agua hirviente (BWR) sólo hay un circuito de recirculación del vapor a la turbina y su regreso como agua condensada al reactor, lo que hace más posible tales fugas e incluso un accidente. Si a ello aunamos que precisamente las cadenas alimentarias de los ecosistemas presentan mecanismos de concentración de contaminantes (*v. gr.* moluscos o la leche de vaca), se verá que los efectos de afectación radiológica estocástica en la operación "normal" es bastante real y debe también representar costos; que por cierto se harían macroeconómicamente presentes para el caso de "cierre de la frontera" a productos mexicanos de exportación de esta zona como cítricos, frutas, café, ganado, pesca y turismo. Repetimos, sólo por el efecto psicológico de la posible contaminación por radionúclidos en forma azarosa. Hoy —erróneamente pues la planta aún no está cargada— ya existe una notoria disminución del turismo en las playas de la sección norte del estado de Veracruz y una sensible baja en inversiones y precios del terreno.

d) Costos del manejo de los desechos y el desmantelamiento.

Optimistamente en EUA —y así los quieren cotizar aquí— estos costos los estiman como un porcentaje mínimo (5 a 10%) del costo del combustible. Qué tan realista será, lo manifiesta el hecho de que el primer cementerio de alta radiación civil se empieza a construir tras muchas dificultades —incluso políticas— a un costo estimado de entre *veintidós mil y treinta y cinco mil millones de dólares*. Para México, con un programa tan raquítico no le sería costeable tener un cementerio equivalente, aparte del enorme costo, tal vez tendría que

enviarlos a tirar al extranjero. ¿A qué costo económico y político? . . . Tampoco la ilusión del reprocesamiento y los reactores rápidos de cría son una solución en nuestras precarias y dudosas condiciones, ni siquiera lo han sido ya en países más avanzados como hoy se empieza a reconocer.

Para el desmantelamiento debe estimarse aproximadamente un costo igual o hasta bastante mayor que el de construcción. Pero de ninguna manera la falacia recientemente escuchada de que este costo representa el 10% de la inversión, pues los intereses financieros de una cantidad así al final del plazo de su vida útil habrían formado el capital requerido, pues ello nos coloca en el sofisma de que entonces también hay que tomar la amortización de la planta como inversión total a lo largo de sus supuestos 30 años con sus costos de capital.

e) Otros costos.

Aquí irían una miríada de otras consideraciones de muy diversa índole:

- Incremento a los costos de 'relaciones públicas', por ejemplo campañas de publicidad y convencimiento, "embutes" a la prensa, visitas, comidas, viajes.
- Costos incrementados en la seguridad externa, es decir, todas las precauciones de vigilancia militar de la planta, sus inmediaciones, accesos o vías; igualmente los de las maniobras de traslado de los materiales radiactivos y el "control" de manifestaciones, de obstaculizaciones o protesta a este o cualquier otro aspecto de la operación.
- Costos laborales en el manejo o "control" de los problemas laborales y gremiales, que incluyen concesiones políticas y económicas a uno o varios grupos.
- Costos políticos y económicos para en mantener la aquiescencia de autoridades locales, estatales y nacionales para la buena marcha.

f) *Costos geopolíticos.*

Estos son todos aquellos que se desprenden de una situación de dependencia adicional:

- La dependencia por uranio de importación, puesto que los yacimientos mexicanos no están en capacidad de ser explotados ni resulta conveniente hacerlo.
- La dependencia del proveedor del enriquecimiento (EUA).
- La sujeción a normas de organismos extranjeros como la Nuclear Regulatory Commission, pues el equipo norteamericano está sujeto a ellas.
- La posible intervención externa en caso de un accidente.
- Lo ya señalado para el manejo de desechos que implicaría eventual entrada de materiales fisiónables mexicanos al circuito de las armas nucleares, lo que violaría indirectamente el Tratado de Tlatelolco.

Como se verá, el renglón de costos es mucho más complejo de lo que originalmente se creía y, desde luego, mucho mayor que lo que la CFE estima, aun ella misma habiendo reconocido algunas de sus contradicciones o habiéndolas hecho explícitas y evidentes.

5. Apéndice. Tipos de riesgo causales de accidente

Aunque consideramos haber mostrado ya que el balance actual de los "costos/beneficios" resulta implacable con la apertura nuclear de la planta, deseamos ampliar la parte que tal vez es más sensible en la opinión pública y que además tiene una posibilidad más concreta de análisis físico objetivo: el riesgo de que ocurra un accidente grave en la nucleoelectrónica. Los tipos de riesgo causales de accidente en Laguna Verde son los siguientes:

- 1) *Riesgo de accidente intrínseco a la tecnología nuclear.*

- 2) *Riesgos asociados a la tecnología por su aplicación concreta o implementación.*
- 3) *Riesgos aleatorios externos por combinación con otros factores locales.*

Analicemos en detalle uno a uno de estos tres tipos de causa y sus subtipos y eventuales combinaciones, las que por cierto, en casi todos los casos, implican un riesgo combinado mayor que el del evento aislado.

1) *Riesgo de accidente intrínseco a la tecnología nuclear.*

1.1. Buenos deseos nucleares.

Hoy la propia industria nuclear y el OIEA reconocen que hace falta el surgimiento “mientras más pronto, mejor” de una nueva generación de reactores intrínsecamente *más seguros* que los actuales (Hans Blix, Director del OIEA en su discurso a su Asamblea General tras Chernobil en junio pasado en Viena y “Rethinking Nuclear Power” R.K. Lester, Scientific American, March 1986). Esto supone un reconocimiento, tardió al menos, de que se usan actualmente reactores nucleoelectrónicos no tan seguros como sería deseable en todo el mundo. Pero, además, la tecnología usada en Laguna Verde es aún menos confiable, según se concluye de los siguientes hechos:

1.2. Tecnología BWR.

Los reactores de agua hirviente (BWR) son de alguna manera los más “primitivos” desde el inicio de la nucleoelectricidad, pues usan agua ligera como moderador y como flujo de trabajo directo a la turbina en un solo circuito de recirculación. Este hecho los hace particularmente de mayor probabilidad de escapes, pues no poseen un doble o triple circuito con sus respectivos intercambiadores de calor para minimizar posibles rutas de escape de radionúclidos contaminantes del vapor de trabajo. Además, hacen que las tuberías mismas,

los soportes y sus empaques de sello, tengan mayores requerimientos de calidad a pesar de estar sujetos a la radiación que puede degradarlos más rápidamente. Ello hace a los BWR más inseguros por este hecho.

1.3. Tecnología GE contenedores Mark.

Esta marca desarrolló un sistema de contenedores de concreto para el reactor mismo denominadas genéricamente "Mark", los que en su modelo Mark I resultaban más caros que sus competidores los PWR de Westinghouse; lo cual limitaba sus ventas. Por ello se pasó al rediseño de tal sistema de contención para hacerlos más económicos y competitivos con sus oponentes comerciales; esto a fines de los años sesenta. Lo anterior dio origen a los contenedores Mark II y luego III para los reactores BWR 5 y 6. Ello significó, sin embargo, sacrificar en buena medida la seguridad inherente, tanto en el sistema de enfriamiento de emergencia en sí, como en el llamado de supresión de la presión, que analizaremos por separado. (Reporte de Paul Dragounis, *Nuclear News*, July, 1975).

1.4. Tecnología Mark II, sistema de supresión de la presión.

Este sistema, como su nombre lo indica, basa su funcionamiento en una disposición del contenedor llamada de "arriba a abajo" con un "pozo seco" en la parte alta y un reservorio o piscina de supresión abajo del reactor. Su función es absorber y dispersar una súbita elevación de la temperatura por un descontrol del reactor con el consiguiente aumento de la presión en el vapor generado en el reactor, que si no se amortigua o "suprime" puede llegar a romper la vasija y el contenedor, incluso por explosión. Sin embargo, el cambio obligado por la economía y la competitividad comercial, reduciendo el tamaño del conjunto y parte de su disposición, redujeron considerablemente la seguridad en varios escenarios previstos. Pero hay que añadir que según otros estudios responsables al respecto, incluso varios escenarios no tomados en cuenta para este diseño de secuen-

cias peligrosas. (“Nuclear Power. Issues and Choices” S. Surgeon, M. Kenny, Jr. Barlinger, Cambridge Press 1977; “Western Reactors: How they compare with Chernobyl” R.E. Webb, *The Ecologist* 16, 4/5 1986; “What happened at reactor four” G. Thompson, *Bulletin of Atomic Scientists*, Aug.–Sept. 1986). Estudios que por cierto echan por tierra el manido argumento de que el reactor de Chernobil es de un diseño tan distinto que en los occidentales no puede ocurrir accidente alguno de similar gravedad, incluso con explosiones equivalentes a las de decenas de toneladas de dinamita, tanto en secuencias de sobrecalentamiento de vapor y otros gases como en explosiones químicas por descomposición del agua en hidrógeno u otros. Explosiones muy plausibles que de ninguna manera ni la vasija ni contenedor alguno resistirían en definitiva.

1.5 Magnitud de accidente y diseminación radiactiva posibles.

Por todo lo antes visto y de acuerdo con el estudio citado de Brookhaven, en este tipo de plantas puede ocurrir un accidente más severo, incluso peor que Chernobil, afectando eventualmente a una superficie de más de una vez y media la del estado de Veracruz con decenas de miles de muertos y de millones de dólares de daños a la economía. Por cierto que un reporte reciente (septiembre, 1986) del Livermore National Laboratory en California, establece que en Chernobil se liberó más precipitación radiactiva que la de “todos los ensayos nucleares en la atmósfera”, lo que viene a probar el acierto de que un accidente nucleoelectrico puede ser tan peligroso como una arma nuclear, ya no como cuestión de metáfora.

2) Riesgo por la implementación concreta de una planta nuclear: la construcción azarosa de Laguna Verde.

La azarosa y discontinua construcción de nuestra nucleoelectrica está muy ampliamente documentada hace años. De hecho su muy largo “período de maduración” —desde su decisión original en 1966— es testimonio y causa de su problemática.

2.1. Construcción discontinua.

Ha cambiado casi una decena de veces de director, de compañías contratistas, de responsable global; ha sufrido muchas interrupciones por fin de sexenio, por escasez de recursos, por renunciaciones y cambios, por no llenar normas del OIEA, etc. Ello ha propiciado desde la falta de homogeneidad en procesos como colados de concreto hasta cambios de normas y materiales, dilución de la responsabilidad civil y técnica e incluso sin duda, corrupción.

2.2. Deterioro por ambiente y envejecimiento.

Desde la corrosión de equipos almacenados por años, a veces a la intemperie, en un ambiente muy salino y húmedo, hasta concretos que cambian sus propiedades con el tiempo y clima. Un caso particular lo son las soldaduras defectuosas a que se aludirá.

Otro caso sería el de obsolescencia de equipos por ejemplo de cómputo, de hace 10, 15 o 20 años, que deben casi buscarse en museos para que las normas nucleares de homologación de equipos para plantas anticuadas sean las vigentes.

2.3. Incumplimiento de normas y control de calidad.

Tal es el caso de los cambios de contratistas que dejaron inconclusas obras, o el problemático empate de los sectores asignados a cada compañía, con una benigna dosis de corrupción en la aprobación de recesión de obra defectuosa a "cuates", etc. Un caso concreto es el no completo seguimiento de las normas de soldadura especiales para estas obras en clima húmedo tropical y de alta corrosión, que por cierto para el caso de los soportes de tuberías fueron causal de la cancelación por Corazón Aquino de su única nucleoelectrónica sin inaugurar desde 1984 y que, siendo equipo PWR Westinghouse no resultan tan críticas por tener un doble circuito de recirculación a las turbinas, como aquí uno sólo.

2.4. Accidentes durante la construcción.

En tanto tiempo, en Laguna Verde ha habido de todo: desde los consabidos y asumidos “varios muertos por año” que reconocen las autoridades, “como en toda obra grande”, hasta los que evidencian peligro para la operación en el futuro. Tales serían los casos de las grietas por donde se infiltraba agua del mar en la base del contenedor de concreto, que fueron selladas con Epoxy (ignorando el efecto de radiaciones altas y prolongadas sobre la polimerización de los plásticos) desde hace años, hasta las infiltraciones aún existentes y no controladas en los pisos inferiores del edificio del reactor, que con las lluvias llegan a causar leves inundaciones. En los últimos 3 meses, ocurrieron 3 estallidos de tuberías en las pruebas preliminares, incluso hubo varios lesionados.

3) *Riesgos aleatorios no nucleares.*

Los hay de muy diversa índole, inherentes a su errónea localización o de muestras características como país tercermundista y en grave crisis:

3.1. Riesgo geológico y sísmico.

Los estudios de hace 20 años, sin la aplicación de la actual tectónica de placas, carecen de suficiente confiabilidad. Aquellos estudios ignoran la localización en el eje neovolcánico y en la gran falla transversal (la mayor del país, Guadalajara, Acambay Oxochoacan) la cercanía del volcán activo “El Abra” (en Filipinas también eso fue causa de la cancelación) a menos de 10 millas y el que las normas supuestamente aplicables 10 CFR 100 establecen checar la estabilidad geológica por un período mínimo ininterrumpido de menos de 35 mil años, lo que en Laguna Verde sólo se cumplió para los “últimos treinta mil años” según el estudio de seguridad, CFE, 1973.

En este siglo han ocurrido tres sismos de consideración en una región menor a 100 km de radio, mucho menos de la norma de 200

millas, uno de ellos que se llamó el terremoto de Jalapa (1920) y el de Cd. Serdán que dañó construcciones en Orizaba y Córdoba en 1973. El 7 de octubre de 1985, un temblor de grado 4, "causó pánico en Jalapa, Veracruz y Tuxpan" y tuvo su epicentro a menos de 35 km mar adentro frente a Laguna Verde.

3.2. Otras condiciones geográficas.

Su situación en este litoral, aledaña a la mundialmente importante Corriente del Golfo y el hecho de que aquí se origina mucho del clima que afecta a la región central de México y de parte de los EUA, hacen potencialmente mayor su peligro de diseminación en caso de accidente, al igual que el peligro de huracanes que dañen líneas de transmisión u obras costeras de toma de agua de enfriamiento.

3.3. Instalaciones peligrosas aledañas.

El gasoducto más grande del país pasa a su puerta e inevitablemente añade sus riesgos.

3.4. Riesgos militares y paramilitares.

La cercanía de convulsionadas zonas en Centro América o las inquietudes sociales de un país en crisis añaden riesgos de terrorismo y sabotaje, no exentos de complicaciones de tipo laboral y gremial que en el pasado ya han tenido manifestaciones diversas.

3.5. Carencia de recursos e infraestructura de emergencia.

Cualquier plan y medidas de contingencia se ven limitados en su operatividad por los recursos e infraestructura disponible, que al caso resulta muy limitada:

En el reporte de seguridad citado se preveía una población para 2007 de "más de 25 mil habitantes" en un radio de 45 km. Esto ha sido ridículamente superado por la realidad actual en más del doble

y en cambio las vías de acceso y medios de transporte brillan por su ausencia en muchos casos, como es el de la propia cabecera del municipio donde está la planta, Alto Lucero, que no tiene ni siquiera carretera actualmente. En tales condiciones, los riesgos del accidente mismo se ven aumentados y si la posible mitigación es reducida, el costo real ascendería aún más.

6. ¿Hay algo que agregar?

Referencias

1. Presentación de Carlos Vélez Ocón en Foro *Sobre Laguna Verde* Palacio de Minería, nov. 19, 1986.
2. Rogelio Ruíz, *El Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde*, El Colegio de México, 1982; D. Baheta y H. Cuapio, "Incorporación de la Energía Nuclear al Abastecimiento Eléctrico. México", 1985.
3. Lo que aunado al gasoducto mayor pase a sus puertas hace más factible su reconversión a gasoeléctrica. Este gasoducto costo 12,000 millones de dólares y sólo se usa hoy el 8% de capacidad.
4. Ponencia de Edmundo de Alba al foro sobre Ahorro y Uso Efectivo de la Energía, Toluca, marzo de 1986.
5. *Marviken* en Suecia funciona con petróleo hace años; *Barseveke* en el mismo país se convertirá usando gas danés; *Zimmer*, Cincinnati, EUA, se convierte a usar carbón y es igual que Laguna Verde; *Midland*, Michigan, EUA, se convertirá a usar gas.
6. J.L. Alcántara (Excélsior, marzo 8, 1986); R. Fernández de la Garza, (Proceso, septiembre 20, 1986)

La energía nuclear en México

Carlos Vélez Ocón

La primera actividad importante en energía nuclear en México tuvo lugar en el Instituto Nacional de Investigaciones Científicas, antes de que se fundara en 1955 la Comisión Nacional de Energía Nuclear. En 1967 se crea la oficina de Energía Nuclear en la Comisión Federal de Electricidad y en 1969 se convoca al primer concurso para una central nucleoelectrónica. Las unidades 1 y 2 de la Central Laguna Verde fueron contratadas en 1972 y 1973, respectivamente. En aquellos años, es bueno recordar, México importaba petróleo y no se preveía que esa situación pudiera cambiar a corto o mediano plazo. Años después vino la bonanza petrolera, seguida por la crisis. Dada la actual situación financiera del país, es poco probable que aún el modesto objetivo del Programa Nacional de Energéticos 1984-88, de agregar 4 GW nucleares de aquí al año 2000, pueda ser alcanzado. Sin embargo, el país sigue requiriendo más electricidad y la demanda de ésta aumenta en plena depresión económica al 5% anual. Las únicas alternativas que se le presentan a México en el futuro inmediato para generar electricidad en gran escala son la energía nuclear y el carbón importado. Probablemente se necesiten las dos; para ambas nos estamos preparando ya con las plantas de Laguna Verde y Manzanillo.

En el mundo, el 15% de la electricidad producida el año pasado lo fue con centrales nucleares, una cantidad igual a toda la producción eléctrica mundial en 1954. En una docena de países, la nucleoelectricidad representa más del 20% (en el caso de Francia el 65%) de la generación total. Al final de 1985 había 374 centrales nucleares en operación en 26 países, con una experiencia acumulada de más de 3800 reactores-años, en la cual no había ocurrido una sola muerte a consecuencia de la radiación, ni un escape importante de sustancias radiactivas.

Este récord impresionante de seguridad se rompió el 26 de abril de 1986, con el accidente de la unidad 4 de Chernobil, Unión Soviética. En los diez días que siguieron al 26 de abril, grandes cantidades de sustancias radiactivas salieron a la atmósfera y fueron difundidas por los vientos a partes de la Unión Soviética y a varios países de Europa y del Hemisferio Norte. Dos personas murieron en el accidente y otras 29, de un total de 203 que fueron hospitalizadas, han fallecido a consecuencia de quemaduras y de la radiación recibida. La totalidad de la población que vivía dentro de un radio de 30 km alrededor de Chernobil (135,000 personas) fue evacuada. Aunque nadie de este grupo necesitó ser hospitalizado, se calcula que 170 personas morirán de cáncer a consecuencia del accidente en los próximos 70 años, un aumento de 0.6% sobre la cifra estimada de 27,000 casos mortales de cáncer por causas "naturales" en el mismo grupo de personas. Hasta aquí el accidente parece comparable a otros accidentes que ocurren con cierta frecuencia en nuestra sociedad industrial, pero hay todavía más. Los 135,000 evacuados serán sometidos, el resto de su vida, a exámenes periódicos que les harán revivir los angustiosos días del accidente y recordar que son los participantes forzados en una lotería de infortunio. Centenares de millones de personas más, en la parte europea de la Unión Soviética y en muchos países de Europa, vivieron semanas de ansiedad, en gran parte provocada por la ignorancia y demagogia de gente irresponsable. Por último, el accidente de Chernobil ocasionó la contaminación radiactiva de 3,000 km². Mucha de esta tierra permanecerá años sin poderse ocupar ni utilizar y su descontaminación, junto con el costo del "sarcófago" para encerrar a la unidad accidentada, representa un gasto de miles de millones de dólares.

A pesar de todo esto, en el mundo se siguen conectando a las redes eléctricas dos unidades nucleares nuevas por mes. Aunque el efecto político de Chernobil ha sido grande, ya hay signos de que en la mayor parte de los países los programas nucleares seguirán sin más cambios que los que la demanda eléctrica y la economía puedan aconsejar. Y es que del análisis del accidente de Chernobil se puede

concluir muy poco que sea aplicable a los otros tipos de reactores existentes fuera de la Unión Soviética.

Es en este contexto, nacional y mundial, que la primera unidad de Laguna Verde llega al final de su construcción y ante la eventualidad de su próxima entrada en operación se elevan voces en contra, muchas de ellas resultado de una preocupación comprensible.

Entre los críticos más responsables, hay clara conciencia de que no se justifica dejar de operar una planta nuclear terminada sin problemas de seguridad o de reglamentación. Eso sólo se hizo, hace años, en Austria, pero no hay en México ni el escenario ni los actores para montar una opereta política similar. Por eso se insiste en la conversión de Laguna Verde a gasoelectrica, con lo que parecería recuperarse una parte de la inversión realizada. Aún suponiendo que hubiera el gas necesario, un cálculo realista muestra que la alternativa de conservar Laguna Verde como central nuclear es con mucho la más económica, a menos que se asigne a la probabilidad de un accidente grave un valor ($\geq 10^{-2}$ por año?) que no se puede basar ni en los cálculos ni en la experiencia.

A la pretendida obsolescencia de la planta se puede enfrentar el hecho de que el modelo de Laguna Verde, un reactor BWR-5 con un contenedor Mark II, es el modelo estándar de las centrales de agua en ebullición que se construyen hoy en Japón. El problema de los residuos radiactivos es en algunas partes un problema político pero no técnico y en todo caso el plutonio es un recurso energético demasiado valioso para ser enterrado; eso sólo ocurre en los reactores nucleares naturales, como el de Oklo. El costo supuestamente astronómico del cierre definitivo y desmantelamiento de una planta nuclear no resiste una actualización a valor presente. Y así podría contestarse a muchas otras críticas y objeciones.

Lo que queda es que mucha gente, particularmente en el estado de Veracruz, vive con un miedo infundado a la planta nuclear. Y la gente tiene derecho a no tener miedo. Los errores y omisiones del pasado ya no tienen remedio, lo que procede es que opositores y partidarios de buena fe hagamos un esfuerzo de esclarecimiento y llevemos la tranquilidad al ánimo de mucha gente injustamente asustada.