

ENERGÍA NUCLEAR PARA CHILE

Entrevista a Jorge Zanelli

JORGE ZANELLI

Físico teórico, investigador del Centro de Estudios Científicos (CECs) de Valdivia. Licenciado en Física de la Universidad de Chile (1977), Ph.D. del State University of New York (1982). Autor de un centenar de artículos sobre diversos temas de física matemática, agujeros negros y teoría cuántica de campos. Consejero de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (1998-2000 y 2006-2010). Presidente del Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad (2007). Miembro del Consejo Consultivo sobre Energía Nuclear del Ministerio de Energía (2008-2010). Integrante desde 2010 del *Working Group on Energy, Inter-American Dialogue*, Washington D.C.

ENERGÍA NUCLEAR PARA CHILE

Entrevista a Jorge Zanelli

El tema de la energía nuclear ha estado en boga desde una larga data, pero realmente ¿qué es una central nuclear? ¿De qué modo la energía nuclear se puede utilizar para generar energía eléctrica?

JZ: Una central nuclear o reactor nuclear de potencia es una máquina para calentar agua. La diferencia entre un reactor y una tetera es, aparte del tamaño, la fuente de energía que utiliza. En lugar de la combustión de un gas (reacción química), lo que calienta el agua es la agitación térmica que resulta del decaimiento radiactivo de los núcleos en el “combustible” nuclear (ver recuadro). Una vez generado el vapor, este se utiliza para mover una turbina, que a su vez mueve un generador eléctrico. En esta etapa, una central nuclear funciona igual que una planta generadora a carbón o petróleo.

¿DE DÓNDE PROVIENE LA ENERGÍA NUCLEAR?

La energía nuclear proviene del enlace que mantiene juntas a las partículas que forman un núcleo atómico. Los núcleos están formados por neutrones y protones. Los protones son partículas con una carga igual en magnitud a la del electrón, pero del signo opuesto, mientras que los neutrones no tienen carga eléctrica. Un núcleo atómico es cien mil veces más pequeño que el átomo entero.

En la escuela nos enseñaron que cargas del mismo signo se repelen, lo cual plantea un paradoja: ¿Cómo es posible que los protones, que tienen carga eléctrica del mismo signo, puedan estar juntos en un mismo núcleo? La respuesta es que hay otra fuerza atractiva, millones de veces más intensa, que los mantiene unidos. Esta es la llamada *interacción fuerte*, que por suerte es de muy corto alcance y no se siente a distancias del orden del tamaño de un átomo.

Ahora, si uno consigue alejar un pedazo de núcleo del resto, a una distancia en que la atracción fuerte deje de ser importante, la enorme repulsión eléctrica dominará, con lo que los pedazos serán disparados, alejándose entre sí violentamente. La tremenda energía cinética de los pedazos es la que se transforma en calor cuando estos chocan con otros núcleos. Algunos de esos núcleos, que han sido impactados, a su vez se desintegran, lanzando más pedazos, liberando más energía. Esta *reacción en cadena* puede ser descontrolada, conduciendo a una explosión, como en una bomba atómica, o controlada, que es lo que ocurre en un reactor nuclear de potencia.

¿Cuáles pueden ser los beneficios de la energía nuclear para el desarrollo energético del país?

JZ: La experiencia internacional muestra que la energía nuclear permite producir grandes cantidades de energía de manera continua (energía eléctrica de base), utilizando instalaciones relativamente compactas, con bajo impacto ambiental, bajísima huella de CO₂ y a costos competitivos. En Chile tenemos uno de los costos de energía eléctrica más altos del mundo. Podemos discutir sobre las causas de esto, pero nos llevaría a otros

temas, como el modelo de negocio y el carácter oligopólico que se observa en el sector. Pero, independientemente de eso, nuestras fuentes primarias son limitadas: importamos prácticamente la totalidad del gas natural, el petróleo y el carbón utilizado para generación eléctrica; quedan muy pocos ríos grandes que no hayan sido embalsados aún, y los que quedan están lejos, en zonas de naturaleza prístina.

Otras fuentes primarias como la biomasa (leña, desechos orgánicos), la energía eólica, la energía solar, la geotérmica, la minihidráulica de paso y la mareomotriz, son interesantes y tienen algunas ventajas, pero también tienen grandes desventajas. La principal desventaja es que son altamente diluidas en el espacio: se requieren grandes extensiones de territorio y grandes redes de transmisión para recolectar cantidades de energía comparables con la que generaría un reactor nuclear o una central hidroeléctrica de gran escala. La otra desventaja de las fuentes de Energía Renovable No Convencional (ERNC) es su intermitencia —es imposible prever cuándo habrá viento o cuál será su intensidad—, lo cual genera inestabilidades en el suministro. Esto lleva a la necesidad de tener medios eficientes de almacenamiento de energía, y esto a su vez redundaría en impactos ambientales no deseados, costos elevados e impactos en el paisaje.

En particular, por ser Chile un país en que el sol sale y se pone al mismo tiempo en todo el territorio, hace que las fuentes solares y eólicas tengan un patrón de funcionamiento simultáneo marcado por la posición del sol y por las horas de mayor viento. Una matriz con un alto componente de ERNC haría imprescindibles las fuentes de suministro que se puedan conectar cuando fuese necesario, y eso significa contar con una matriz basada en combustibles fósiles lista para entrar en operación, lo que a su vez encarece la generación.

La electricidad generada con energía nuclear podría reemplazar a parte importante de la generación con combustibles convencionales, reduciendo nuestra huella de carbono. También la energía nuclear podría eliminar la necesidad de embalsar los ríos de la Patagonia, además de reducir nuestra dependencia de los hidrocarburos importados. La energía nuclear, en este sentido, no compite con las ERNC, puesto que son volúmenes de generación de escalas muy distintas, pero sí disputa con la generación hidráulica y a carbón la generación de base en grandes volúmenes. Esto puede servir para entender por qué no hay mayor interés en los actores de la industria generadora por el desarrollo de la energía nuclear en nuestro país.

¿Cuáles podrían ser los problemas que podría traer la instalación de centrales nucleares en Chile?

JZ: El principal peligro está en que no se haga bien. En que no se sigan las recomendaciones y protocolos que la experiencia de más de cincuenta años de operación en el mundo han hecho posibles. La tecnología nuclear es sofisticada y, si es manejada incorrectamente, puede ser peligrosa. En esto no es distinta de cualquier actividad compleja, como la industria aeronáutica, la química, la minería, la farmacéutica. Se requiere de un Estado activo y vigilante, institucionalidad regulatoria poderosa y exigente, capacidad tecnológica y cultura de seguridad, entre otras. Nada de esto es imposible de conseguir en nuestro país, pero no es algo que se pueda improvisar si un día se decide comenzar un programa nuclear de potencia.

En mi opinión, el principal peligro sería que de aquí a unos años nuestra estrechez energética nos lleve a tomar la decisión de incursionar improvisadamente en la energía nuclear de potencia. Un programa nuclear mal montado es el peor escenario.

¿Cuáles son los principales miedos que se generan ante el tema nuclear?

JZ: Los miedos más comunes son:

1. Que un reactor explote como una bomba atómica.
2. Que en un accidente la radiación emitida y las sustancias radiactivas escapen, sembrando muerte y destrucción ambiental.
3. Que los desechos radiactivos producidos en un reactor constituyan un problema de manejo por cientos de miles de años.
4. Que la radiación pueda producir defectos genéticos y malformaciones en la descendencia de la población expuesta.
5. Que el combustible nuclear sea desviado a un gobierno chiflado que lo utilice para fabricar bombas, o caiga en manos de terroristas que lo usen para hacer “bombas sucias” que dispersen sustancias radiactivas al medio ambiente.

¿Cuáles de estos miedos pueden representar una real amenaza para el país?

JZ: Ninguno. Estos miedos se originan en mitos (1 y 4), en exageraciones mediáticas (2), en ignorancia (3), o en los guiones de películas de acción (5). Hay que saber distinguir entre la percepción del riesgo y el riesgo mismo.

¿Qué evidencia existe de que algunos de estos miedos son infundados?

JZ: Aunque la materia prima del combustible nuclear también sirva para fabricar bombas, la asociación entre ambas cosas es ingenua y superficial: un reactor nuclear no puede transformarse en una bomba atómica. El combustible de un reactor no es capaz de producir una reacción en cadena lo suficientemente rápida como para involucrar una fracción importante de todo el material en una fracción de segundo como ocurre en una bomba. Las explosiones que ocurrieron en Chernobyl y Fukushima no fueron explosiones nucleares, sino químicas (incendio de grafito en el primer caso, explosión de hidrógeno en el segundo).

Es cierto que el combustible gastado es rico en radioisótopos que son tóxicos, que pueden emitir radiaciones ionizantes por millones de años, y que si entran en contacto con seres vivos pueden producir cáncer. Todo esto da la idea de algo terriblemente peligroso, lo cual es alimentado por el folklore, como en la serie *Los Simpson* y que, comprensiblemente, genera una intensa percepción de riesgo en la población. Sin embargo, más allá de las emociones, los hechos son diferentes.

El ejemplo de Fukushima es elocuente, donde la radiación nuclear, con un impacto insignificante sobre la salud pública, produce una gran alharaca en los medios. Un devastador tsunami deja más de 18.000 muertos y desaparecidos, 380.000 edificios colapsados, cientos de miles de personas damnificadas, pasando frío y hambre, pero la prensa se concentra en la radiación proveniente de la central nuclear donde nadie ha muerto. A

dos semanas del accidente, los especialistas en energía nuclear, como el profesor Wade Allison de la Universidad de Oxford, señalaban que era improbable que alguien muriera y, sin embargo, el accidente de esa central siguió llenando las primeras páginas de los periódicos y ocupó gran parte de los noticieros en todo el mundo durante varios meses.

Existen reactores generando electricidad desde fines de la década del 50, y es posible contabilizar todos los accidentes y fatalidades que han ocurrido, incluidos los accidentes emblemáticos de Three Mile Island, Chernobyl y Fukushima. Estos datos se encuentran en publicaciones de instituciones que calculan riesgos de accidentes y sus impactos, como el Paul Scherrer Institute. De ellos, se concluye que para una misma cantidad de electricidad generada, la generación a carbón es unas trescientas veces más peligrosa que hacerla con una central nuclear, medido por la cantidad de accidentes y fatalidades de cada opción¹. Lo que ocurre es que un accidente en una central a carbón se considera un evento industrial sin relevancia y no es noticia, mientras que un accidente en una central nuclear, por mínimo que sea, vende periódicos y llena noticieros.

También se especula sobre siniestros efectos de la radiación a largo plazo: millones de personas con riesgo de cáncer y miles de casos de malformaciones congénitas, producto de la ingesta de alimentos o agua contaminada. Según el Comité Científico de Naciones Unidas sobre Efectos de la Radiación (UNSCEAR), la radiación emanada y la dispersión de material contaminado podrían producir unos treinta y cinco casos de muerte por cáncer en una población de 300.000 habitantes. Esto es insignificante frente a las 60.000 muertes por cáncer que, estadísticamente, se producen en esa misma población aunque no hubiese ocurrido el accidente nuclear. Por cierto que cada una de esas muertes es una tragedia, pero como política pública es más importante preocuparse por las miles de muertes por otras causas, tales como la contaminación por emisiones de las centrales generadoras a carbón.

Cuando se piensa en los peligros de la energía nuclear, generalmente se ignoran sus beneficios y los efectos nocivos de las alternativas. Recientemente, dos investigadores de la NASA publicaron un estudio en que calculan que el uso de energía nuclear ha evitado alrededor de 1,8 millones de muertes relacionadas con la contaminación atmosférica, así como la emisión de unas 64.000 millones de toneladas de CO₂eq, que habrían resultado de quemar combustibles fósiles para producir la misma electricidad (Kharecha y Hansen, 2013). Si realmente nos interesara la salud y la vida, tendríamos un resultado trescientas veces más seguro si optáramos por la energía nuclear que por continuar construyendo nuestra matriz en base a carbón.

Luego de la falla en la central nuclear de Fukushima con el terremoto y tsunami del año 2011, nace naturalmente la comparación con nuestro país. ¿Cómo se puede generar confianza con el tema nuclear en los ciudadanos que conocen los antecedentes de Japón?

JZ: Mucho me temo que la mayor parte del público no conoce realmente lo que sucedió el 2011 en el terremoto de Japón. Lo que la gente recuerda es una cosa vaga y confusa

1. La generación a carbón produce un promedio de 0,876 fatalidades por GWE al año, contra 0,003 de la energía nuclear. Aquí se consideran todos los accidentes, incluidos los de Three-Mile Island, Chernobyl y Fukushima (Burgherr y Hirschberg, 2008).

relacionada con un reactor que explotó y donde murió mucha gente. De manera que lo primero, para generar confianza, es informar con un lenguaje sencillo pero preciso, con cifras claras y no solo con ideas cualitativas. Además, hay que hacerse cargo de las preguntas, respondiendo, discutiendo, educando, sin subestimar la curiosidad y la necesidad de saber de los ciudadanos. Es necesario que las instituciones responsables de las instalaciones, los reguladores y los fiscalizadores sean totalmente transparentes. Esa tarea en la actualidad la cumple la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChEN).

Por supuesto que no todo es relaciones públicas. La capacidad técnica y el rigor de los agentes involucrados –estatales o privados– deben ser los que exijan los estándares de la industria en todo el mundo. En esto, la industria nuclear se parece mucho a la industria del transporte aéreo, no es algo que se pueda hacer precariamente o sin rigor.

¿Cómo se garantizaría la integridad de una planta nuclear en un país sísmico como Chile?

JZ: De la misma manera que debió haberse hecho en Fukushima, si se hubieran seguido las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). Nadie puede asegurar que un terremoto grado 10 no va a ocurrir, pero si llegara a ocurrir, se deberían tomar los resguardos básicos tales como que las plantas de emergencia no estén expuestas a un tsunami. Además, para bajar el riesgo sísmico, debería conocerse mejor la estructura de fallas de nuestro territorio, a fin de evitar la instalación de grandes complejos industriales sobre una falla geológica activa, por ejemplo. Esa información detallada en este momento no existe en Chile.

Los residuos de las plantas nucleares son peligrosos y difíciles de eliminar. ¿Cómo Chile podría hacerse cargo de este tipo de basura nuclear? ¿Cuenta con la capacidad tecnológica, técnica y espacial para tener un depósito de residuos nucleares? ¿Cómo se garantiza a los sectores aledaños a un centro de residuos nucleares que eso no será perjudicial para la salud de quienes habitan ahí?

JZ: Hay muchos mitos respecto a la peligrosidad de los desechos y al problema de su manejo. Por ejemplo, los isótopos con vida media larga (miles de años o más) tienen una vida media larga precisamente porque decaen lentamente, y por eso mismo son menos radiactivos que los de vida media corta, que decaen muy rápido, son más radiactivos y viven menos. Esto significa que, para evitar las radiaciones más peligrosas, es necesario protegerse muy bien de los isótopos de vida media corta durante su corta vida, mientras que el blindaje de los de vida media larga no presenta mayor dificultad ya que son poco activos: El problema puede ser grave, pero por corto tiempo; o de larga duración, pero de menor gravedad. Esto no significa que el problema no exista, pero es un asunto bien entendido y tecnológicamente abordable. La tecnología está disponible para el manejo seguro de los residuos y no es necesario inventar la rueda en esto.

Por otra parte, el volumen de los desechos mismos es bastante modesto. Si toda nuestra electricidad fuese generada con energía nuclear, los desechos producidos por toda la electricidad consumida por una persona en toda su vida (70 años) pesarían alrededor de un kilo y cabrían en una lata de cerveza. ¿Cómo puede ser? La clave está en la enorme densidad energética del combustible nuclear. Para entender esto basta comparar la cantidad de energía que se puede extraer de 1 kg de diversas fuentes:

Material	Energía por kilo
Carbón	3 kWh
Petróleo	4 kWh
Gas Natural	6 kWh
Uranio Natural	50.000 kWh
Combustible de reactor	250.000 kWh

Como, además, el uranio es unas treinta veces más denso que el carbón, esto hace que, para generar la misma cantidad de energía eléctrica, el combustible nuclear ocupe un volumen cientos de miles de veces menor.

El terror a las radiaciones provenientes de un reactor es absurdamente exagerado, mientras que la misma radiación recibida en una tomografía o en una cintigrafía es vista como beneficiosa. El nivel radiactivo en un galpón de almacenamiento de combustible quemado en una central nuclear es tan bajo que habría que permanecer allí durante unos 1.500 años para alcanzar la misma dosis que recibe el tejido sano de un paciente de radioterapia en un solo día.

¿Cómo se aborda el tema de la seguridad nuclear derivado de la utilización de esta tecnología: proliferación de uranio y su potencial uso en armamento?

JZ: Este temor es un resabio de la Guerra Fría, cuando se sospechaba que algunos países podían estar acopiando uranio para producir bombas como las grandes potencias del primer mundo. Ocurre que el uranio es la materia prima, pero el proceso industrial para producir uranio enriquecido es de un costo tan alto que solamente se justifica en países que tengan una gran demanda de combustible para reactores, o una industria bélica masiva. Por otra parte, la tecnología necesaria para fabricar una bomba es tan sofisticada que aunque se sepa en principio en qué consiste, no es un proyecto que valga la pena para un país normal. La alternativa es que un país hipoteque su futuro y mantenga a su pueblo en la miseria, como Corea del Norte, intentando llevar a cabo el delirio de un proyecto nuclear bélico.

Actualmente, el uranio se comercia libremente en la bolsa de metales de Londres, al igual que otros minerales. Sin embargo, las grandes potencias y la IAEA mantienen un control estricto de los inventarios y las transacciones a fin de monitorear cualquier posible desvío hacia usos ilícitos.

Las plantas nucleares funcionan a base de uranio enriquecido, el cual debe pasar por una serie de procesos que solo se efectúan en una decena de países. Ante este escenario, ¿cómo se garantiza el suministro de uranio enriquecido necesario para operar las plantas? Es un combustible no renovable, con una demanda creciente, ¿existen reservas para responder a estas demandas? ¿Chile es capaz de hacerse cargo del costo que implica la compra de este elemento químico?

JZ: Es cierto que muy pocos países fabrican combustible para reactores. Pero eso también ocurre con muchos otros productos tecnológicos, como las turbinas de aviones, los computadores, las fibras ópticas, ciertos fármacos, semillas, pesticidas, herramientas de precisión, y muchos más. Se puede especular que, al tener que depender de un

proveedor, seríamos sus rehenes, puesto que nuestra capacidad generadora dependería de aquel. Hay que entender que se trata de una actividad comercial, en que el proveedor se beneficia y no está haciendo lo suyo por caridad o por interés político. Además, el contar con una fuente más para generar electricidad en ningún caso aumenta esa dependencia, sino por el contrario, nos ofrece una alternativa más de generación.

La cuestión de las reservas es, al igual que con el petróleo, una cuestión de costos. Ciertamente, el uranio barato de fácil extracción se agotará antes, pero se estima que a la tasa actual de consumo y crecimiento hay reservas probadas para muchas décadas. Claro que estas proyecciones dependen del crecimiento de la demanda, la identificación de nuevos yacimientos y de los avances tecnológicos que permitan usar más eficientemente el combustible nuclear. En este último punto hay mucho espacio para mejorar la eficiencia de la industria nuclear. Sucede que del combustible que entra a un reactor se utiliza solo alrededor de un 3%. El combustible quemado contiene aún, prácticamente, la misma cantidad de uranio enriquecido que el combustible fresco, pero el problema es que las barras de combustible van acumulando otros elementos que disminuyen la radiactividad y reducen la capacidad del combustible de llegar a una reacción de combustión sostenida.

En cuanto al costo del combustible, la experiencia mundial muestra que la generación por energía nuclear tiene un costo comparable con la generación a carbón. Además, el costo de generación está dado en gran medida por el costo de construcción del reactor, y en forma marginal por el valor del combustible. De hecho, el costo final de la electricidad depende entre 5% y 10% del precio del uranio en los mercados.

Ante la legislación y la política, con respecto a la energía en Chile, ¿cómo podría la energía nuclear hacerse parte de un sistema interconectado central de energía? ¿Cuáles tendrían que ser las medidas políticas y legislativas para poder implementar la energía nuclear en el país?

JZ: Aquí hay un largo camino que recorrer. Es necesario mejorar la institucionalidad regulatoria, separando la facultad fiscalizadora de la función operadora que actualmente coexisten en la CChEN. Probablemente, será necesario adecuar la legislación ambiental, sanitaria, de emergencia, de planificación territorial, de compensación con las comunidades, entre otras. Además, posiblemente haya que adecuar la legislación que regula el mercado eléctrico. Además de otras modificaciones técnicas, como la interconexión entre el Sistema Interconectado Central (SIC) y el del Norte Grande (SING), que es donde hay una fuerte demanda en expansión.

De hacerse posible este proyecto, ¿de qué modo puede financiarse esta inversión?

JZ: No tengo idea de cuáles serían las mejores opciones de negocio en torno a la energía nuclear en nuestro país. Hay países donde ha sido el Estado el principal impulsor e inversionista (Francia), otros donde el negocio es totalmente privado y el Estado solamente regula y fiscaliza (USA, Japón). Hay otros países donde el dueño de la industria es un consorcio de grandes consumidores (Finlandia). En Chile, este debate aún no se ha dado.

Pero, a mi juicio, más importante que el financiamiento, la viabilidad de un proyecto nuclear de potencia depende de la aceptación social que concite. Si la ciudadanía no

está de acuerdo con el proyecto, me parece que no tendría sentido imponerlo a la fuerza solo porque es un buen negocio, o porque le da estabilidad a la economía, ni siquiera se debería imponer aunque, de esa manera, redujeramos la huella de carbono o tuviéramos un medio ambiente menos contaminado.

Soy un convencido de las bondades que tendría un proyecto de este tipo para nuestra sociedad. Nos obligaría a superar una serie de deficiencias en distintos niveles, y el solo desafío de montar un programa de este tipo nos obligaría a crecer como sociedad. Pero esto tiene que ser reconocido y acogido por los ciudadanos y, en esto, las instituciones de educación de gran prestigio y reconocimiento como las universidades tienen un gran rol que cumplir. No solo para formar a los profesionales y técnicos necesarios para el proyecto, sino, y sobre todo, para debatir en forma racional y en profundidad todos los alcances de este desafío.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgherr, P., Hirschberg, S., “Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector”, en International Disaster and Risk Conference (IDRC 25), Davos, Suiza, 29 agosto 2008.
- Kharecha, P.A., Hansen, J.E., “Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power”, en *Environmental, Science and Technology*, Vol. 47, 2013, pp. 6718-6719.