



Marina Núñez. *Ciudad fin* (detalle), 2009. Infografía y pintura fluorescente sobre lienzo, luz negra, 56,7 x 3,60 metros. Producido por MUSAC, León.

NUCLEAR: ¿QUÉ MIEDO?

LOS RIESGOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Jesús Navarro y José L. Taín

Nuclear: What Fear? Risks of Nuclear Energy

The risk of nuclear accidents, radioactive waste and nuclear proliferation have made words like *nuclear* or *radiation* stir up fear in certain sectors of society, not always on a sound basis. This article briefly examines these issues and makes some general remarks on nuclear power plants.

Según el diccionario Alcover-Moll, el miedo es un «turbamiento del ánimo ante un peligro real o imaginario». ¿El miedo que suscitan en ciertos sectores de la sociedad palabras como *nuclear* o *radiaciones* es siempre debido a un peligro real? La resonancia magnética es un instrumento fundamental en el diagnóstico médico que permite obtener imágenes detalladas y fiables del interior de nuestro cuerpo. Entre los científicos, esta técnica se llama «resonancia magnética nuclear», pero cuando en 1983 fue adoptada y recomendada por el American College of Radiology el adjetivo desapareció, a pesar de que no implique ni radiactividad ni radiaciones ionizantes. El accidente de la central nuclear de Three Mile Island (Pensilvania, EE UU) estaba aún presente en la memoria colectiva, y los radiólogos no quisieron turbar el ánimo de los pacientes ante un peligro imaginario. Remitimos a los lectores al monográfico que MÉTODE dedicó a las radiaciones (57). Son una herramienta imprescindible en la investigación científica, técnica o artística, y también son esenciales en campos como el diagnóstico y la terapia del cáncer. Con isótopos radiactivos se pueden localizar con precisión tumores cancerosos, que también pueden ser eliminados con isótopos radiactivos. En Canadá se ha parado un reactor nuclear dedicado a la producción de radioisótopos de uso médico. La campaña contraria a sustituirlo por un reactor moderno puede llevar a una disminución de ciertos radioisótopos a escala mundial. Y no parece que este rechazo pueda ser cambiado con la supresión de un adjetivo.

Tanto la experiencia traumática de Hiroshima y de Nagasaki como los riesgos que se asocian con las

centrales nucleares se encuentran en el origen de la percepción negativa asociada con lo nuclear. Se evoca sobre todo la posibilidad de accidentes como el de Chernóbil, y la posible contaminación de los residuos radiactivos producidos en los reactores. También existe el riesgo de que la tecnología y el combustible destinados en principio a una central nuclear puedan ser utilizados con finalidad militar. Veamos brevemente estos riesgos antes de hacer alguna consideración sobre el futuro de la energía nuclear.

■ LAS AUTÉNTICAS ARMAS DE DESTRUCCIÓN MASIVA

En 1939, prácticamente en el mismo momento en que se descubrió e interpretó el fenómeno de la fisión nuclear, se vislumbró su terrible potencial de destrucción. En aquellos momentos se gestaba la Segunda Guerra Mundial y los estudios sobre la fisión se orientaron hacia la fabricación de una bomba. Hacia el final de la guerra los alemanes estaban todavía lejos de alcanzar un diseño práctico, pero en EE UU el proyecto Manhattan culminó, a principios de agosto de 1945, con el lanzamiento de dos bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki

que causaron más de 250.000 víctimas mortales. Contrariamente a lo que a menudo se dice, la mayoría de estas muertes no se debieron a la radiactividad. Unos meses antes miles de aviones habían bombardeado con miles de toneladas de explosivos convencionales las ciudades de Dresde y de Tokio y produjeron la muerte de decenas de miles de personas. La mayoría de muertes causadas en estas cuatro ciudades se debieron a los fuegos y a las ondas

**«TANTO LA EXPERIENCIA
TRAUMÁTICA DE HIROSHIMA
Y DE NAGASAKI COMO
LOS RIESGOS QUE SE
ASOCIAN CON LAS
CENTRALES NUCLEARES
SE ENCUENTRAN EN EL
ORIGEN DE LA PERCEPCIÓN
NEGATIVA ASOCIADA CON
LO NUCLEAR»**



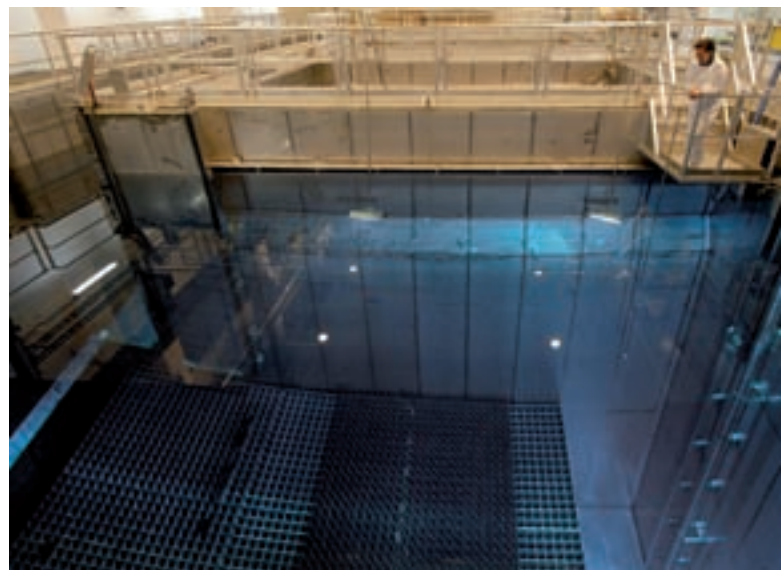
de choque generadas en las explosiones. En Hiroshima y Nagasaki las enormes dosis de radiactividad motivaron la aparición a largo plazo de varios tipos de cáncer. Los estudios epidemiológicos entre los supervivientes indican que solamente un 5% del total de muertos por cáncer tiene relación con la irradiación recibida. Naturalmente, que la incidencia sea más baja de lo que se suele decir no disminuye la importancia ni la tragedia de los bombardeos.

Durante los años de la guerra fría se ha estado muy cerca de repetir la nefasta experiencia a escala planetaria. Los EEUU y la URSS iniciaron una carrera en la que han conseguido acumular un arsenal nuclear suficiente para destruirse unas cuantas veces el uno al otro. En la actualidad poseen armamento nuclear los EEUU, Rusia, Gran Bretaña, China, Francia, Israel, la India, Pakistán y Corea del Norte. El Tratado de No Proliferación, firmado por 189 países, intenta restringir el acceso al club nuclear y establecer controles para evitar pasar del uso pacífico de la energía nuclear a la fabricación de armamento. Este paso no es sencillo, pero tampoco imposible, como ya han demostrado los últimos cuatro miembros del club. La mayoría de países adquiere para sus centrales uranio enriquecido alrededor de un 3% en su isótopo U-235, que es más fácilmente fisiónable. Básicamente la tecnología de enriquecimiento es un proceso de centrifugación a altas velocidades de un gas. El hecho de que el gobierno iraní se haya dotado de esta tecnología suscita una gran inquietud, porque estará en disposición de enriquecer el uranio hasta proporciones de uso militar, paso previo para fabricar una bomba atómica. Este es un peligro muy real: a pesar de la teoría de la disuasión, cuantos más países posean armas nucleares más aumenta el riesgo de que sean utilizadas en un conflicto.

■ LOS ACCIDENTES EN LAS CENTRALES NUCLEARES

Las centrales nucleares son sistemas industriales muy seguros en comparación con cualquier otro, pero eso no significa que no puedan producirse accidentes. El más grave ocurrió en 1986 en Chernóbil, en Ucrania, cerca de la frontera con Bielorrusia. Por su importancia ha tenido un gran impacto mediático y conviene dar ahora algunas cifras. Por iniciativa de los tres países afectados (Ucrania, Bielorrusia y Rusia), y de varias organizaciones internacionales se constituyó el Foro de Chernóbil, un grupo de expertos que periódicamente revisa los estudios realizados sobre las consecuencias del accidente y publica sus conclusiones.

Las mayores dosis de irradiación fueron recibidas por el personal de la central y por el millar de personas que intervinieron para controlar el accidente, los «liquidadores». Se han diagnosticado 134 casos con síndrome de



«EL GRAN PROBLEMA ES QUÉ HACER CON LOS RESIDUOS RADIATIVOS. LA MAYORÍA DE PAÍSES DEPOSITAN EN LUGARES ESPECIALES LOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD GENERADOS EN CENTRALES, HOSPITALES E INDUSTRIAS»

irradiación aguda, entre los que ha habido 40 muertos. Los liquidadores que actuaron a partir del cuarto día recibieron dosis equivalentes a entre 100 y 500 milisieverts (mSv). Para poder apreciar estos valores hay que recordar que, a causa de la radiactividad natural, recibimos entre 1 y 10 mSv anuales, en función de la región geográfica donde nos encontremos; se recomienda que una persona no reciba sin necesidad una dosis superior a 1 mSv por otras causas. Los expertos han analizado la incidencia del cáncer entre el personal de la central, los liquidadores, las personas evacuadas de zonas vecinas y los residentes de las zonas más contaminadas, en total, unas 600.000 personas. Se estima que, del número total de muertos por cáncer en este sector de población, un 4% lo será por culpa del accidente. La estimación es más difícil por lo que respecta a los 5 millones de habitantes de las zonas próximas, sometidos a una dosis media de entre 10 y 20 mSv. Sin embargo hay datos claros referidos a los cánceres de tiroides: hasta 2002 se han diagnosticado más de 4.000 casos entre niños y adolescentes con edades inferiores a los dieciocho años, entre los que se han contabilizado quince muertes. Como el cáncer de tiroides es poco usual en esta franja de población, no cabe



© Teollisuuden Voima Oyj



© Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval

A la izquierda, piscina de enfriamiento en Olkiluoto, Finlandia. Arriba, un almacén de residuos nucleares en Habog, Holanda. En estos dos países se ha iniciado la construcción de depósitos permanentes para sus residuos nucleares. Gobiernos y compañías eléctricas de otros países organizan visitas de poblaciones susceptibles de acoger instalaciones semejantes.

duda sobre su origen. En total este accidente produjo un total de 57 víctimas mortales. Los medios han hablado –y todavía hablan– de decenas de miles de muertos, ilustrando así que la imaginación del horror puede superar el propio horror. No pretendemos minimizar los efectos de las radiaciones, ni tampoco establecer comparaciones siniestras con diferentes tipos de accidentes. Queremos señalar que, a nuestro parecer, no tiene crédito una oposición a las centrales nucleares que añade ceros al número de víctimas para aumentar el miedo. El mayor problema

creado por este accidente ha sido, y lo continúa siendo, el impacto sobre la vida de un gran sector de población, con todos los efectos relacionados como estrés, depresión, ansiedad y otros síntomas indefinidos.

El accidente se produjo en el momento de efectuar unos controles en uno de los cuatro reactores de la central. Cuando ya se había iniciado la disminución de potencia del reactor, llegó la orden de conectarlo rápidamente a la red eléctrica. La central dependía de diversas administraciones, no siempre coordinadas. Un reactor tiene una gran inercia, y las prisas provocaron una serie de errores humanos acumulativos. Una explosión rompió el vaso del reactor, se produjo un incendio y durante diez días una gran cantidad de productos radiactivos fue lanzada a la atmósfera. El reactor era de diseño antiguo, con una moderación de neutrones poco eficaz y, sobre todo, sin un recinto de seguridad capaz de confinar posibles fugas, recinto que habría evitado el escape a la atmósfera. Estos aspectos técnicos se resolvieron en los reactores de generaciones posteriores, pero el riesgo de falibilidad humana no depende de la técnica y requiere una atención constante.

■ LOS RESIDUOS

En un reactor nuclear típico de 1 GW de potencia se utilizan por año unas 24 toneladas de uranio enriquecido

LA FISIÓN DEL URANIO Y LA ENERGÍA NUCLEAR

El uranio natural contiene un 99,3% del isótopo U-238, un 0,7% de U-235 y trazas del U-234. El isótopo que interesa para la fisión nuclear es el segundo. Cuando un núcleo de U-235 captura un neutrón de baja energía se fisiona, generalmente en dos núcleos más ligeros, y entonces emite de 2 a 3 neutrones y una cantidad considerable de energía. Por ejemplo, puede escindirse en Xe-140, Sr-94 y dos neutrones, liberando una energía de 200 MeV. Esta energía equivale a la que se libera en la combustión de 33 millones de átomos de carbono.

Si se frenan adecuadamente, cada neutrón emitido puede romper otro núcleo de U-235, y si se dispone de una masa suficiente de este isótopo (superior a la «masa crítica») se puede llegar a producir una reacción en cadena. En diciembre de 1942 el equipo de Enrico Fermi demostró la viabilidad de la producción nuclear de energía, haciendo funcionar el primer reactor nuclear del mundo en la Universidad de Chicago. Fue el paso previo para producir una bomba nuclear de fisión, que por razones históricas se continúa llamando bomba atómica. Un reactor nuclear está diseñado de

manera que solamente uno de los neutrones emitidos produce una nueva fisión; se llega así a un proceso estable con liberación de energía continuo y regulable. Por el contrario, el diseño de una bomba atómica busca alcanzar un proceso exponencial, que libere mucha energía en poco tiempo. Pero en ambos casos se debe utilizar uranio enriquecido en el isótopo fisible, alrededor de un 3% para un reactor y en más de un 70% para una bomba.

El isótopo U-238, el más abundante, no se fisiona fácilmente, pero representa también un papel relevante en esta historia. La absorción de un neutrón puede transformarlo en un isótopo del plutonio, el Pu-239, que comparte con el U-235 la posibilidad de ser fisiónable por neutrones y puede ser utilizado como combustible de una central nuclear o para construir una arma nuclear. Las bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki contenían, respectivamente, 60 kg de U-235 y 7 kg de Pu-239, valores ligeramente superiores a las masas críticas de estos isótopos.

J. N. y J. L. T.





Las razones para instalar o no centrales nucleares en un país son económicas y políticas. Inevitablemente confluyen argumentos e intereses confrontados. Arriba, una protesta por la decisión del Gobierno de cerrar la central nuclear de Garoña, en Burgos. A la derecha, manifestación de Greenpeace a las puertas de la central nuclear de Vandellòs, en Tarragona.

y se extraen cerca de 23 de uranio con 0,9% de U-235, unos 240 kg de plutonio y unos 800 kg de otros isótopos radiactivos, con semividas que varían de unos instantes a unos millones de años. Todo este combustible utilizado se mantiene durante unos años en piscinas especiales en la propia central, para enfriarlo y para que desaparezcan los isótopos de semividas más cortas. El gran problema, que a nuestro parecer aún no se ha resuelto satisfactoriamente, es qué hacer con los residuos radiactivos. La mayoría de países depositan en lugares especiales los de baja y media actividad generados en centrales, hospitales e industrias. Se introducen en contenedores apropiados, que son almacenados en centros situados en superficie o a poca profundidad. El Cabril, en Córdoba, recibe las 2.000 toneladas anuales de residuos generados en España, con semividas inferiores a treinta años. Pero las centrales españolas también producen unas 160 toneladas anuales de residuos de alta actividad, y hacen falta miles de años para que la radiactividad baje al nivel del mineral inicial. Se deben garantizar las condiciones de seguridad convenientes durante todo este tiempo.

En los EE UU se prevé hacer como con los residuos de baja y media actividad, pero disponiéndolos a gran pro-

«LOS RESIDUOS SON EL PUNTO DÉBIL DE LAS CENTRALES, PERO TIENEN LA VENTAJA DE ESTAR LOCALIZADOS Y CONTROLADOS, A DIFERENCIA DE LO QUE PASA CON LOS RESIDUOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES, QUE SE EMITEN LIBREMENTE»

fundidad en zonas geológicamente estables. La solución iniciada por Francia, y adoptada por otros países, consiste en procesar primero los residuos para extraer el uranio y el plutonio, que son utilizados como nuevo combustible. Los residuos restantes, que ocupan un volumen mucho menor, son vitrificados para evitar problemas químicos o de corrosión. Es una opción cada vez más extendida, pero algunos no son favorables a ella por el riesgo de proliferación nuclear. Un país podría obtener material fisible de uso militar a partir del procesamiento del combustible utilizado. No es un paso inmediato ni sencillo, pero tampoco imposible. Existe una tercera opción, todavía en fase de investigación, basada en el uso de reactores especialmente diseñados por transmutar los isótopos de los combustibles utilizados. Como resultado habría un menor volumen de residuos y se facilitaría el almacenamiento. Además, como están formados por isótopos de semividas mucho más cortas, se volvería al nivel de la radiactividad natural en unos centenares de años.

En España los residuos se conservan en las piscinas de las centrales, a la espera de una solución definitiva que tarda en llegar. No es rentable en términos electo-





© Greenpeace

rales, porque la población rechaza los residuos en su término municipal, y aún más si son nucleares. Pero es una cuestión que hay que afrontar, y cuanto más pronto mejor, independientemente de la decisión que se tome: mantener las centrales, cerrarlas o construir otras.

■ ¿NUCLEAR: NO GRACIAS? O ¡SÍ, POR FAVOR!

En la actualidad treinta y un países producen electricidad a partir de las 439 centrales nucleares activas, la mitad de las cuales se encuentran en Europa. El país más nuclearizado en este sentido es Francia, que con sus 58 centrales nucleares produce el 78% de su electricidad. En España, 8 centrales (7 en 2013, según los planes actuales) proveen alrededor del 20% de la energía eléctrica utilizada. Como es evidente, las razones para instalar o no centrales nucleares en un país son económicas y políticas. Los altos precios del petróleo en los años setenta del siglo pasado llevaron a varios países a construir otras nuevas. En la década siguiente, la bajada de precios, algunos accidentes de importancia y las campañas en contra frenaron la construcción de centrales. En España y en Alemania existe una moratoria nuclear, en Italia fueron prohibidas, en Suecia se decidió en referéndum cerrarlas en el 2010. Ahora parece que el péndulo ha cambiado de sentido: dos tercios de los suecos son favorables a mantenerlas y renovarlas, y en Italia se ha levantado la prohibición. En el mundo hay unas cuarenta centrales en construcción, la mayoría en China, y unas doscientas en proyecto.

El debate nuclear se transforma a menudo en una *batala a toda ultranza* donde cualquier argumento es váli-

do para aniquilar al adversario, cuando sería conveniente un debate más *laico*. A favor de mantener y aumentar el número de centrales nucleares se invocan argumentos como el incremento de la demanda mundial de energía, la necesidad de controlar y reducir la emisión de gases de efecto invernadero –en particular de CO₂–, el agotamiento de las fuentes fósiles o el bajo precio de la energía nuclear comparada con otras fuentes (pero los consumidores pagamos la electricidad al precio de la fuente más cara: son las llamadas «leyes del mercado»). Sólo la sexta parte de la población mundial tiene acceso fácil a los recursos energéticos, tan fácil que en los países más ricos se practica un consumo excesivo. Pero China y la India, con el 40% de la población mundial, están aumentando de manera exponencial la demanda energética, básicamente cubierta con fuentes que producen CO₂ masivamente. Las energías renovables no podrán garantizarla, excepto que un descubrimiento científico o una innovación técnica revolucionaria modifique sustancialmente el rendimiento. Las empresas productoras españolas de electricidad prevén diversificar las fuentes, y utilizar nucleares, renovables y gas/carbón a partes iguales de aquí a veinte años, lo que quiere decir construir nuevas centrales nucleares. El debate nuclear está, pues, condicionado por el futuro de las fuentes de energía a escala planetaria.

Los residuos son el punto débil de las centrales, pero tienen la ventaja de estar localizados y controlados, a diferencia de lo que pasa en otros casos. Los residuos de los combustibles fósiles se emiten libremente, con los isótopos radiactivos que contienen, a la atmósfera y acaban repartidos por todo el planeta. Pero últimamente las centrales de Cofrentes, Vandellòs y Ascó han sido noticia por los incidentes que han tenido lugar en ellas. Parece que, para reducir costes, se tiende a subcontratar muchas tareas. Lamentablemente, el personal de las subcontratas no tiene la misma experiencia que el que trabaja desde hace tiempo en una central, factor importante a la hora de abordar imprevistos. Los errores humanos son motivo de la mayoría de incidentes. Es inquietante que directivos y propietarios siempre quieran silenciarlos y minimizarlos y ciertamente ello provoca turbamientos del ánimo en mucha gente. ☹

BIBLIOGRAFÍA

- EPS, 2009. *European Physical Society*. EPS. Mulhouse. Disponible en: <<http://www.eps.org/about-us/position-papers>>.
 GÓMEZ-CADENAS, J. J., 2009. *El ecologista nuclear*. Espasa-Calpe. Madrid.
 JAMINON, M. y J. NAVARRO, 2009. *Las radiaciones: beneficiosas, letales, misteriosas...* Nivola. Tres Cantos.
 LOZANO LEYVA, M., 2009. *Nucleares, ¿por qué no?* Debate. Barcelona.
 NAVARRO, J. y M. RAPECAS (coord.), 2008. «Radiacions. Una mirada pluridisciplinar». *Mètode*, 57: 64-131.

Jesús Navarro y José L. Tain. Instituto de Física Corpuscular (IFIC). Centro mixto CSIC-Universitat de Valencia.

