

# Sobre la viabilidad de la energía nuclear

## Implicaciones de los accidentes de Fukushima-Daiichi



Central nuclear de Fukushima-Daiichi, 16 de marzo de 2011  
(Fuente: Digital Globe)

François Diaz Maurin\*

### INTRODUCCIÓN

Los accidentes en la central nuclear de Fukushima-Daiichi como consecuencia de desastres naturales —el terremoto y el posterior tsunami— ponen en cuestión si la energía nuclear es verdaderamente segura y, por lo tanto, si representa realmente una alternativa viable como fuente de energía. A pesar de las advertencias sobre la «vulnerabilidad fundamental de las centrales nucleares» en Japón en caso de terremotos (Katsuhiko, 2007), no se habían tomado todas las medidas para prevenir que aconteciese un desastre nuclear en Fukushima. Intentaré demostrar aquí que tal cosa no es debida a una falta de voluntad, sino que se debe a un problema sistémico que afecta a esta industria y que le impide aprender las lecciones del pasado.

### 1. ¿ES VERDADERAMENTE «SEGURA» LA ENERGÍA NUCLEAR?

Los inicios del enfoque probabilista para la evaluación de riesgos en el diseño de reactores nucleares se atribuyen

con frecuencia a Norman C. Rasmussen, un antiguo profesor de ingeniería nuclear del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). En 1975, dirigió la publicación del informe WASH-1400 para la Comisión Reguladora Nuclear, también conocido como el «Informe Rasmussen» (US NRC, 1975), como resultado de anteriores discusiones teóricas sobre el modo de integrar la incertidumbre y el riesgo en el diseño de centrales nucleares. El informe mereció la atención de todo el mundo, pues establecía la disciplina formal de la PRA (Evaluación Probabilista de Riesgos), cuyos métodos son actualmente de uso habitual para la evaluación de riesgos en las centrales nucleares. Según el Informe Rasmussen, el riesgo de un fallo en una central nuclear era bajo, con la posibilidad

---

\* ICTA, Universitat Autònoma de Barcelona (Francois.Diaz@uab.cat). François Diaz Maurin ha trabajado como ingeniero para las industrias nucleares francesa y estadounidense, centrándose en el desarrollo de nuevos diseños de centrales nucleares. Actualmente está haciendo un doctorado sobre energía y sociedad con el Dr. Mario Giampietro en el Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, instituto perteneciente a la Universitat Autònoma de Barcelona.

de que hubiese un accidente en el núcleo del reactor una vez cada 20.000 años de operación en EE UU; un reactor funcionando durante un año equivale a un año de experiencia operativa (Wald, 2003). Pero en 1979, sólo cuatro años después de la publicación del Informe Rasmussen, el reactor dos de Three Mile Island, en Pennsylvania, sufrió una fusión parcial de su núcleo; cuando la industria nuclear en este país llevaba menos de 50 años de experiencia operativa. Un nuevo estudio solicitado por la Comisión Reguladora Nuclear reevaluó los riesgos y calculó una fusión accidental cada 1.000 años de experiencia operativa; veinte veces más frecuente que en el Informe Rasmussen. Había sido esta la primera «lección aprendida» que permitiría *mejorar* el diseño de centrales nucleares basado en la PRA.

Actualmente, con un parque operativo de unos 440 reactores nucleares en todo el mundo, se calcula que un accidente en el núcleo puede suceder cada 45 años, o hasta algo más de 100 años, según los actuales análisis de PRA (Díaz Maurin, 2011). No obstante, con los tres recientes accidentes de daños en el núcleo de los reactores 1, 2 y 3 de Fukushima-Daiichi, sumados al de Three Mile Island en 1979 y al de Chernóbil en 1986, esto nos da un resultado de cinco accidentes graves en menos de 40 años. De hecho, un accidente en el núcleo de un reactor sucede, en promedio, cada ocho años en el mundo desde 1970; esta fecha corresponde al comienzo de la puesta en funcionamiento de los reactores nucleares de segunda generación (hoy quedan muy pocos reactores de primera generación en funcionamiento). Esto demuestra que la cuestión de si la energía nuclear es «segura» depende de *a quién* se lo preguntemos. Sin duda, si le preguntamos a alguien de dentro de la industria nuclear, su respuesta será «sí», puesto que esta industria se basa en análisis que reducen las probabilidades de accidentes en el núcleo del reactor. Por el contrario, si hiciésemos la misma pregunta a un observador relevante (alguien informado sobre el tema) de la sociedad, probablemente su respuesta sería «no»; en especial si uno está de acuerdo en considerar que un accidente grave en el núcleo de un reactor cada ocho años representa un problema de seguridad. Por lo tanto, la actual discrepancia entre la seguridad evaluada por la industria nuclear y la seguridad

realmente medida dentro de la realidad física, pone en duda la validez de los análisis de riesgos utilizados en el diseño de seguridad de los reactores nucleares.

## 2. LA CRUCIAL DIFERENCIA ENTRE «RIESGO» E «INCERTIDUMBRE»

Los análisis de riesgo convencionales confunden «riesgo» con «incertidumbre». Sin embargo, en su famoso libro «Riesgo, incertidumbre y beneficio», Frank Knight estableció una diferencia entre «riesgo» de baja probabilidad (aleatorio con probabilidades *conocibles*) e «incertidumbre» (aleatoria con probabilidades *que no se pueden conocer*). Aunque su estudio de «teoría pura» se basaba en el campo de lo económico, esta distinción es también aplicable en el ámbito de la seguridad nuclear, dada la especial importancia del análisis de riesgos en el diseño de reactores nucleares.

La evaluación convencional de riesgos se basa en la habilidad para definir las probabilidades en un conjunto previsto de resultados. Por ejemplo, se puede evaluar fácilmente el «riesgo» relacionado con un juego de ruleta en un casino. Tal cosa es posible porque, en ese juego, el universo de posibles resultados se conoce por anticipado. Más aún, puesto que la ruleta es un artilugio que borra la historia, todo permanece igual en el tiempo. De hecho, los costes y beneficios son definidos con claridad por anticipado y nada cambia en el tiempo, por lo que el jugador puede tomar una decisión *verdaderamente* informada sobre los riesgos.

Ahora bien, evaluar los riesgos relativos a ciertos sistemas puede tornarse imposible. Por ejemplo, nadie puede predecir el tiempo que hará en Londres dentro de 60 días. Sin duda, el clima es un sistema caótico, caracterizado por una elevada sensibilidad a las condiciones iniciales (el llamado «efecto mariposa») que implica —al contrario de la ruleta— que la historia importa. En este caso, la imposibilidad reside en lograr la precisión requerida durante períodos largos, a pesar de un conjunto dado de posibles resultados (como con la ruleta). Sin embargo, esta imposibilidad de predecir los resultados más allá de un período específico no tiene nada que ver con la «incertidumbre». En realidad, ese sistema padece

simplemente de «indeterminación». En esta situación de «indeterminación», todavía es posible hablar de un «riesgo» de bajas probabilidades (aleatorio con probabilidades *conocibles*). Sólo que cualquier intento de evaluar las probabilidades de los desenlaces resultará imposible, pues la elevada sensibilidad de las condiciones iniciales exigiría saber con precisión cuáles son las condiciones iniciales en cada punto del sistema y, en consecuencia, en un momento dado.

Hay algunos casos donde el problema no es que seamos incapaces de estimar las probabilidades (ya sea basándonos en frecuencias empíricas o en creencias), sino de no tener ni remota idea sobre los posibles desenlaces. En tales casos, hablamos de «incertidumbre» o de «ignorancia» (aleatoria con probabilidades *que no se pueden conocer*). Sería la misma situación de «ignorancia» de Alicia en el País de las Maravillas, cuando descubre una botella con la etiqueta «Bébe me»; en ese momento, Alicia no sabía cuál podría ser el riesgo de beber su contenido. La situación hubiese sido completamente diferente si ella hubiera sabido cuál era el riesgo y, de todos modos, bebiera de la botella. Por el contrario, aquí, los posibles desenlaces eran desconocidos. Ignorancia implica no saber cuál es el conjunto de atributos del sistema que nos resultarán importantes en el futuro. Esto implica que es imposible tomar una decisión informada sobre los riesgos porque tal información, simplemente, no existe. Por ejemplo, podemos citar el caso de utilizar fibras de asbesto en la construcción y en la fabricación de aparatos, mucho antes de saber que la exposición prolongada a altas concentraciones de este producto podía causar severos problemas de salud.

En conclusión, el análisis convencional de riesgos no puede ni debería ser aplicado en aquellas situaciones en que la ignorancia está claramente presente. En tales situaciones, aplicar extravagantes y rigurosos tests estadísticos es signo de chapuza científica.

### 3. ¡LA ENERGÍA NUCLEAR NO ES COMO LA INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA!

En su artículo de la revista *Science*, Clery (2011) cita unas declaraciones de Andrew Sherry, director del Instituto Nu-

clear Dalton, de la Universidad de Manchester (Reino Unido), que «equipara las diferencias (entre reactores nucleares) a las existentes entre un coche construido en los años sesenta y uno fabricado hoy». De hecho, utilizar semejante metáfora nos llevaría a pensar que la industria nuclear funciona como la automovilística. El problema es que no es así, ni en la escala espacial, ni en la temporal.

Primero, contrariamente a muchas otras tecnologías, la energía nuclear para la producción de electricidad no puede ser experimentada en un laboratorio. No hay «pruebas de choque» con la energía nuclear, y los simulacros de accidentes estarán siempre condicionados a nuestra habilidad para imaginar semejantes situaciones basándonos en los conocimientos disponibles en ese momento. Por estas razones, la única manera de probar la energía nuclear para la producción de electricidad es mediante un experimento a gran escala, consistente en hacer funcionar centrales de energía nuclear. A gran escala, porque la experiencia obtenida de la operación de reactores en un país beneficia a toda la industria nuclear. Pero también es aplicable lo opuesto. Cuando ocurre un accidente en un reactor nuclear, potencialmente afecta a toda la industria nuclear. El reciente ejemplo del desastre nuclear de Fukushima nos demuestra las consecuencias globales, no sólo sobre el medio ambiente y los seres humanos (1), sino también sobre el debate acerca de la energía nuclear (Levi, 2011).

Convertir la experiencia de la energía nuclear en un experimento a gran escala tiene grandes implicaciones, pues supone un proceso de aprendizaje a gran escala. Es este un punto interesante que vale la pena plantear aquí. Aprender de la experiencia —como en cualquier otro proceso de aprendizaje— significa aprender de los propios errores. Y, como decíamos anteriormente, la energía nuclear es un experimento a gran escala cuyos «errores» tendrían consecuencias potencialmente globales. No hay ningún proceso de aprendizaje o de perfeccionamiento sin errores. Por lo tanto, los peores accidentes nucleares experimentados en Three Mile Island, Chernóbil y Fukushima deberían ser considerados accidentes *normales*; es decir, parte del proceso de aprendizaje como para cualquier otra tecnología.

Ahora bien, aun cuando la sociedad «aceptase que habrá acontecimientos que desbordarán los sistemas» (Golay,

citado por Clery, 2011), el problema seguiría residiendo en la habilidad de los científicos para imaginar tales secuencias de acontecimientos. Por más que uno pueda estar dispuesto a «esperar lo inesperado» (Perrow, 2011) (2), el problema sigue existiendo, pues no *sabemos* qué esperar. Semejante sutileza puede parecer aquí excesivamente filosófica, pero es tan cierta que su mala interpretación puede suponer consecuencias adversas en el mundo real. Finalmente, este argumento de «estar preparados para lo peor» lleva a confusión, pues aunque el *actual* diseño (de centrales nucleares *futuras*) pueda ser tan seguro como es posible de acuerdo a los análisis de riesgos, siempre se verá condicionado por los conocimientos *actuales* de que disponemos, a partir de nuestra experiencia (sin contar con nuestra mayor o menor habilidad para comprender plenamente los pros y contras de tal experiencia; por ejemplo, los pasados accidentes).

Segundo, si actualmente es muy difícil ver circular coches de los años sesenta (excepto los de «colección»), la edad promedio de las centrales nucleares operativas en todo el mundo era de 24 años en 2008 (Schneider, 2008). Por lo tanto, cuando observamos el parque de reactores nucleares, estamos viendo diseños que datan de comienzos de la década de 1970, pues se debe sumar al menos un período de cinco años para la construcción y la fase de desarrollo durante la que se adoptaron las correspondientes medidas de seguridad.

Por lo tanto, considerar que los reactores de 3<sup>a</sup>+ generación son más seguros que los diseños anteriores es cierto, pero aquí está fuera de lugar. Más aun, habría que recordar que no hay ningún reactor de 3<sup>a</sup>+ generación operando en el mundo. De hecho, desde que nací (hace 27 años) sólo he estado consumiendo energía procedente de reactores de primera y segunda generación (los primeros reactores de tercera generación —todavía no los de 3<sup>a</sup>+— están instalados en Japón). En síntesis, la industria nuclear conlleva tantos esfuerzos que siempre habrá una considerable inercia retrasando la transición de un diseño al siguiente. Esto, junto con otras características de la energía nuclear comparadas con otras tecnologías, implica que la nuclear no puede adaptarse a la experiencia en tiempo real.

El mejor ejemplo probablemente sea que, como mencionáramos anteriormente, los accidentes de Fukushima se

dieron en reactores antiguos, construidos en las primeras etapas del desarrollo de la industria nuclear civil, en la década de 1970. Esto significa que dichos reactores no se beneficiaron plenamente de la experiencia de los accidentes ocurridos en Three Mile Island, 32 años antes, ni en Chernóbil, 25 años antes. (3)

Ahora bien, aun en el caso de que la sociedad estuviese dispuesta a aceptar continuar con este experimento a gran escala —aceptando los errores inevitables (accidentes) como un paso necesario en el proceso de aprendizaje— el interrogante sería si esta industria es verdaderamente capaz de aprender de cada uno de tales accidentes (lecciones). Hasta el momento, la respuesta es definitivamente «no». Como hemos visto más arriba, una energía nuclear que sea segura por diseño es algo que no se ajusta a la realidad física. En general, una tecnología es capaz de evolucionar continuamente para evitar cometer los mismos errores por segunda vez, o al menos para minimizar la probabilidad de que se repitan y sus consecuencias. Con la tecnología nuclear es imposible seguir esa línea de perfeccionamiento debido a la inercia específica de este sistema energético. De hecho, la enorme inercia que caracteriza a la industria nuclear impide que se vaya ajustando a cada nueva realidad en un espacio temporal razonable (hablando en relación a los seres humanos). Es más, la experiencia demuestra que, de media, hay un accidente cada ocho años desde 1970, mientras que un nuevo diseño requiere más de diez años para ser puesto en práctica (4). Esto explica por qué la industria nuclear no puede seguir el ritmo de la realidad.

Estas características de una gran inercia tienen algunas implicaciones importantes, puesto que el principio del análisis de riesgos es «reconstruir la realidad» a partir de la realidad física de los anteriores accidentes, para adaptar los diseños futuros a esa realidad (Kirchsteiger, 1999). Esto significa que cualquiera de estos análisis sólo es capaz de evaluar la realidad del pasado. En otras palabras, los análisis de riesgo publicados durante un período  $n$  evalúan nuevos diseños que se aplicarán en centrales nucleares del período  $n+1$ , basados en la experiencia del período  $n-1$ . Tal ha sido el caso de los recientes accidentes en Fukushima-Daiichi, ocurridos en antiguos reactores (cuyo diseño se remontaba al

período  $n-1$ ) al mismo tiempo (período  $n$ ) que la industria nuclear ya promociona las características de seguridad de los nuevos diseños (centrales del período  $n+1$ ).

Como vemos, la industria nuclear es un sistema que simplemente no puede adaptarse al ritmo que establece la realidad (después de cada accidente). Quizá sea este uno de los mayores problemas que impiden que la industria nuclear sea socialmente aceptada.

#### 4. LA ÉTICA DEL JUEGO

Los problemas sistémicos que afectan a la seguridad nuclear analizados más arriba plantean algunos interrogantes sobre quién gana y quién paga con la energía nuclear. En lo relativo a la pregunta de si la energía nuclear es realmente *segura* o no, esto depende tanto de *cómo* se mire el problema y de *a quién* se lo preguntamos.

En los años cincuenta, la idea era que gracias a la energía nuclear sería posible generar una electricidad que habría de ser «demasiado barata para medirla». No obstante, contrariamente a las expectativas, este objetivo tuvo que hacer frente a la dura realidad de unos costes de producción de electricidad a partir de la energía nuclear que eran enormemente elevados. A partir de entonces, los subsidios han permitido reducir el coste de producción de electricidad de origen nuclear compensando por los costes del uranio, la seguridad y responsabilidad, el enfriamiento del agua de los reactores, la gestión de residuos, el desmantelamiento de las centrales, etc (Costanza et al., 2011). Por ejemplo, en EE UU, la aun vigente ley «Price-Anderson», de 1957, limita la responsabilidad por accidentes nucleares a 12.600 millones de dólares. Después de semejantes incentivos, resulta relativamente «barato» *producir* electricidad a partir de la energía nuclear.

No obstante, que la electricidad le resulte barata de *producir* a la empresa proveedora de energía no significa necesariamente que los costes totales relacionados con el sistema de energía nuclear sean bajos para la sociedad en general. De hecho, la actual situación en Japón nos brinda un buen ejemplo sobre los límites de esta idea de energía nuclear barata. El coste total del desastre natural en Japón

se ha calculado en torno a los 300.000 millones de dólares. Sin embargo, la responsabilidad de TEPCO podría quedar limitada a una suma entre 24.000 y 45.000 millones de dólares (Reuters, 2011b). La ironía es que, en Japón, la legislación sobre «Compensación por Daño Nuclear» de 1961 no incluye ninguna responsabilidad por consecuencias de desastres naturales, por lo que la suma a pagar por TEPCO es el resultado de *negociaciones* —no de una ley— entre el gobierno japonés y la empresa.

Volviendo a los costes de la energía nuclear, vemos que del coste total de los desastres en Japón (US\$ 300.000 millones), una cantidad significativa (todavía pendiente de ser fijada) corresponderá exclusivamente a los accidentes nucleares. Por lo tanto, la diferencia entre dicha suma total y la negociada responsabilidad de TEPCO será aportada por la población japonesa. Si además tenemos en cuenta que TEPCO deberá solicitar préstamos a los principales bancos de Japón, queda bastante claro lo poco merecedora de crédito que demuestra ser la industria nuclear.

Sin embargo, dados los problemas para evaluar los riesgos relacionados con la seguridad nuclear expuestos anteriormente y el enorme impacto financiero que un accidente nuclear puede tener sobre la empresa responsable, podríamos preguntarnos por qué estas empresas continúan asumiendo tales «riesgos». Una parte de la respuesta está en el hecho de que en este «juego» las empresas nucleares no están solas, sino que dependen claramente de la sociedad para externalizar el riesgo de posibles desenlaces y, especialmente, cuando estos pueden tener consecuencias adversas. En este sentido, podemos hablar de la seguridad nuclear como una clase de distorsionado juego de casino en el que, si *ellos* ganan, son *ellos* quienes se llevan el bote, pero si pierden, la *sociedad* paga la deuda.

#### CONCLUSIÓN

Desde el mismo inicio del «uso pacífico de la energía nuclear» en la década de 1950, nunca ha habido un consenso entre la gente respecto a la conveniencia de esta fuente de

energía para la producción de electricidad. Sin duda, nunca ha habido un movimiento popular a favor de la energía nuclear, mientras que los defensores de esta fuente de energía o no están bien informados o tienen algún interés privado en que ella sea parte del paquete de producción eléctrica. Hoy no existe razón para que tal cosa cambie, aún después de los accidentes de Fukushima.

Profundizando un poco más, concluiremos que siempre será imposible alcanzar un consenso sobre la energía nuclear, simplemente porque el debate siempre dependerá de cuál de los observadores hable. De hecho, más allá del problema de la objetividad, la evaluación de la viabilidad del sistema de energía nuclear diferirá en función del observador. Aquí, he ilustrado este problema sistémico utilizando el ejemplo de la seguridad nuclear. Según la industria, las centrales nucleares son seguras y los accidentes son «normales» o extraordinariamente poco comunes como para ser anticipados. Desafortunadamente, estas narrativas no logran convencer a nadie cuando se las compara con la realidad física de los tres recientes accidentes en los respectivos reactores de la central de Fukushima-Daiichi.

## REFERENCIAS

- CLERY, D. (2011), *Current Designs Address Safety Problems in Fukushima Reactors*, Science 331(6024):1506. doi:10.1126/science.331.6024.1506.
- COSTANZA, R., CLEVELAND, C., COOPERSTEIN, B. y KUBISZEWSKI, I. (2011), *Can Nuclear Power Be Part of the Solution?* Solutions 2(3). URL: <http://www.thesolutionsjournal.com/node/918>.
- DIAZ MAURIN, F. (2011), *Fukushima: Consequences of Systemic Problems in Nuclear Plant Design*, Economic & Political Weekly (Mumbai) Vol. 46, No. 13, pp.10—12 (March 26, 2011). URL: <http://epw.in/epw/uploads/articles/15865.pdf>.
- FARMER, F.R. (1977), *Today's risks: thinking the unthinkable*, Nature 267(5607): 92-93. doi:10.1038/267092a0.
- IAEA (2009), *The International Nuclear Event Scale, User's manual, 2008 Edition*, International Atomic Energy Agency and OECD/Nuclear Energy Agency. URL: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/INES-2009\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/INES-2009_web.pdf).
- KATSUHIKO, I. (2007), *Why Worry? Japan's Nuclear Plants at Grave Risk From Quake Damage*, International Herald Tribune/Asahi Shinbun (August 11, 2007), URL: <http://www.japanfocus.org/-Ishibashi-Katsuhiko/2495>.
- KIRCHSTEIGER, C. (1999), *On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12(5): 399-419. doi:10.1016/S0950-4230(99)00012-1.
- KNIGHT, F.H. (1921), *Risk Uncertainty and Profit*, Houghton Mifflin Company.
- LEVI, M. (2011), *How Not To Debate Nuclear Power*, Council on Foreign Relations (March 28, 2011). URL: <http://blogs.cfr.org/levi/2011/03/28/how-not-to-debate-nuclear-power>.
- PERRON, C. (2011), *Fukushima, risk, and probability: Expect the unexpected*, Bulletin of the Atomic Scientists (April 1, 2011). URL: <http://thebulletin.org/web-edition/features/fukushima-risk-and-probability-expect-the-unexpected>.
- REUTERS (2011a), *Japan raises nuclear crisis severity to highest level*, Reuters, Tokyo (April 12, 2011). URL: <http://www.reuters.com/article/2011/04/12/japan-severity-idUSTKE00635720110412>.
- REUTERS (2011b), *TEPCO's liability may be capped at \$24-45 billion: report*, Reuters, Tokyo (April 12, 2011). URL: <http://www.reuters.com/article/2011/04/13/us-tepco-idUSTRE73C03Q20110413>.
- SCHNEIDER, M. (2008) *2008 world nuclear industry status report: Global nuclear power*, Bulletin of the Atomic Scientists (September 16, 2008). URL: <http://www.thebulletin.org/web-edition/reports/2008-world-nuclear-industry-status-report/2008-world-nuclear-industry-status-report>.
- US NRC (1975), *Reactor Safety Study, an Assessment of Accident Risks in U.S. Nuclear Power Plants, WASH-1400 (NUREG-75/014)*, Federal Government of the United States, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. Doi: 10.2172/7134131.
- WALD, M.L. (2003), *Dr. Norman C. Rasmussen, 75, Expert on Nuclear Power Risk*, The New York Times (July 28, 2003). URL: <http://www.nytimes.com/2003/07/28/us/dr-norman-c-rasmussen-75-expert-on-nuclear-power-risk.html>.