

DESARROLLO Y APLICACION DE LA EVALUACION PROBABILISTICA DE RIESGOS

José COBIAN ROA

La aplicación pacífica de la energía nuclear nace impregnada de una profunda inquietud por la consecución de un alto nivel de seguridad, que se plasma en la confección de una filosofía de diseño basada en la caracterización conservadora de las situaciones de accidente y en el establecimiento de barreras múltiples de protección frente a estas situaciones. Es innegable el gran servicio prestado por esta filosofía de corte determinista al desarrollo de la tecnología nuclear, máxime si se piensa que en la época en que se inició la comercialización de esta fuente de energía, no existía otra herramienta que pudiera utilizarse para garantizar un alto nivel de seguridad. No se pueden tampoco ocultar las limitaciones de esta filosofía que, llevada a sus últimas consecuencias, puede conducir a una utilización inadecuada de recursos y a la introducción de sistemas de creciente complejidad que encarecen la central y que incluso pueden redundar en una reducción del nivel de seguridad.

Con el transcurso del tiempo se ha hecho patente la necesidad de situar la tecnología nuclear en una perspectiva más amplia que permita establecer comparaciones de los beneficios y riesgos que de ella se derivan con los de otras tecnologías. Se requiere para ello la evaluación de sus riesgos de una forma más realista. Se dispone hoy en día de técnicas que permiten modelar las situaciones de accidente con más precisión, se conocen mejor las características de la generación nuclear y, sobre todo, se ha acumulado una importante experiencia de operación. Se ha adquirido, en una palabra, la madurez para evaluar la seguridad de las centrales nucleares con más rigor. Una metodología desarrollada con este fin es la llamada «evaluación probabilística de riesgos». Esta

metodología consiste en el estudio sistemático del espectro de los niveles potenciales de daño que pueden originarse en la operación de una central nuclear y de la distribución probabilística de ocurrencia de este espectro. Esta nueva forma de evaluar el riesgo proporciona un arma poderosa para establecer criterios de revisión y modificación del diseño.



José COBIAN ROA, Ingeniero Industrial, Master of Science y Doctor of Philosophy en Ingeniería Nuclear por la Universidad de Northwestern (U.S.A.).

Actualmente ocupa la posición de «Principal Engineer» en el Departamento de Seguridad Nuclear de Westinghouse Nuclear Española.

Evolución histórica de la filosofía de seguridad en el diseño

Desde los orígenes de la implantación comercial de la energía nuclear en la década de los cincuenta, ha existido una profunda inquietud por garantizar a la sociedad la explotación segura de esta fuente de energía. Desde el principio se ha despertado un cierto recelo en la opinión pública, que se pregunta con legitimidad qué garantías existen para impedir que los productos radiactivos se desplacen desde donde son generados hasta los núcleos de población próximos a la central. Este recelo, sin embargo, tiene una componente psicológica de gran peso, relacionada con el temor creado por el hecho de que la energía nuclear fue presentada al mundo por primera vez en forma violenta, como arma destructora. Se requiere por lo tanto con gran prioridad demostrar la seguridad de esta fuente de energía. Por ello, los gobiernos de los países vanguardistas en la implantación de esta tecnología establecen sólidas entidades reguladoras con la misión de cuestionar paso a paso todas las etapas de los proyectos nucleares y convencerse de que la operación de las centrales nucleares no causará un riesgo indebido al público. En una buena parte de estos países se escucha y se da contestación a la opinión popular en los debates públicos antes de conceder licencias de operación. Junto con la utilización de la energía nuclear para usos comerciales nace el mecanismo crítico autocorrectivo que permitirá su evolución y perfeccionamiento.

Fruto de esta autocritica, surge en la década de los cincuenta la pregunta clave: ¿Cuál es el perjuicio máximo a la población y a la sociedad en general que puede derivarse de la operación de una central nuclear? El estudio WASH-740, realizado en el centro de investigación de Brookhaven en el año 1952, bajo los auspicios de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, tenía por objeto la contestación a esta pregunta. Para evaluar esta cota de perjuicio potencial, consideraba el estudio la posibilidad de ocurrencia de accidentes inconcebibles, porque los accidentes concebibles están integrados en la filosofía de seguridad del diseño. Las grandes lagunas existentes en el conocimiento sobre la fenomenología de accidentes, en el momento de realizarse este estudio, impidieron el establecimiento de una causalidad de las situaciones consideradas. Para suplir esta falta de conocimiento se acudió a la utilización de hipótesis ultraconservadoras: el 100 % de

los productos radiactivos salen del reactor al recinto de contención, suponiéndose en un caso que el 100 % de los productos volátiles y, en el otro, que el 50 % de todos los productos de fisión, se escapan a la atmósfera. Aunque el estudio arroja unos resultados altos de impacto a la población cabe preguntarse cuál es su significado cuando se han utilizado unos conservadurismos tan altos en las hipótesis. En línea con esta pregunta tan fundamental, está el pliego de descargo de los autores que reconocían que habían considerado situaciones altamente improbables, cuya probabilidad de ocurrencia era imposible de cuantificar.

La filosofía tradicional de seguridad establecida en los cincuenta, y que todavía tiene vigencia hoy en día, fundamenta la protección al público en cuatro principios:

- El establecimiento de barreras múltiples de protección cuya misión es impedir que los elementos radiactivos se desplacen desde donde son generados hasta la población. Así, la matriz del combustible, el revestimiento, el sistema primario, y la contención son las barreras múltiples que protegen al público.
- La dotación de sistemas de seguridad redundantes que puedan cumplir su cometido evitando o mitigando el espectro de accidentes hipotéticos, aún en el caso en que se produzca un fallo simple en los equipos.
- La introducción de amplios márgenes de seguridad en el diseño.
- La ubicación de las centrales en zonas de baja densidad de población.

Este último principio crea dificultades en países que como el Reino Unido tienen una alta densidad de población. F.R. Farmer del Reino Unido, propone por primera vez en 1964 una valoración de la seguridad de las centrales nucleares basada en el riesgo que crean, entendido como producto de la probabilidad de un suceso por las consecuencias que genera. Farmer va buscando una medida realista del riesgo que genera una central para poder justificar su ubicación en zonas próximas a núcleos urbanos.

En los mismos años en que Farmer introduce en el Reino Unido el concepto de riesgo aplicado a la energía nuclear, la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos patrocina una serie de estudios encaminados a evaluar los méritos del uso de técnicas probabilísticas en el análisis de consecuencias de accidentes nucleares, concluyéndose que la utilización de una evaluación cuantitati-

va y realista de las situaciones de accidente, utilizando los árboles de fallos, redundaría en un conocimiento más profundo del nivel de seguridad de la central.

Al juzgar a la filosofía tradicional de seguridad a la luz de estos conceptos, surgen muchas preguntas que se quedan sin contestación satisfactoria. ¿En qué medida es «concebible» el máximo accidente hipotético? ¿En qué medida son inconcebibles los accidentes no analizados? ¿Cuál es la probabilidad de fallo de un sistema de seguridad? ¿Y la de un segundo fallo? En suma, la filosofía tradicional resulta muy cualitativa. Es indudable que se acudió a ella porque era más fácil de aplicar. Debe tenerse en cuenta que en la década de los cincuenta había muy poca información sobre fallos de equipo y todavía no se había desarrollado una metodología adecuada para evaluar sucesos de baja probabilidad, múltiples e interrelacionados, siendo esta necesaria para realizar una evaluación probabilística de riesgos. Sin embargo, aunque las técnicas utilizadas para evaluar las consecuencias de accidentes han avanzado mucho, las técnicas de evaluación de probabilidades de ocurrencia de sucesos apenas han suscitado el interés de los investigadores, fenómeno que ha retrasado la aplicación de la evaluación probabilística de riesgos.

Se consideran en la evaluación probabilística de riesgos todos los escenarios concebibles que resultan de la coincidencia de cualquier combinación de fallos y procesos en la central. Se requiere para aplicar esta técnica el desarrollo de estadísticas de fallo de equipo para poder determinar la fiabilidad de los sistemas y el estudio detallado de los fenómenos físicos que pueden suceder en la central para poder determinar los niveles de daño al núcleo. Con estos datos se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada situación de accidente, coincidente con un comportamiento determinado de los sistemas de seguridad, y sus emisiones radiactivas asociadas. En última instancia se determinan los niveles de riesgo en términos de diferentes tipos de perjuicio a la población.

Con la metodología tradicional, resultaba imposible comparar los riesgos de los accidentes nucleares con otros riesgos de otras actividades humanas. No se sabía si el máximo accidente concebible generaba o no un riesgo mayor a la población que algún accidente menor de probabilidad más alta de ocurrencia. Y no menos importante, no se sabía en qué equipos era más rentable inver-

tir dinero para reducir el riesgo de la planta.

La evaluación probabilística de riesgos es el arma que permite investigar estos interrogantes.

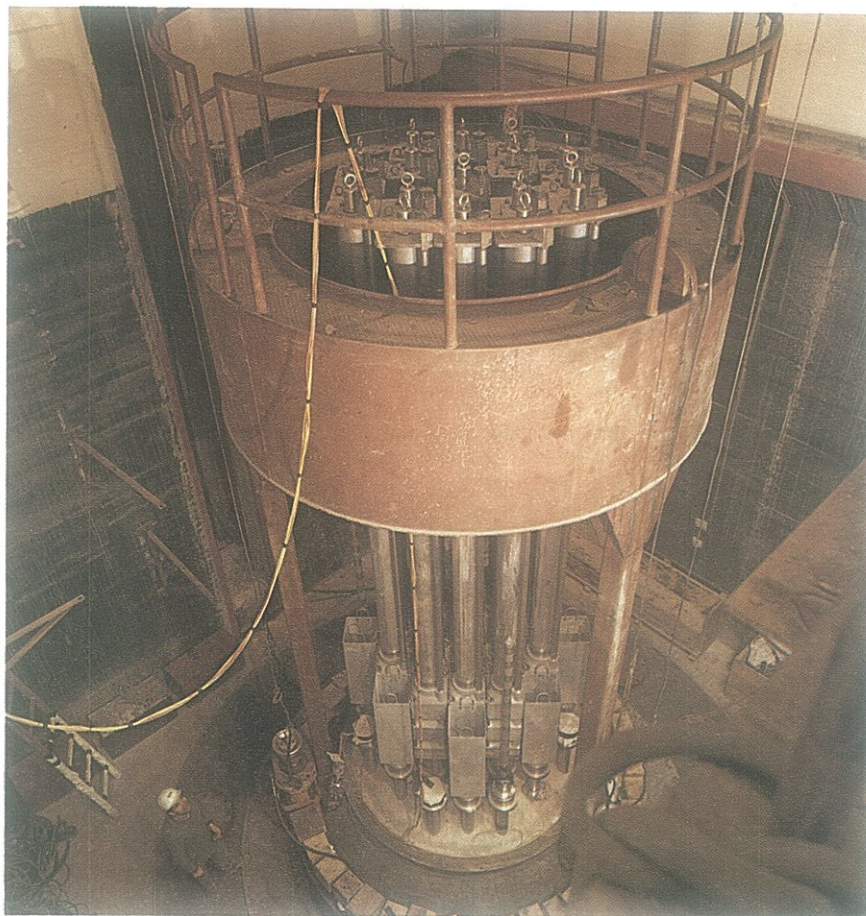
WASH-1400 y Three Mile Island

En el año 1972, la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos de América patrocina el Estudio de Seguridad de Reactores bajo la dirección del profesor Rasmussen del Instituto Tecnológico de Massachusetts, proyecto de dimensiones gigantescas, en la que participa un nutrido grupo de científicos y que dura tres años. En este estudio se emplea por primera vez en la evaluación de la energía nuclear, la metodología de evaluación probabilística de riesgos, a la que se le da un gran impulso. El estudio utiliza la técnica de árboles de sucesos para identificar las secuencias accidentales. Para cada posible secuencia se calculan las consecuencias que origina y la probabilidad de ocurrencia. Tras someter el estudio a un proceso crítico, se concluye en el Senado norteamericano que a pesar de que existen algunas deficiencias en la forma en que se estima la incertidumbre de ciertos resultados, en su conjunto WASH-1.400 supone una valiosa contribución al mejor entendimiento de los niveles de riesgo que entraña la operación de centrales nucleares.

El análisis técnico más minucioso realizado sobre el estudio Rasmussen, lo llevó a cabo en 1978 un grupo dirigido por el profesor Lewis de la Universidad de California con objeto de evaluar las contribuciones y limitaciones del estudio, y de emitir un conjunto de recomendaciones a la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos acerca de la validez de la metodología de evaluación de riesgos en el proceso regulador de la energía nuclear. El análisis de Lewis concluye que, aunque existen deficiencias en el área de las cuantificaciones de la incertidumbre de resultados, la metodología general utilizada es aceptable.

En la segunda parte de la década de los setenta se lleva a cabo en la Alemania Federal, bajo el patrocinio del Ministerio de Tecnología y la dirección de la Empresa Nacional para la Seguridad de Reactores, un estudio de gran alcance, llegándose a conclusiones similares a las de WASH-1.400.

En marzo de 1979 tiene lugar el accidente de Three Mile Island, suceso que produce una profunda conmoción en la industria nuclear, y que propicia el examen de los estudios de seguridad efec-



C. N. JOSE CABRERA
Barras de control de la vasija

tuados hasta el momento, y específicamente WASH-1.400.

Tras un disparo de turbina y un disparo de reactor, el transitorio de presión en el sistema primario produce la apertura de una válvula de alivio del presionador de acuerdo con el diseño. Esta válvula de alivio no cierra cuando debería, sin que los operadores se den cuenta de ello, y la presión en el primario baja hasta el punto de activación del sistema de inyección de seguridad tal como estaba previsto en el diseño. El transitorio se habría estabilizado aquí, pero ciertos sucesos confunden al operador que cierra el sistema de refrigeración de emergencia permitiendo así que el núcleo se quede sin refrigerante con el consiguiente daño al combustible. Se emiten grandes cantidades de hidrógeno y de productos de fisión primero al sistema primario y después a la contención antes de que los operadores actúen de nuevo para refrigerar el núcleo. Algunas cantidades de gases radiactivos pasaron al edificio auxiliar primero y a la atmósfera después. WASH-1.400 contempla una secuencia equivalente a ésta hasta el momento en que los operadores actúan

para impedir que la degradación del núcleo continúe. La secuencia de T.M.I. se encuentra incluida en una de las secuencias de WASH-1.400. En contra de lo que se pensó originalmente, no existe contradicción entre T.M.I. y WASH-1.400, es más, T.M.I. parece encajar dentro del esquema de WASH-1.400.

A la vista de todas estas consideraciones, dos de los estudios de más trascendencia que analizaron el accidente de T.M.I.: «El Informe de la Comisión del Presidente» y el «Informe Rogovin» han recomendado un uso más extensivo de los análisis probabilísticos en la evaluación de riesgos.

La evaluación probabilística de riesgos

Comienza esta metodología por la evaluación de probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles de daño al núcleo e impacto asociado que se pueden dar en la operación de una central, con objeto de determinar los niveles de riesgo y poder identificar en última instancia qué sucesos individuales y qué equipos son los que más contribuyen a él.

La metodología se basa en dos campos del conocimiento:

- La fenomenología de accidentes y
- La evaluación de probabilidades de cadenas de sucesos relacionados.

La fenomenología de accidentes es un área que ha avanzado mucho desde que se inició la operación comercial de las centrales. Se han llevado a cabo amplios programas de experimentación para recogida de datos y comprobación de modelos matemáticos, y se han desarrollado modelos mucho más realistas y precisos de los fenómenos físicos. Se puede predecir, por lo tanto, mucho mejor que hace unos años los estados físicos por los que va pasando la central en situación de accidente, y el estado final de daño al núcleo e impacto a la población asociado. El otro campo del conocimiento es el de la técnica de evaluación de probabilidades de cadenas de sucesos interrelacionados. Es éste un campo de muy reciente aplicación a la tecnología nuclear. Tradicionalmente estas técnicas han estado un poco olvidadas por los investigadores en favor de la filosofía determinista. En WASH-1.400 se da un gran impulso al desarrollo de estas técnicas. Hoy en día se ha salvado ya el escollo fundamental para su aplicación que era el de la cuantificación de las incertidumbres de los valores calculados.

La N.R.C., después de evaluar las recomendaciones de Lewis sobre la utilización de esta metodología, y bajo el impulso renovador generado por el accidente de la Isla de las Tres Millas, exige a centrales próximas a núcleos urbanos la ejecución de un estudio sobre el nivel de riesgos. Se hallan afectadas por este requisito las centrales de Zion e Indian Point.

El primer estudio donde se cuantifica la incertidumbre de los resultados es el «Análisis Probabilístico de Seguridad de Oyster Creek», realizado en el año 1979. Le sigue el estudio de Zion realizado por Westinghouse con la utilización extensa de recursos técnicos y humanos. El estudio de Zion, utilizando como base la metodología usada en Oyster Creek, desarrolla nuevos métodos para modelar la degradación del núcleo y la respuesta de la contención, lo que le permite establecer en forma más precisa los niveles de impacto a la población y probabilidades de las secuencias que conducen a la fisión del núcleo. Se llega en este estudio un paso más lejos al evaluar el impacto que ciertas modificaciones de diseño pueden tener en el nivel de riesgo de la central.

La extensión de un estudio como el de Zion ha requerido su estructuración en cuatro etapas. En la primera etapa se confeccionan todas las secuencias posibles de sucesos que pueden conducir a una situación de daño al núcleo. Se comienza esta tarea por la identificación de los sucesos iniciadores que constituyen el conjunto de sucesos posible que puede originar una secuencia accidental. A partir de estos sucesos se construyen las secuencias de respuesta de los sistemas, cuyo funcionamiento puede afectar al desarrollo de accidente, formando así los árboles de sucesos. Utilizando la experiencia de operación disponible, se establecen las probabilidades individuales de los diferentes modos de actuación de los sistemas. En última instancia se calculan los niveles de daño al núcleo y las probabilidades de ocurrencia de las secuencias accidentales. En la segunda etapa se determinan las respuestas de la contención para el espectro de secuencias accidentales consideradas y se calculan las emisiones radiactivas a la atmósfera para todos los casos de dicho espectro.

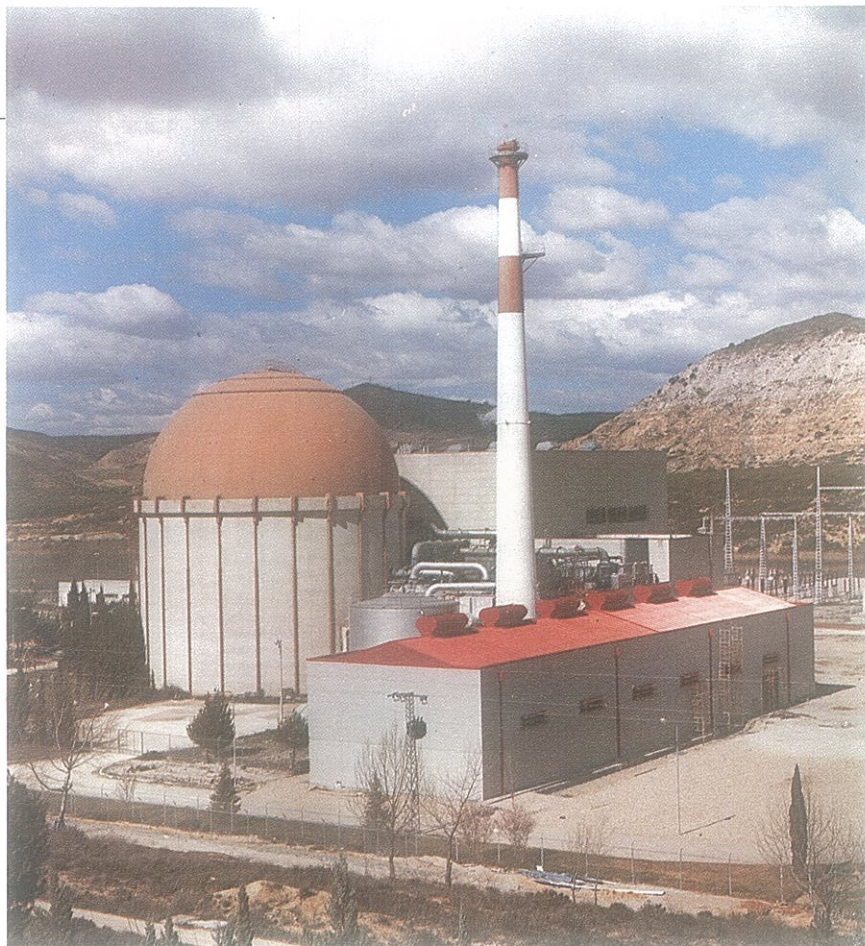
En la tercera etapa se evalúa el impacto a la población producido por las emisiones calculadas en la segunda fase, correlacionándose este impacto con la probabilidad de que ocurra. Los resultados se visualizan en forma de curvas de riesgo que permiten establecer comparaciones entre niveles de riesgo de diferentes centrales, o de la misma central considerada en distintos emplazamientos.

Se ha introducido una cuarta etapa en este estudio que ofrece un gran interés. Se trata de la consideración de nuevos diseños y la determinación de los nuevos niveles de riesgo que resultan tras la introducción de un nuevo diseño. La comparación de niveles de riesgo antes y después de introducir un diseño proporciona una base de juicio para decidir acerca de la eficacia del diseño considerado en la reducción del riesgo, orientando las «inversiones en seguridad» en la dirección óptima.

Conclusiones

El estudio de Zion proporciona una prueba concluyente del bajo nivel de riesgo asociado con la operación de centrales nucleares en comparación con riesgos asociados a otras actividades industriales.

El estudio de Zion, junto con el de Indian Point y otros que están de camino, reflejan una evolución en la mentalidad de la Comisión Reguladora Nuclear de



Central nuclear José Cabrera

los Estados Unidos, que para poder dictaminar en temas de seguridad empieza a exigir estudios que documentan el nivel de riesgo de operación de la central.

La aplicación de la evaluación probabilística de riesgos no se detiene aquí. Todavía queda un camino por recorrer hasta llegar a la aplicación de estos conceptos en los criterios de diseño de las centrales nucleares. Sin embargo, el camino se ha comenzado ya y hoy en día esta metodología proporciona un arma rigurosa con la que se puede obtener una referencia válida a la hora de juzgar la seguridad de centrales nucleares.

REFERENCIAS

1. U.S. Atomic Energy Commission, **Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants**, WASH-740, Marzo 1957.
2. Di Nunno, etc. **Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites**, T.I.D.-14.844, Marzo 1962.
3. Farmer, F. R., **The Growth of Reactor Safety Criteria in the United Kingdom**, Simposio Anglo-Español sobre Energía Nuclear, Madrid, Noviembre 1964.
4. Garrick, B. J., etc. **Reliability Analysis of Nuclear Power Plant Protective Systems**, HN-190, U.S. Atomic Energy Commission, Mayo 1967.
5. U.S. Nuclear Regulatory Commission, **Reactor Safety Study**, WASH-1400 (NUREG-75/014), Octubre 1975.
6. The Federal Minister of Research and Technology, **German Risk Study-Summary**, República Federal de Alemania, Agosto 1979.
7. Garrick, B. J., etc. **O.P.S.A., Oyster Creek Probabilistic Safety Analysis**, Jersey Central Power and Light, Agosto 1979.
8. Lewis, H. W., etc. **Risk Assessment Review Group Report to the U.S. N.R.C.** NUREG/CR-0400, September 1978.
9. J. Kemeny, etc. **Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island**, November 1979.
10. Ragovin, M., etc., **Three Mile Island, A report to the Commissioners and to the Public**, Government Printing Office, Enero 1980.
11. Commonwealth Edison, **Zion Probabilistic Safety Study**, 1981.