

Chernobyl como ‘accidente postnormal’. Una revisión crítica de sus causas tecnológicas

Chernobyl as ‘Post-Normal Accident’. Critical Review of its Technological Causes

Argel CALCINES PEDREIRA

Colegio Universitario San Geronimo de La Habana, Cuba
argelcalcines2013@yandex.ru

Recibido: 26/05/2021. Revisado: 03/08/2021. Aceptado: 15/09/2021

Resumen

Este artículo propone una revisión crítica de las causas tecnológicas que provocaron el desastre de Chernobyl, señalando algunas cuestiones que todavía son debatibles y polémicas hasta para los propios expertos nucleares. ¿Cómo es posible que un reactor electronuclear pudiera estallar como una bomba debido a las decisiones erradas de sus operarios? ¿Y si hubiera sido un sabotaje o —como se diría hoy día— un acto terrorista? A partir de estas interrogantes se fundamenta que la concepción dual (militar y civil) del aciago prototipo RBMK-1000, junto a la incertidumbre de no saber realmente cómo se produjo su explosión, permiten otorgar a Chernobyl el carácter de “accidente postnormal”, tanto desde un punto de vista extratécnico como intratécnico. Con esta propuesta teórica se exhorta desde una perspectiva ingenieril a recapacitar sobre el desafío epistemológico que representa el carácter único del riesgo nuclear y radiológico para el campo de estudios CTS.

Palabras clave: tecnología; reactor nuclear; accidente; riesgo; catástrofe.

Abstract

This article proposes a critical review of the technological causes that led to the Chernobyl disaster, pointing out some issues that are still debatable and controversial even for the nuclear experts themselves. How is it possible that an electro-nuclear reactor could be destabilized and explode like a bomb due

to the wrong decisions taken by its operators? What if it had been a sabotage or—as one would say today—a terrorist act? Based on these questions and due to the dual conception (military and civil) of the ill-fated RBMK-1000 prototype, together with the uncertainty of not really knowing how its explosion occurred, allow Chernobyl to be awarded the character of “post-normal accident”, both from an extra-technical as well as an intra-technical point of view. With this theoretical proposal and from an engineering perspective, the article exhorts to reconsider the epistemological challenge that the unique nature of nuclear and radiological risk represents for the STS field of studies.

Keywords: technology; nuclear reactor; accident; risk; catastrophe.

1. Introducción

La madrugada del sábado 26 de abril de 1986 explotó el reactor del cuarto bloque de la Central Electronuclear (CEN) “Vladimir Ilich Lenin”, más conocida como CEN de Chernobyl por estar situada a 12 km de la ciudad homónima, a 109 km de Kíev, capital de Ucrania, entonces una de las quince repúblicas de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Paradójicamente, ese accidente se produjo durante la realización de un experimento cuyo objetivo era incrementar la defensa en profundidad de la instalación. Aunque hoy parezca descabellada, esa prueba de seguridad trataba de responder a la gran problemática de la energética nuclear: la necesidad de mantener ininterrumpidamente la refrigeración del núcleo del reactor para evitar la fusión de sus elementos de combustible en caso de producirse la pérdida total de energía eléctrica desde el exterior (*blackout*), como sucedió veinticinco años después en Fukushima Daiichi.

Adoctrinados en el axioma de que los reactores nucleares no explotan, ya que ninguna normativa de seguridad se refería a esa posibilidad ni remotamente, los expertos soviéticos debieron explicarse a sí mismos por qué sucedió “lo imposible” para transmitirlo a sus homólogos en el mundo. Esto exigía reconstruir la secuencia del accidente y determinar cómo pudo estallar el RBMK-1000 (*Reaktor Bolschoi Moschtschnosti Kanalni*, Reactor de Gran Potencia con Canales), que hasta ese momento era elogiado como un logro de la ciencia soviética por sus creadores (Dollezhal y Yemelianov, 1980; Petrosian, 1985)¹.

Ante la presión internacional, del 25 al 29 de agosto de 1986 se celebró una reunión en Viena, en la sede del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), para escuchar qué había sucedido. En nombre de la delegación soviética, el

¹ El autor de este artículo perteneció al último grupo de estudiantes extranjeros del Instituto Energético de Moscú que estuvo en la CEN de Chernobyl, realizando sus prácticas de cuarto año de la carrera Centrales Atómicas e Instalaciones. Unos meses después ocurrió el accidente y, como alumno, fue testigo del gran desconcierto que cundió entre sus profesores al no poder explicar por qué había explotado el RBMK-1000 (Calcines, 1996).

académico Valeri Legásov expuso los resultados de un informe gubernamental que inculpaba únicamente por la explosión del reactor nuclear a sus operarios/explo-tadores. Entonces ya se acometían las ingentes labores de liquidación para revertir las consecuencias primarias del desastre, evacuar a miles de personas y levantar un sarcófago sobre las ruinas del reactor derruido. Por primera vez en la historia se tenía constancia de una catástrofe sociorradioecológica de magnitud global. “Con la explosión del reactor explotó el no-saber, y esta inseparabilidad de contaminación nuclear y no-saber constituye el carácter remarcablemente sintomático, totalmente kafkiano del mundo después de Chernobyl” (Beck, 2008, 165).

A las consecuencias sociales, económicas y políticas de ese desastre nuclear se ha atribuido en gran medida la crisis irreversible que condujo a la desintegración de la Unión Soviética como Estado plurinacional: “De hecho, la catástrofe de Chernobyl fue un punto de inflexión histórica que marcó una era anterior y una posterior al desastre” (Gorbachev, 2006). Ese proceso tuvo un altísimo costo para la comunidad tecnocientífica nuclear en ese país, cuyos miembros más representativos fueron sometidos a enormes presiones por el resto de la sociedad. Un día después de haberse cumplido el segundo aniversario del accidente, el 27 de abril de 1988, el académico Legásov se suicidó en circunstancias nunca esclarecidas, dejando su testimonio inconcluso en cintas magnetofónicas.

Este artículo se dedica a fundamentar que Chernobyl es un “accidente postnormal”, en primer lugar desde un punto de vista extratécnico. Para ello se exponen las razones historiográficas que impiden caracterizarlo como un *normal accident*, según el concepto introducido por Charles Perrow para explicar la avería de Three Mile Island y, de paso, aplicarlo a otros accidentes de potencial catastrófico (Perrow, 1982, 1984, 1999). Al corresponder a un antes y un después de la desintegración de la URSS, los informes oficiales sobre las causas tecnológicas de Chernobyl fueron sesgados desde un inicio por factores políticos e ideológicos, además del secretismo consustancial a la esfera atómica. Esto explica que existan dos versiones refrendadas por los expertos internacionales del OIEA, solapándose entre sí hasta terminar confundidas por la historiografía en favor de la primera versión por encima de la segunda (acápite 1)².

A incrementar esa confusión ha contribuido la miniserie *Chernobyl*, coproducción de la norteamericana HBO y la británica Sky³. Aquí se aprovecha para comentar brevemente ese producto filmico, considerando que es el documento historiográfico más reciente sobre el tema, además de haber logrado un alcance público sin precedentes. Aunque esta miniserie clasifica en el género de ficción,

² Junto a las versiones oficiales refrendadas por el OIEA y sus distintas interpretaciones a lo largo de los años, existen versiones más especulativas como las hipótesis del sabotaje y las geofísicas, incluidos los efectos de un sismo (Abramov *et al.*, 2006).

³ La miniserie *Chernobyl* se estrenó en los Estados Unidos, el 6 de mayo de 2019, y en el Reino Unido el 7 de mayo de 2019. Ganó varios premios de la crítica en la 71ª edición de los Premios Primetime Emmy.

sus realizadores han insistido en el apego a la verdad como el principal acierto del guion cinematográfico. En especial ha sido muy alabada su reconstrucción escenográfica por el verismo de las imágenes a nivel de detalle: tecnología, vehículos, edificaciones... Sin embargo, al supeditar su trama de intriga a la figura del académico Legásov, fueron tergiversadas completamente sus memorias inconclusas (acápite 2).

De ambos acápites (1 y 2) se colige que ningún informe oficial soviético, post-soviético o del OIEA, como tampoco la miniserie de HBO y Sky, hace referencia a que el RBMK-1000 fue concebido para la producción simultánea de energía eléctrica y plutonio con fines bélicos. Dado que el académico Legásov aborda escasamente ese factor del doble uso (militar y civil) en sus memorias, la parte intermedia de este artículo profundiza en la génesis de ese prototipo como engendro típico de la Guerra Fría. También se explica su exitosa evolución técnica y económica como proyecto insigne del programa nuclear soviético hasta que ocurrió el desastre (acápite 3).

Finalmente se recurre a las reflexiones teóricas o escuelas de pensamiento sobre la causalidad de los accidentes en sistemas tecnológicos complejos (Perrow, 1982, 1984, 1999; Rasmussen, 1986; Reason, 1990a, 1997, 2000; Rijpma, 1997; Le Coze, 2015, 2020). Al concepto de *normal accident* se contraponen el de "accidente postnormal", fundamentándolo desde un punto de vista intratécnico. La pertinencia de revisión conceptual se basa en que las graves deficiencias del RBMK-1000 se debían precisamente a su concepción dual (militar y civil). De ahí que el riesgo de explosión se encontrara implícito como "paradojas de la seguridad" en el diseño de su zona activa y de la defensa en profundidad, incluido el sistema de control y protección (acápite 4).

La explosión del RBMK-1000 fue una "sorpresa tecnológica" para los propios expertos soviéticos, quienes se dividen de manera irreconciliable al ofrecer su versión retrospectiva del accidente en dependencia de que sean explotadores/operarios, por un lado, o proyectistas/constructores por el otro. Esta división influye de manera decisiva en que hasta hoy día no se tenga una versión concluyente sobre la secuencia que condujo al desenlace catastrófico, ni cuál fue el número y el carácter de las explosiones: una, dos o más; térmicas o de origen nuclear (acápite 5). Para sustentar estas razones tecnológicas se ha empleado bibliografía especializada y otras fuentes testimoniales publicadas en idioma ruso. Se ha contado, además, con el conocimiento aportado por las entrevistas personales a ingenieros especializados en el RBMK-1000, incluyendo a protagonistas del accidente. Al culminar con esta perspectiva ingenieril, el artículo exhorta a recapacitar sobre el desafío epistemológico que representa el carácter único del riesgo nuclear y radiológico para el campo de estudios CTS.

2. Las dos versiones del INSAG

En medio de una creciente expectativa internacional, cuatro meses después de haber ocurrido el desastre nuclear, el académico Legásov presentó en Viena el documento “Información sobre el accidente de Chernobyl y sus consecuencias, preparada para el OIEA”. Este informe se basó en las conclusiones de una comisión gubernamental para el estudio de las causas de esa avería y la ejecución de las actividades de emergencia y rehabilitación necesarias. Entonces se conoció por primera vez que el accidente estaba relacionado con la inconsulta y, a la postre, desafortunada ejecución de un experimento por iniciativa de los directivos de esa planta. Su propósito era averiguar cuánto tiempo continuaría generando energía eléctrica uno de los dos turbogeneradores de 500 MW pertenecientes a la cuarta unidad, mientras se frenaba su rotor, luego de que le fuera cortada la afluencia de vapor. Este remanente de energía quería aprovecharse para garantizar el suministro de electricidad a las bombas del circuito refrigerante (circulación y alimentación) del RBMK-1000, cubriendo el período de 35 segundos que demorarían en hacerlo las fuentes de emergencia (generadores diésel).

Publicado en la revista *Atomnaya Energuiya*, ese primer informe del accidente establece un correlato entre las acciones de los operarios durante la ejecución del experimento, declaradas por ellos mismos como protagonistas o testigos; la información técnica registrada por los sistemas computarizados, a duras penas recopilada, y un modelo matemático para integrar estas evidencias. Su conclusión fue la siguiente:

Los operadores de la instalación nuclear no tuvieron en cuenta los sistemas defensivos de protección capaces de evitar la avería, haciendo coincidir la desconexión intencional de los medios técnicos de defensa con la violación del reglamento de explotación, considerando que esa combinación de eventos era imposible. Por lo tanto, la causa principal del accidente fue una combinación extremadamente improbable de violaciones de los procedimientos por parte del personal de operación de la central. (Abagyan, 1986, 15)

Este dictamen fue refrendado por el Grupo Asesor Internacional de Seguridad Nuclear (INSAG por sus siglas en inglés), creado para asesorar al director general del OIEA. Los mismos términos del documento soviético fueron reproducidos en el INSAG-1, primer informe público de esa agrupación experta. Esa completa atribución de la responsabilidad al personal de operación propició que, pocos meses después, fueran condenados a duras penas de prisión en un juicio manipulado donde ningún experto estuvo de su parte para defenderlos. No obstante, si bien el accidente podía ser achacado a un dislate humano, este había funcionado como un test del RBMK-1000 que debía ser continuado. ¿Cómo es posible que un reactor nuclear pudiera estallar como una bomba debido a las decisiones erradas de sus operarios? ¿Y si hubiera sido un sabotaje o —como se diría hoy día— un acto terrorista?

A tratar de responder a esas interrogantes se dedican otros dos informes soviéticos también oficiales, ambos fechados en 1991; o sea, cinco años después de la catástrofe: el informe de la comisión gubernamental de la URSS para la supervisión de las mejoras de seguridad introducidas en la industria y energética nucleares, y el informe con los resultados de una modelación matemática más rigurosa del accidente. Con esa nueva información, los expertos del OIEA publican el INSAG-7 en 1992, que es una revisión total del INSAG-1. Para ese momento ya se había producido la desintegración de la URSS hacía poco menos de un año, en diciembre de 1991. A ese colapso socioeconómico que decidió la Guerra Fría contribuyó notablemente la catástrofe de Chernobyl, provocando el descrédito del sistema científico nuclear soviético. Es lo que rezuma el INSAG-7 en su penúltimo apartado, titulado “Observaciones generales sobre la falta de cultura de la seguridad”:

(...) el INSAG apoya la opinión actualizada de que en la Unión Soviética, antes del accidente de Chernobyl, no había una apropiada cultura de la seguridad. Muchos de los requisitos de la cultura de la seguridad existían en los reglamentos, pero no se cumplían en la práctica. Muchas otras cuestiones esenciales no existían en lo absoluto. Las prácticas dentro de las centrales nucleares, y la experiencia de Chernobyl no se diferenciaba de las demás, carecían de los componentes de la cultura de la seguridad. (IAEA, 1992, 27)

Cada uno de esos informes del OIEA tributa a dos épocas distintas: antes y después de la desaparición de la URSS. El INSAG-1 responde a los intereses de los proyectistas y constructores del RBMK-1000 cuando todavía estos renombrados expertos soviéticos pueden salvar su responsabilidad, inculpando únicamente a los explotadores de la planta. Ya desintegrada esa potencia mundial, el INSAG-7 sistematiza las nuevas informaciones recibidas sobre el accidente como colofón del proceso que, desde 1989 a 1991, puso al descubierto las interioridades del sistema tecnocientífico nuclear en ese país, exponiéndolas a la experticia de sus homólogos extranjeros (Schmid, 2015).

Este segundo informe del OIEA funciona con un propósito ambivalente: reconoce que las verdaderas causas tecnológicas del desastre son las deficiencias constructivas del reactor, pero mantiene la responsabilidad de los operarios/explotadores. De esta manera se aprovecha para enjuiciar a toda la energética nuclear en la Unión Soviética, empleando el nuevo concepto de “cultura de la seguridad”. Introducido por primera vez en el INSAG-1, este término fue conceptualizado en el INSAG-4 para aplicarlo concretamente a la experiencia de Chernobyl. Aunque aparentan ser neutrales, todos estos documentos evidencian el trasfondo genésico de la energética nuclear como tecnología inherentemente política (Winner, 1996). Tanto es así que, a pesar de descalificar rotundamente a la rama atómica en la URSS, el veredicto final del OIEA sobre Chernobyl omite que el RBMK-1000 fue concebido para la producción simultánea de energía eléctrica y plutonio con fines bélicos. Sobre este aspecto crucial tampoco se ofrece ningún indicio en los informes gubernamentales soviéticos y postsoviéticos.

2. El testimonio inconcluso del académico Legásov

A incrementar la confusión de las versiones oficiales sobre el accidente ha contribuido la miniserie *Chernobyl* de HBO y Sky. Al valerse de las memorias inconclusas del académico Legásov como garantía de credibilidad, esa obra de ficción constituye ella misma un documento historiográfico y, a la vez, un ejemplo fehaciente de la construcción sociopolítica de Chernobyl en el imaginario colectivo. Para los propósitos de este artículo resulta muy reveladora su simplificación cronológica de que las causas tecnológicas de la explosión del RBMK-1000 fueron totalmente dilucidadas antes del suicidio del científico en 1988. De este modo se elude que existió una revisión del INSAG-1 por el INSAG-7 en 1992, ignorando ambos veredictos de la experticia internacional. Asimismo, el guion cinematográfico incurre en la falsedad histórica de que Legásov participó en el juicio a los acusados de provocar el desastre debido a su irresponsable ejecución del experimento.

Estas audiencias se celebraron a puertas cerradas desde el 11 hasta el 27 de julio de 1987. Su versión taquigráfica apareció por primera vez en el libro *Chernobyl. La venganza del átomo pacífico*, escrito por el ingeniero físico Nikolai Karpan, quien trabajó en esa central atómica y tuvo acceso a las sesiones. Aunque ya entonces se habían publicado los primeros informes soviéticos sobre el accidente, así como el INSAG-1, todavía quedaba por dilucidar si la explosividad del RBMK-1000 era intrínseca a este modelo, pues de serlo había una decena de reactores igualmente en alto riesgo. A este factor de la explosividad apenas se dedicaron vagas referencias durante el juicio, cuyo propósito era que los operarios se declarasen ellos mismos culpables de antemano, reconociendo su desatino (Karpan, 2005).

Si bien el académico Legásov mantuvo siempre que esas personas fueron justamente condenadas, terminó reconociendo que la mayor culpabilidad recaía en los proyectistas/constructores del RBMK-1000, quienes por eso también debían ser enjuiciados. A la postre, el científico corrigió aquel primer veredicto sobre las causas tecnológicas del accidente que había defendido como vocero oficial de la delegación soviética en la reunión del OIEA en Viena. Este cambio de opinión es el conflicto moral que traslucen sus memorias inconclusas. Una versión abreviada de las mismas fue publicada en el periódico *Pravda*, el 20 de mayo de 1988. Años después, la transcripción de esas cintas magnetofónicas fue dada a la luz íntegramente, salvo con algunos borrones inaudibles, por la viuda de Legásov en 1996 (Legásov, [1988]1996).

Aunque aparece disperso, repetido y confuso, el contenido de ese testimonio puede dividirse en dos grandes bloques temáticos. La parte más autobiográfica describe la actuación de Legásov como miembro de la primera comisión gubernamental que, desde el 26 de abril en la noche, se instaló en la ciudad de Prípiat para organizar y dirigir las acciones de emergencia y rehabilitación post-accidente. Siendo la mayor autoridad científica entre los comisionados, desde que llegó

a la CEN de Chernobyl, el académico se dedicó a la identificación y reducción de los daños; en especial, a la búsqueda de una solución urgente para detener la liberación radiactiva desde el cráter del cuarto bloque derruido. Tras comprobar que decaía la reacción de fisión nuclear en la masa uránica, propuso una solución inédita: verter desde helicópteros una mezcla de boro, plomo, dolomita, arena y arcilla para detener la combustión de los bloques de grafito.

Aunque su labor como experto fue decisiva, a Legásov no le fue concedido el premio de Héroe del Trabajo Socialista que recibieron otros participantes en la consecución del proyecto “Resguardo” (*Ukrytie* en ruso), que así fue denominado oficialmente el sarcófago de Chernobyl. Al decir de su esposa, hija y otras personas cercanas, este agravio alteró su estado de salud mental. Padecía una severa depresión clínica desde que se le diagnosticó una pancreatitis crónica por los efectos de la radiación, además de frecuentes insomnios y otras secuelas relacionadas con el estrés acumulado. También le afectaban las desavenencias en el seno de la comunidad tecnocientífica nuclear; en especial la hostilidad hacia su persona por una parte de los miembros del Instituto Kurchátov (Soloviov *et al.*, 2020).

Su profunda decepción se advierte en el segundo bloque temático de su testimonio, dedicado a las valoraciones críticas sobre la evolución histórica de la energética nuclear en la URSS, la necesidad de una renovación conceptual en el ámbito de la seguridad y las características negativas del RBMK-1000. A tenor con las lecciones de Three Mile Island en 1979 y la catástrofe de Bhopal en 1984, Legásov se había interesado en desarrollar una nueva filosofía de la seguridad nuclear, incluyendo el empleo de métodos probabilísticos. Sin embargo, reconoce que la física y la técnica de los reactores nucleares eran para él “un campo vedado, tanto por mi propia formación profesional, como por el tabú que habían instaurado el propio Anatoli Petróvich Alexándrov y sus subordinados dedicados a ese campo. A ellos no les gustaban mucho las intromisiones de personal ajeno en sus asuntos profesionales” (Legásov, [1988]1996).

Para Legásov había sido un “error filosófico” que el RBMK-1000 fuera concebido sin ninguna barrera de contención o encapsulamiento, a diferencia de los reactores occidentales PWR (Pressurized Water Light Reactor) y BWR (Boiling Water Reactor), cuya versión rusa son los VVER y VK: “El mayor crimen que se cometió fue haber sumido a la energía atómica soviética en la filosofía vandálica de autorizar la construcción de reactores sin cápsula. Si hubiera habido cápsula, el RBMK simplemente no hubiera surgido. Como no surgió en ningún otro lugar del planeta este tipo de reactor” (Legásov, [1988]1996). En su opinión, el origen de esa “ideología del RBMK-1000” se remontaba a mediados de la década de 1960, cuando el gobierno soviético comprendió que se había retrasado en la implementación de la energía atómica, al priorizar el desarrollo termoenergético basado en el carbón. Entonces se decidió adaptar apresuradamente el modelo

grafito-agua de reactor industrial —o sea, militar— a la esfera nucleenergética de interés civil, pero no se tuvo en cuenta que las condiciones de explotación serían distintas en cuanto a calificación del personal, control y disciplina.

Al increpar a los *reaktorchiki* (especialistas en reactores), reprochándoles por esa falta de previsión, Legásov destapa algunas interioridades de la comunidad tecnocientífica nuclear como el divorcio institucional que existía entre el director científico del RBMK-1000 —o sea, Anatoli Alexándrov— y su constructor principal: Nikolai Dollezhal. Pero solo considera como culpable de Chernobyl a este último, sin mencionarlo por su nombre, mientras que exonera de responsabilidad a Alexándrov, justificando que este aceptó dicho modelo de reactor bajo presión gubernamental. Estas opiniones contradictorias de Legásov debieron granjearle la animadversión de muchos físicos nucleares, tanto proyectistas/constructores como explotadores/operarios, quienes verían con recelo que un químico tratara de validarse políticamente como el adalid de la filosofía de la seguridad nuclear, entrometiéndose en una rama ajena a sus conocimientos.

Por no ser un *reaktorchik*, aunque fuese un gran tecnólogo y químico nuclear, difícilmente Legásov hubiera podido evaluar cuáles eran las adversidades del RBMK-1000 que causaron su explosión, hasta entonces escondidas, minimizadas o dadas por infundadas por sus artífices. Al fabular que el infortunado académico llegó a denunciar las graves deficiencias de ese prototipo antes de suicidarse, el guion cinematográfico de HBO y Sky le concede la oportunidad que no tuvo en vida real y, a su vez, la posibilidad de arrepentirse públicamente por su actuación en Viena. Ningún percance tecnológico ha generado tanta polémica, mezclando realidad y fantasía, verdad y falsedad. Si Chernobyl es un “accidente postnormal”, se debe —sobre todo— a su tendenciosa construcción sociopolítica como suceso irrepetible que contribuyó al desenlace de la Guerra Fría, cambiando la historia de la Humanidad.

3. El RBMK-1000: “matar dos liebres de un tiro”⁴

El RBMK-1000 fue concebido aprovechando la experiencia soviética en el diseño y explotación de sus primeros reactores militares basados en el empleo del grafito (moderador) y el agua ligera (refrigerante) para la producción de plutonio-239. Esta serie comenzó experimentalmente en el Laboratorio No. 2, donde hoy se encuentra el célebre Instituto Kurchátov, con la concepción y prueba exitosa en 1946 del reactor F-1. Este fue el homólogo soviético del Chicago Pile-1, el prototipo pionero estadounidense que Enrico Fermi y Leó Szilárd diseñaron para conseguir —por primera vez— la sostenibilidad o “criticalidad” (*critically*) de la reacción de fisión nuclear en cadena. Pero, a diferencia de este modelo horizontal

⁴ Sería el equivalente a la expresión hispana “matar dos pájaros de un tiro”. Se ha mantenido la forma original para recalcar que proviene de una fuente bibliográfica solamente conocida en idioma ruso.

estadounidense, los rusos introdujeron la disposición vertical del combustible en canales tecnológicos, implementando novedosas soluciones técnicas para su enfriamiento con agua y para la descarga de los bloques de uranio irradiados con destino a las plantas de reprocesamiento.

Siempre bajo la dirección de Ígor Vasílievich Kurchátov, físico eminente, correspondió al ingeniero mecánico Nikolái Dollezhal construir el primer reactor soviético a escala industrial: el A-1 (de *Annushka*, Anita). Este comenzó a funcionar en 1948 en el complejo Mayak y produjo el material físil para la bomba atómica estrenada al año siguiente por la URSS. Enfriado por agua que era tomada y vertida directamente a una reserva acuífera (río o lago), ese prototipo vertical de reactor militar plutonígeno fue considerado idóneo por los soviéticos para adaptarlo con fines energéticos, acoplándolo como una caldera al turbogenerador, según el circuito térmico tradicional. De esta manera, Kurchátov y Dollezhal concibieron el AM-1, llamado así por las siglas de *Atomni Mir* (Átomo Pacífico), puesto en servicio el 26 de junio de 1954 en la CEN de Obninsk, reconocida como la primera de su tipo en el mundo. Luego siguieron sus versiones ampliadas AMB-1 y AMB-2 (*Atomni Mir Bolshoi*; Atómo Pacífico Grande), estrenadas en 1964 y 1967 en la central electronuclear de Beloyarsk, llamada I. V. Kurchátov en honor al científico tras su deceso en 1960.

Según reconoce el propio Dollezhal en su libro testimonial *En los orígenes del mundo artificial. Apuntes de un constructor* (Dollezhal, 1989), el RBMK-1000 se propuso “cazar dos liebres de un tiro”: combinar la producción de isótopos y las funciones energéticas. No se trataba ya solamente de concebir un reactor agua-grafito de gran potencia para la generación exclusiva de electricidad, sino de que también mantuviera incorporada su función militar primigenia: la producción de plutonio 239. Esta idea surgió dentro del grupo de científicos soviéticos que asistieron a la segunda y tercera conferencias de Ginebra sobre los usos pacíficos de la energía nuclear, celebradas en 1958 y 1964. Aprobada en 1966 por las instancias gubernamentales, la realización del RBMK-1000 tendría la dirección científica de Alexándrov, secundado por el también físico Saveliy Feynberg, a quien suele atribuírsele el proyecto en lo que concierne a la física neutrónica. Su constructor principal fue también Dollezhal, encargado de las partes termohidráulica, mecánica y demás aspectos ingenieriles.

El RBMK-1000 consta de una estructura de grafito para la disposición vertical de los canales tecnológicos (cerca de 2500), la inmensa mayoría de los cuales (entre 1400 y 1600) son canales de combustible (ver esquemas 1 y 2). Estos últimos son tuberías de circonio con un par de conjuntos combustibles (TVS en ruso, de *Teplo Videliayuchie Sborniki*), uno encima de otro, cada cual con 18 barras de dióxido de uranio poco enriquecido: al 1,8 % en los primeros prototipos y después al 2 % (Dollezhal y Yemelianov, 1980). El agua hierve dentro de esos canales y el vapor es separado en un domo, como si de una caldera tradicional se tratase, para dirigirlo hacia la turbina. Al no requerir vasija para el cuerpo del

reactor, ni un generador de vapor independiente, este diseño facilita conseguir el doble uso —civil y militar—, extrayendo dichos conjuntos de combustible (TVS) del interior de los canales tecnológicos con ayuda de una máquina de recarga. No hace falta detener el reactor para recoger la “cosecha” de plutonio-239. El RBMK-100 resultó un artefacto híbrido, único de su tipo en el mundo, simbiosis entre reactor militar plutonígeno y soluciones de la energética tradicional para ensamblarlo con el turbogenerador en un ciclo térmico directo (esquema 3).

Dichas ventajas fueron esgrimidas cuando en los países occidentales comenzó a elevarse la potencia de los reactores nucleares hasta 1000 MW para hacerlos más rentables. Esta tendencia era liderada por los PWR y BWR, ambos llamados de agua ligera (Light Water Reactors, LWR) porque emplean ese elemento como refrigerante y moderador neutrónico. Dominada por los estadounidenses desde 1955, luego de su exitosa aplicación en los submarinos nucleares, esa tecnología comenzó a ser implementada por los soviéticos a partir de 1964, cuando pusieron en servicio el primer VVER con 200 MW de potencia eléctrica en la CEN de Novovorónezh. Pero ese aumento de la potencia de los LWR requería grandes vasijas a prueba de presión, un componente para el cual la industria nacional no estaba todavía preparada desde el punto de vista constructivo y metalúrgico. A favor del RBMK-1000 pesó la existencia previa de una infraestructura de construcción de maquinarias asociada a sus ancestros militares, con vasta experiencia en el procesamiento del grafito (Kruglov, 1995; Burlakova *et al.*, 2006).

Hasta el momento del desastre en 1986, el RBMK-1000 era divulgado públicamente como un modelo de eficiencia técnica y económica, además de considerarse confiable por sus creadores en términos de seguridad. Sin hacer mención alguna a su ventaja de “cosechar” plutonio-239, se destacaba que su máquina de extracción y recarga permitía sustituir un canal ligeramente dañado; es decir, con alguna rotura o fusión de las barras de combustible en su interior. No era necesario, por tanto, detener la instalación en caso de tal avería. Bastaba con clausurar dicho canal y sustituirlo por otro, instaurándose la llamada “segmentación del circuito del refrigerante” (Dollezhal y Yemelianov, 1980, 182). Este recambio sobre la marcha resulta imposible hacerlo en los LWR, tanto en los PWR como en los BWR, ya que estos reactores de agua ligera tienen todos sus componentes encerrados dentro de la vasija. Por estas presuntas ventajas, el RBMK-1000 llegó a ser elogiado como la “solución radical de la seguridad” (Petrosian, 1985, 182).

¿Qué era preferible potenciar entonces: el reactor de vasija dominado por Occidente o el reactor de canales únicamente desarrollado en Rusia? Aunque los expertos soviéticos se dividían al respecto, sus debates no trascendían a partir de cierto nivel de jerarquía organizacional. Los partidarios del RBMK enarbolaban que su potencia podía ser aumentada sin mayores complicaciones, mientras que los LWR estaban limitados por la resistencia metálica de su vasija a la presión del refrigerante en su interior. Luego de haber conseguido que el RBMK-1500 fuera el reactor más potente del mundo, comenzaron planes para crear el RBMK-2000

y el RBMK-3600, así como los RBMKP-2400 y RBMKP-4800 (Dollezhal y Yemelianov, 1980). Estos planes recibieron un tremendo impulso a partir de 1979, el mismo año que ocurrió la avería de Three Mile Island, cuyas lecciones fueron totalmente desestimadas por los expertos soviéticos (Sidorenko, 2002).

4. El RBMK-1000 y sus paradojas de la seguridad

Fue a raíz de Three Mile Island que surgieron las dos principales reflexiones teóricas o escuelas de pensamiento sobre la causalidad de los accidentes en sistemas tecnológicos complejos: la Teoría de los Accidentes Normales (Normal Accident Theory, NAT) y la Teoría de las Organizaciones de Alta Fiabilidad (High Reliability Organizations Theory, HROT). Ambas quedaron planteadas por sus dos respectivos autores: Charles Perrow y Tod La Porte en una obra colectiva dedicada a aquella avería (Sill *et al.*, 1982). Mientras la primera teoría se centra en la complejidad estructural de los sistemas tecnológicos (Perrow, 1982, 1984, 1999), la segunda enfatiza en la complejidad organizacional y procedimental (La Porte, 1982; Weick y Sutcliffe, 2001). Su principal desacuerdo ha sido en torno a si pueden ser evitados los accidentes de potencial catastrófico: la HROT sostiene que sí; la NAT insiste que no. Estas teorías han servido como contrapartida de los científicos sociales a la implementación acrítica de la evaluación probabilística de riesgos por los expertos en seguridad.

La tesis fundamental de la NAT es intratécnica: un *normal accident* se produce porque una conjunción de fallas triviales en sí mismas se convierte en seria cuando estas interactúan de manera múltiple e inesperada (*complex interactions*) a partir de un suceso o causa inicial que no pudo ser contenido o aislado porque el sistema tecnológico ha sido diseñado “rígidamente acoplado” (*tigh coupling*). Esto explica que sean “accidentes normales” en el sentido de inevitables, aunque deparen sorpresas tecnológicas a los propios expertos. Por ejemplo: en Three Mile Island se puso de manifiesto el llamado “fallo de causa común” (*common cause failure*), tardíamente identificado en el campo nuclear, pero que ya se conocía por la ingeniería eléctrica desde 1967 (Hagen, 1980).

A las dos propuestas teóricas antes mencionadas —NAT y HROT— se sumaron los aportes del Análisis de la Fiabilidad Humana (Human Reliability Analysis, HRA), principalmente los dedicados a la taxonomía del error humano (Reason, 1990a) y a la ingeniería de sistemas cognitivos (Rasmussen, 1986). Estos estudios cobraron gran interés entre ingenieros y psicólogos como respuesta a la tendencia justificativa de atribuir la responsabilidad de los accidentes únicamente a la ineptitud de los operarios/explotadores de la tecnología. Si ya esto había ocurrido durante Three Mile Island, aunque se reconocieran algunas dificultades del equipamiento, la publicación del INSAG-1 como primera versión oficial del OIEA sobre lo ocurrido en Chernobyl obligó a profundizar en la interacción del hombre con el reactor nuclear, destacando la importancia del contexto en que

los operadores de primera línea ejercen su actividad, incluidos los factores socio-culturales e ideológicos.

A la postre se entendió que un abordaje que privilegie solamente el error humano como causa fundamental de los accidentes, no esclarece sino que —por el contrario— oscurece la comprensión de cómo estos ocurren, o lo que es peor: oculta sus verdaderas causas. Es por eso que se fue produciendo un abandono de la perspectiva individual de la fiabilidad humana hacia un reconocimiento de que “hemos entrado en la era del accidente organizativo” (Reason, 1990b, 18). Sobre esa base, la HERTO incorporó los resultados del HRA, desarrollando el concepto de “cultura de la seguridad en las organizaciones” (Reason, 1997; Hopkins, 2009).

Ese enfoque organizacional y cultural interiorizó las aportaciones de la NAT, conciliándolas con la HERTO y el HRA, para subrayar las llamadas “paradojas de la seguridad”. Significa que las defensas, barreras físicas y salvaguardias no solo protegen un sistema, sino que también pueden provocar su catastrófica descomposición (Rijpma, 1997; Reason, 2000). Esto sucede porque la interrelación entre complejidad interactiva, acoplamiento rígido y fiabilidad humana puede generar tres problemas:

1. el problema *trade-off* (o lo uno o lo otro), cuando la organización se encuentra ante el conflicto de priorizar las exigencias de producción o velar por su protección;
2. el problema del control, cuando las normas previstas de operación resultan inapropiadas o extemporáneas en determinados contextos de actuación, y
3. el problema de la “opacidad”, cuando la defensa en profundidad y sus sistemas redundantes pueden ocultar un peligro latente o inducir una falsa seguridad en los mantenedores y operadores del sistema.

Aunque todavía no ha cesado el debate entre la HERTO y la NAT, esta propuesta conciliadora de ambas teorías —incluyendo también al HRA— permite analizar la pertinencia de atribuir a Chernobyl el carácter de “accidente postnormal”, ahora desde un punto de vista intratécnico. A favor de esta revisión conceptual se maneja una de las mayores limitaciones que la HERTO señala con razón a la NAT: su falta de criterios específicos para saber cuán inevitable resulta un accidente en dependencia de cuál sea el grado de complejidad interactiva o de acoplamiento rígido que tenga el sistema tecnológico complejo (Hopkins, 1999, 2001). Esta deficiencia epistemológica compromete la aplicabilidad empírica de la NAT y, por tanto, resulta imposible someterla al criterio popperiano de falsación (Rosa, 2005).

A Perrow también se le tilda de profesar un determinismo tecnológico, pero aun así no ha dejado de sostener que los accidentes normales seguirán ocurriendo en la sociedad moderna, ejemplificando con Fukushima Daiichi (Perrow, 2011).

En efecto, al quedar sumergidos los generadores emergentes de energía eléctrica bajo las olas del tsunami, salió a relucir otra vez el fallo de causa común como una deficiencia potencial de los sistemas tecnológicos complejos. Al igual que sucedió en Three Mile Island, los reactores de la central japonesa sufrieron la fusión de sus núcleos por la pérdida total de enfriamiento. También se produjo la tremenda amenaza, cumpliéndose al fin y al cabo, de que explotara el hidrógeno desprendido debido a la oxidación del circonio de las vainas de combustible. Esto hace que, aunque difieran por su potencial catastrófico, esos accidentes puedan homologarse bajo el enfoque intratécnico de la NAT por la “repetición” de sus causas tecnológicas⁵.

Sin embargo, cuando se trata de caracterizar a Chernobyl, resulta muy dificultoso restringirlo a la categoría de *normal accident*, al no poder definirse si era “repetible” o “inevitable”. Esta indefinición conceptual puede asociarse a la confusión de los informes oficiales del OIEA, priorizando la primera versión del accidente sobre la segunda u “oscilando” entre una y otra, sin tomar partido por ninguna. Por ejemplo: si se asume únicamente el INSAG-1, la explosión del RBMK-1000 pudo haberse evitado, ya que “la causa principal del accidente fue una combinación extremadamente improbable de violaciones de los procedimientos por parte del personal de operación de la central”. Pero esta conclusión no exige que una situación similar podía repetirse a pesar de su declarada baja probabilidad. Si algo puede reprochársele al académico Legásov es que callara sobre este tema durante su intervención en Viena, porque ya entonces suscitaba gran preocupación en la comunidad tecnocientífica nuclear soviética.

Al revelar el INSAG-7 que las graves deficiencias tecnológicas del RBMK-1000 eran conocidas por averías anteriores, hasta entonces escondidas o subestimadas por sus artífices, esa posibilidad de “repetición” quedó confirmada cuando se comprobaron retroactivamente algunos episodios adversos con daños parecidos: la rotura de varios canales de combustible, por ejemplo. Pero esto no significaba que fuera inevitable un accidente con el grado de irreversibilidad de Chernobyl: una explosión, dos o más de naturaleza indefinida. Tamaña manifestación de potencial catastrófico obedeció a la concepción singular del RBMK-1000 como prototipo dual (militar y civil) para la producción simultánea de energía eléctrica y plutonio-239. Esa explosividad estaba implícita como “paradojas de la seguridad” en el diseño de su zona activa y de la defensa en profundidad, incluido el sistema de

⁵ Aunque el significado primigenio de “normal” para Charles Perrow está relacionado con el carácter “inevitable” de los accidentes por razones tecnológicas y organizacionales, también se ha relacionado con el significado de “repetible” en otras investigaciones sobre seguridad. Para fundamentar el concepto de *postnormal accident*, enmendando a Perrow, el investigador francés Jean-Christophe Le Coze tiene en cuenta el aumento de la “repetición” de los accidentes con potencial catastrófico en el siglo XXI debido a las presiones sociotecnológicas que impone la globalización (Le Coze, 2015, 2020).

control y protección. A esta complejidad recóndita y paradójica del RBMK-1000 se debía que, “a pesar de sus años de funcionamiento, no todos los aspectos de la física nuclear se conocieran completamente” (Sagan, 1993, 34).

4.1 El problema *trade-off* (o lo uno o lo otro)

Esta paradoja de la seguridad atañe a la posibilidad de “autoaceleración” o “embalamiento” neutrónico del RBMK-1000 debido al llamado *coeficiente positivo de vapor o huecos*. Las burbujas de vapor son consideradas “huecos” o “vacíos” porque dejan pasar los neutrones sin absorberlos. Esta característica sumamente adversa se debe a cómo fue proyectada la zona activa de ese reactor nuclear. Entre otros factores resulta determinante la dimensión y geometría de los bloques de grafito como rejilla-soporte de cada uno de los canales con las dos TVS y sus 18 barras de dióxido de uranio percápita. A esto se suma el grado de enriquecimiento con uranio-235 (1,8% en un inicio) y cuánto tiempo el combustible permanece dentro del núcleo hasta conseguir la “profundidad de quemado”; o sea, la estipulada composición isotópica tras ser irradiado.

Los proyectistas eligieron estos parámetros para obtener plutonio-239 con fines militares, a la par que ese modelo satisficiera los requisitos de eficiencia técnica y económica durante la generación de energía eléctrica. Es por eso que el coeficiente de vapor de la reactividad se tornaba altamente positivo en los regímenes de trabajo a baja potencia, a diferencia de los tradicionales reactores plutonígenos industriales —o sea, militares— donde dicho coeficiente es menor o hasta negativo (Rumyantsev, 2011, Borisenko, 2017). Al proponerse “cazar dos pájaros de un tiro” (energía eléctrica y plutonio-239), se manifestó el problema *trade-off*: o se velaba por cumplir la doble meta de producción (militar y civil), o se priorizaba la defensa en profundidad en cualquier circunstancia. ¿Hasta qué punto esta fue la verdadera razón del secretismo alrededor de los percances del RBMK-1000 a lo largo de su historial de explotación? ¿Llegó a “cosecharse” plutonio-239 con fines bélicos en ese prototipo de reactor nuclear? Estas cuestiones todavía quedan sin aclarar por la historiografía del accidente.

4.2 El problema del control

Los graves percances del RBMK-1000 salieron a relucir cuando fueron analizados en retrospectiva tres accidentes que ya evidenciaban el problema del control, en el sentido de que las normas previstas de operación eran confusas, contradictorias o no precisaban cómo actuar en consonancia con las características físicas adversas del reactor. Las pruebas documentales de tales episodios fueron exhumadas para demostrar que esos problemas eran sabidos tanto por Dollezhal

como Alexándrov. Ellos habrían encubierto de manera premeditada esos episodios y de ahí que fueran los verdaderos culpables del desenlace fatal (Dyatlov, 2003; Sharaevski *et al.*, 2016).

Fueron identificados dos sucesos precursores en 1975 y 1983, respectivamente, así como otro percance en la propia CEN de Chernobyl en 1982. El primero de esos accidentes había tenido lugar en la CEN de Leningrado y, por sus características, se considera el augurio de Chernobyl. Tras aquella avería se adoptaron varias medidas para disminuir el coeficiente positivo de vapor o huecos, como fue aumentar el enriquecimiento del combustible desde 1,8 % a 2 %. Entonces se reglamentó que la reserva mínima operativa de reactividad (OZR por sus siglas en ruso; de *Operativny Zapaz Reaktivosti*) fuera quince barras reguladoras. Por este indicador se entiende la reactividad positiva que alcanzaría el RBMK-1000 si fueran sacadas de su interior todas las barras del sistema de control y protección; o sea, todos los "frenos". Las normas de operación estipularon que, por debajo de ese número, había que apagar el reactor nuclear como medida de precaución.

Existía muy poca experiencia de trabajo con el RBMK-1000 en arranques, paradas y otros regímenes transitorios a potencia mínima, cuando los sistemas automáticos eran desconectados y el control del reactor nuclear pasaba a depender de la pericia e intuición de los operadores. Estos se veían obligados a realizar hasta mil operaciones en una hora (Karpan, 2005). Durante la maniobra del cuarto bloque de Chernobyl para efectuar el experimento se produjeron bruscas disminuciones de su potencia térmica, provocando el "envenenamiento" por xenón-135 a partir del yodo-135. Por su elevada sección eficaz para absorber neutrones (hasta 100 veces más que el uranio-235), esos elementos perjudican la reacción de fisión nuclear en cadena. Para compensar esa caída de potencia, los operadores sacaron casi todas las barras reguladoras (205 de las 211 existentes), dejando apenas seis en la zona activa por un corto tiempo.

Este proceder sí puede considerarse una violación constatada de las normas de seguridad, pero los operarios del RBMK-1000 nunca habían sido alertados de que la disminución de la OZR por debajo de quince barras podía no ya ser peligrosa, sino fatal. La razón vino a saberse solamente después de la catástrofe: por debajo de esa cantidad, la reinserción de esas barras no disminuiría, sino que incrementaría la reactividad de manera incontrolable cuando todas fueran introducidas al unísono para apagar el reactor, accionando el interruptor conocido como AZ-5 (*Avarinnaya Zashita*; Protección contra Avería). Por increíble que parezca, esta paradoja solo se hizo transparente después de Chernobyl. Tal es así que, aunque el cálculo computacional de la OZR se reportaba por escrito, no había ningún indicador permanente de su valor en el panel de control, ni señalización preventiva para alertar a los operarios y tampoco una protección automática frente a tamaña peligrosidad.

4.3 El problema de la “opacidad”

Los medios de control y protección del RBMK-1000 eran entendidos y asimilados por los operarios como un recurso infalible que permitía parar el reactor nuclear en cualquier circunstancia, según el principio SCRAM o “apagado rápido”. Bastaría accionar el interruptor AZ-5 para que todas las barras absorbentes de neutrones (reguladoras y protectoras) fueran introducidas en la zona activa y se interrumpiera la reacción de fisión nuclear en cadena. Ni por asomo se sabía entonces que esos mismos medios de defensa podían conducir a la desintegración catastrófica del sistema tecnológico. No era solamente un problema de control —como era mantener un valor adecuado de la OZR—, sino también un problema de “opacidad” porque subyacía un peligro latente bajo una certeza de completa seguridad que resultaría falsa a la postre.

Compuestas por un absorbente neutrónico (carburo de boro), esas barras de control y protección tenían una terminación de grafito en su punta para evitar que, cuando fueran extraídas, el agua ocupara todo el espacio que dejaban vacante (ver esquema 4). Esto se hizo con el fin de evitar la absorción perniciosa de neutrones por el agua y, en su lugar, propiciar la presencia beneficiosa del grafito como moderador de estas partículas. Sin embargo, se habían dejado 140 cm de agua por encima y 125 cm por debajo de esa terminación de grafito, además de que tanto el largo de la misma (4, 55 m) como de la barra absorbente (6, 2 m) eran menores que la altura de la zona activa (7 m).

La peligrosidad de esa errática solución de diseño se había puesto de manifiesto en 1983 cuando la inserción de dichas barras de control y protección provocó un despunte de reactividad positiva en un RBMK-1500 durante su parada en la CEN de Ignalina. Pero mucho peor sucedió en Chernobyl cuando, desplazando masivamente el agua, todas se quedaron atascadas dentro de los canales tecnológicos sin penetrar hasta el fondo de la zona activa. La función moderadora del grafito indujo una sobrecriticidad suficiente por sí misma para “embalar” neutrónicamente el reactor, o pudo sumarse a la ya provocada por el coeficiente positivo de vapor. El RBMK-1000 se hizo imparable no solamente porque se quedara sin “frenos”, sino porque estos se habrían convertido en “aceleradores”, tanto por la violación de la OZR como por el defecto constructivo de dichas barras.

5. La explosión del RBMK-1000: su naturaleza indefinida

¿Cuándo ocurrió la explosión del RBMK-1000 por sobrecriticidad incontrolada, antes o después de ser accionado el interruptor AZ-5? A esta interrogante se debe que hasta hoy día pervivan dos versiones irreconciliables sobre la secuencia del accidente: la “versión termohidráulica” de los proyectistas/construtores, quienes achacan ese desenlace fatal a los errores de operación, y la “versión neutrónica” de los explotadores, quienes atribuyen el desastre a las deficiencias constructivas del reactor nuclear, incluido su sistema de control y protección. A esas

versiones antagónicas corresponden sendos libros testimoniales que vieron la luz después de la muerte de Legásov. Aunque parezcan ya superados por informes técnicos posteriores, esos textos conservan su valor histórico y epistemológico porque reflejan cómo el factor de la “sorpresa tecnológica” influye de manera determinante en la atribución de responsabilidades entre los propios expertos durante la evaluación de sus fracasos (Hilgartner, 2009).

Uno de esos libros es *Chernobyl. Cómo fue*, cuyo autor es Anatoli Dyatlov, responsable del experimento y principal inculpado por lo sucedido. Recibió altísimas dosis de radiactividad y, aun así, fue condenado a diez años de prisión, que no llegó a cumplir pues fue liberado por su mal estado de salud. Terminó de escribir su testimonio apenas cuatro años antes de su muerte en 1995 y, publicado póstumamente, ha quedado como el dramático alegato de su pretendida inocencia. Su respuesta a las inculpaciones del INSAG-1 en una carta que envió al entonces director del OIEA, Hans Blix, fue publicada como artículo en la revista *Nuclear Engineering International* (Dyatlov, 1995). Aunque la figura de Dyatlov es muy maltratada en la miniserie de HBO/Sky, caracterizándolo como déspota y obcecado, paradójicamente el guion cinematográfico termina dándole la razón cuando se concluye que la explosión del reactor como una “bomba nuclear” sucedió luego de la activación del interruptor AZ-5. El detonador habría sido la inmersión de todas las barras de control y protección en la zona activa.

A esa hipótesis de la inserción fatal de las barras (reguladoras y protectoras) se opone resueltamente Nikolái Dollezhal en su ya mencionado libro testimonial, refutándola por ser una de las versiones “que consideran como principales culpables a los ‘neutrones’” (Dollezhal, 1989, 238). Hasta su muerte en 2000, el constructor del RBMK-1000 mantuvo su “versión termohidráulica” sobre la cavitación de las bombas del circuito primario, sosteniendo que la explosión tuvo lugar cuando se efectuaba el experimento durante el intervalo de 35 segundos entre la desconexión del turbogenerador y el accionamiento del interruptor AZ-5. Quiere decir: el reactor nuclear se “embaló” antes de que fuera accionada esa protección para el apagado. De esta manera, la secuencia causal del accidente queda supeditada a las decisiones erradas de los operarios, descartándose que hayan sido por los defectos constructivos del sistema de control y protección.

A tratar de fundamentar una u otra versión se han dedicados todas las investigaciones desde que ocurrió el accidente. Al explotar el reactor nuclear en apenas diez segundos, los datos registrados por los instrumentos son insuficientes y, tras ser descifrados con dificultad, han tenido que ser interpretados con métodos matemáticos y empleo de simuladores. Pero estas simulaciones dependen —a su vez— de cuál sea la versión de partida y, hasta hoy día, no existe una conclusión definitiva que haya podido integrarlas fehacientemente. Tampoco hay una respuesta conclusiva sobre el carácter de las dos explosiones que tuvieron lugar, según el testimonio de Dyatlov: “A las 01 horas 43 minutos 47 segundos, ocurrió una explosión que estremeció todo el edificio y, un segundo o dos después, por

mi percepción subjetiva, otra explosión aún más potente. Las barras de la protección contra accidente se detuvieron a medio camino. Y nada más” (Dyatlov, 2003, 31).

Con arreglo al estado final del RBMK-1000 en ruinas se ha tratado de explicar cómo pudo ocurrir ese desenlace catastrófico. Únicamente hay consenso en que una detonación tuvo lugar en la parte inferior de la zona activa (tercer cuadrante, sureste) (ver esquema 5). Según las modelaciones de la “versión neutrónica”, la inserción de las barras en el núcleo ocasionó tal sobrecriticidad local que esa explosión pudo haber tenido un carácter seminuclear (Karpan, 2005, Kravchuk, 2010). Otras modelaciones afirman lo contrario, corroborando la “versión termohidráulica”: el refrigerante de agua ligera no fue capaz de extraer la enorme cantidad de calor generado y se vaporizó en fracciones de segundo. Al aumentar la presión de la mezcla de vapor y gases, ocurrió una explosión química, descartándose que haya sido de índole nuclear ni tampoco de hidrógeno, pues se hubiera necesitado una enorme acumulación de ese gas extremadamente inflamable en muy poco tiempo (Abramov *et al.*, 2006).

No hay ninguna hipótesis convincente sobre cuál fue el carácter de la segunda explosión, salvo que fue más potente, pues apenas ha sido estudiada. Esta dimensión incognoscible de la “irreversibilidad”, cuando el sistema tecnológico se destruye en fracciones de segundos, obliga a entender que Chernobyl supera el concepto de “accidente normal” en los términos manejados por Charles Perrow. A diferencia de Three Mile Island —e, incluso, de Fukushima Daiichi—, los expertos nucleares no pueden ofrecer una versión concluyente que identifique cuál fue el suceso inicial, el fallo crucial y la secuencia accidental hasta la destrucción definitiva del RBMK-1000⁶.

“¿Cuáles de esos puntos débiles causaron el accidente? ¿Tiene realmente valor conocer cuál de esas deficiencias fue la causa real, si cualquiera de ellas pudo ser potencialmente el factor determinante?” (IAEA, 1992, 17). Al optar por abrir estas interrogantes, el INSAG-7 declinó tomar partido en su momento por las modelaciones que fueron presentadas por los informes postsoviéticos. Esta cautela de los expertos del OIEA podría explicarse porque evitaron repetir el fiasco del INSAG-1, cuando refrendaron el dictamen técnicamente insostenible que expusiera el académico Valeri Legásov. También fue la manera de sortear referirse a la condición dilemática del doble uso (militar y civil) de la energética nuclear que la explosión del RBMK-1000 sacó a relucir como engendro típico de la Guerra Fría.

⁶ Esto no impidió que fueran corregidos los fallos tecnológicos más significativos del RBMK-1000. Todavía hoy diez reactores nucleares de ese tipo continúan generando cerca del 50 % de la electricidad producida por las centrales atómicas en Rusia, aunque desde 2016 hay planes de cerrarlos a todos en un plazo de quince años.

6. Conclusión

Hay suficientes razones historiográficas y epistemológicas para otorgar a Chernobyl el carácter de “accidente postnormal”, tanto desde el punto de vista extratécnico como intratécnico. Aunando ambas perspectivas puede concluirse que la explosión del RBMK-1000 —primera y única de su tipo hasta hoy día— se debió al vínculo genesiaco de la energética nuclear con el complejo militar industrial. Esto determinó que la construcción sociopolítica del accidente en el imaginario colectivo haya sido tendenciosa desde un inicio, incluso antes de conocerse sus consecuencias radiológicas. A la confusión de las versiones oficiales sobre sus causas tecnológicas, se añade el secretismo de esconder la concepción dual (militar y civil) de ese prototipo de reactor nuclear. Esta problemática atañe al dilema ontológico del doble uso y, por tanto, trasciende los marcos de la causalidad tecnológica y organizacional. Por eso Chernobyl no cabe dentro del concepto de *normal accident* como Three Mile Island y Fukushima Daiichi.

El desastre de Chernobyl reveló la posibilidad de sorpresas tecnológicas que pueden estar profundamente relacionadas con las aplicaciones ingenieriles de la física neutrónica, la construcción del reactor nuclear y el diseño de su sistema de control y protección. La explosión del RBMK-1000 confirmó el poder destructivo, absoluto y subitáneo de la fisión atómica. Ningún sistema de barreras físicas es capaz de resistir tal concentración de energía cuando escapa totalmente de control. De ahí que la defensa en profundidad siempre tendrá alguna vulnerabilidad intrínseca, cuyo origen es desconocido o se mantiene en secreto por los expertos en seguridad. Aunque estos consideren muy improbable que ocurra una explosión por sobrecriticidad incontrolada de un reactor nuclear, esta amenaza ya no puede descartarse cuando ocurren los procesos irreversibles que traspasan el umbral de catástrofe.

Por último, Chernobyl es un “accidente postnormal” porque difícilmente el científico social pueda dilucidar aquellas cuestiones tecnológicas relacionadas con la explosión del RBMK-1000 que son debatibles y polémicas hasta para los expertos nucleares. Muchos autores, entre ellos Perrow, cometieron el error de asumir como válidas las versiones oficiales que atribuyeron la culpabilidad únicamente a los operarios/explotadores. También suscita dudas que establezcan similitudes genéricas entre la energética nuclear y otras esferas tecnológicas —aeronáutica, por ejemplo—, obviando que tienen distintas complejidades tecnológicas. Aun así, el enfoque combinado de la NAT, la HROT y el HRA es un intento fructífero para asomarse a los grandes accidentes nucleares desde la perspectiva de los estudios CTS. Con su ayuda se comprende mejor el problema de la atribución de responsabilidades entre los propios expertos durante la evaluación de sus fracasos. Asimismo, esos enfoques sociológicos confieren valiosas herramientas conceptuales para el análisis crítico de la energética nuclear en contraposición a la supuesta neutralidad del enfoque ingenieril.

Referencias bibliográficas

- Abagyan, A. A. (1986). Informatsiya ob avari na Chernobylskoi AES i yeyo posledstviya podgotovlennaya dlya MAGATE (Información sobre el accidente de la CEN de Chernobyl y sus consecuencias, preparada para el OIEA). *Atomnaya energia*, 61(5), 301-320.
- Abramov, M. I., Avdeev, V. I., Adamov, E. O. et al. (2006). *Kanalni yaderni energiticheski reaktor RBMK-1000* (Reactor de canales de gran potencia RBMK-1000). Moskva: GUP NIKIET.
- Beck, U. (2008). *La sociedad del riesgo mundial: en busca de la seguridad perdida*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Borysenko (2017). O nekotorykh parametrokh yadernoi besopasnosti uran-grafitoviy reaktorov (Sobre la seguridad nuclear de los reactores uranio-grafito). <http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7281>
- Burlakova, E. B., Kuznietsov, V. M., Mosalenko, V. A., Nazarov, A. G., Ostrietsvov, I. N., Simonov, E. Ya., y Chepenko, B. A. (2006). *Neizvestni Chernobyl: istoriya, sobytiya, fakti, uroki* (El Chernobyl desconocido: historia, sucesos, evidencias, lecciones). Moskva: Izdatelstvo MHEPY.
- Calcines (1996). Memorias del Minotauro. *Bohemia*. Abril, 24-27.
- Dollezhall, N. A. (1989). *U iztokob rukotvornogo mira: zapiski konstruktora* (En los orígenes del mundo artificial. Apuntes de un constructor). Moskva: Znanie.
- Dollezhall, N. A., y Yemeliánov, I. Ya. (1980). *Kanalni yaderni energiticheski reaktor* (Reactor energético nuclear con canales). Moskva: Atomizdat.
- Dyatlov, A.C. (1995). Why INSAG Has Still Got It Wrong. *Nuclear Engineering International*, 494(40), 17-21.
- Dyatlov, A.C. (2003). *Chernobyl. Kak eto bylo* (Chernobyl. Cómo fue). Moskva: Nauchtejlitizdat.
- Gorbachev, M. (2006). Turning Point at Chernobyl. https://www.gorby.ru/en/presscenter/publication/show_25057/
- Hagen, E. W. (1980). Common-mode/common-cause Failure: a review. *Annals of Nuclear Energy*, 7(9), 509-517.
- Hilgartner, S. (2009). Las dimensiones sociales del conocimiento experto del riesgo. En Moreno Castro (Ed.), *Comunicar los riesgos. Ciencia y tecnología en la sociedad de la información* (pp. 159-170). Madrid: Biblioteca Nueva, OEI.
- Hopkins, A. (1999). The Limits of Normal Accident Theory. *Safety Science*, 32, 93-102.
- Hopkins, A. (2001). Was Three Mile Island a 'Normal Accident'? *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 9(2), 65-72.

- Hopkins, A. (2009). *Learning from High Reliability Organisations*. CCH Australia Ltd, Sydney.
- IAEA (1992). *The Chernobyl accident: Updating of INSAG-1: INSAG-7: a Report*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Karpan, N. V. (2005). *Chernobyl. Mest mirnogo atoma* (Chernobyl. La venganza del átomo pacífico). Kiev: Kantri Laif.
- Kruglov A.K. (1995) *Kak sozdavalas atomnaya promyshlennost v SSSR* (¿Cómo fue creada la industria atómica en la URSS?). Moskva: TsNIIatomin-form.
- La Porte, T. (1982). On the Design and Management of Nearly Error-Free Organizational Control Systems. En Sils, D., Wolf, C. y Shelanski, V. (eds.), *Accident at Three Mile Island: The Human Dimensions* (pp. 185-198). Boulder, Colo: Westview.
- Legásov, V. A. (1996). *Moi dolg razkazat ob etom* (Mi deber es contarlo). *Energuiya*, 9, 41-49.
- Le Coze, J. C. (2015). 1984-2014. Normal Accidents. Was Charles Perrow Right for the Wrong Reasons?. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 23(4), 275-286.
- Le, Coze, J. C. (2020). *Post Normal Accident: Revisiting Perrow's Classic*. Milton: Taylor & Francis Group.
- Perrow, C. (1982). The Presidents Commission and the Normal Accident. En Sils, D., Wolf, C. y Shelanski, V. (Eds.), *Accident at Three Mile Island: The Human Dimensions* (pp. 173-184). Boulder, Colo: Westview.
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents: living with high-risk technologies*. New York: Basic Books.
- Perrow, C. (1999). *Living with high-risk technologies*. New Jersey: Princeton University Press.
- Perrow, C. (2011). Fukushima, risk, and probability: Expect the unexpected. *Bulletin of the Atomic Sciences*, 1 de abril.
- Petrosian, A. M. (1985). *La energía atómica en la ciencia y la industria*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction: an Approach to Cognitive Engineering*. New York: North-Holland.
- Reason, J. T. (1990a). *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reason, J. T. (1990b). The Age of the Organizational Accident. *Nuclear Engineering International*, 18-19.
- Reason, J. T. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Farnham: Ashgate.
- Reason, J. T. (2000). Safety Paradoxes and Safety Culture. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 7, 3-14.

- Rijpma, J. A. (1997). Complexity, Tight-Coupling and Reliability: Connecting Normal Accidents Theory and High Reliability Theory. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 5, 15-23.
- Rosa, E. (2005). Celebrating a Citation Classic and More: Symposium on Charles Perrow's Normal Accidents. *Organization & Environment*, 18, 229-234.
- Rumyantsev A.N. (2011). Loguika RBMK (La lógica del RBMK). *Atomnaya strateguia*, 52, 6-10.
- Sagan, S. D. (1993). *The Limits of Safety: Organizations, Accidents, and Nuclear Weapons*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Schmid, S. D. (2015). *Producing Power: the Pre-Chernobyl History of the Soviet Nuclear Industry*. Cambridge: MIT Press.
- Sharaevski, I. G., Fialko, H. M., Zimin, L. B. (2016). Neizvestnie diagnosticheskie aspekti zaproektnoi avari v Chernobyskoi AES (Aspectos desconocidos del diagnóstico de las causas de la avería fuera de proyecto en la CEN de Chernobyl). *Problemi bezleki atomnij elektrostantsi i Chernobylia*, 26, 5-14.
- Sidorenko, V. A. (2002). Vvodnie zamechania k urokam chernobylskoi avari (Notas introductorias a las lecciones de la avería de Chernobyl). En *Istoria atomnoi energuetiki Sovietskogo Soyuzu i Rossii* (Historia de la energía atómica de la Unión Soviética y Rusia), 4, 4-16.
- Soloviov S. M., Kudryakov, N. N., Subbotin, D. V. (2020). *Valeri Legasov: Visvecheno Chernobyliem* (Valeri Legásov: iluminado por Chernobyl). Moskva: Izdatelstvo AST.
- Weick, K. E., Sutcliffe, K. (2001). *Managing the Unexpected: Assuring High Performance in an Age of Complexity*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Winner, L. (1996). Do Artifacts Have Politics? *Daedalus*, 109, 121-136.