

EL FINAL DE LA FABRICACIÓN DE PLUTONIO EN ESPAÑA, O EL PRIMER OBSTÁCULO TÉCNICO PARA POSEER ARMAMENTO NUCLEAR

JOSÉ HERRERA PLAZA
j.herreraplaza@gmail.com

Resumen

El propósito de este trabajo es estudiar la arriesgada fabricación de plutonio, grado militar, en la Ciudad Universitaria de Madrid, como uno de los pasajes más desconocidos del proyecto de viabilidad de armamento nuclear en España, denominado “Proyecto Islero” (P.I.), considerado todavía secreto de estado. Partimos de 1963, cuando se aprueban las dos primeras centrales nucleares y da comienzo el P.I., hasta el final de la fabricación y almacenamiento de plutonio metal (1972), focalizando en el ciclo de combustible o en los problemas de plantilla. Antes fue precisa una intensa actividad formativa e investigadora, gracias al decidido apoyo gubernamental.

La ausencia de unas medidas de seguridad acordes a la actividad generó el accidente nuclear de 1970 en la JEN, con el vertido de residuos líquidos de alta actividad al alcantarillado, ríos Manzanares, Jarama y Tajo, de consecuencias desconocidas hasta el presente, lo cual, junto con la falta de consenso en el Gobierno y en el estamento militar, fueron determinantes para la paralización del inventario de plutonio, tras replantear y reforzar los sistemas de seguridad del centro. Además de la historiografía existente, se aporta una parte de la reveladora documentación interna de la Junta de Energía Nuclear (JEN), desconocida en su mayor parte.

Abstract

The purpose of this work is to study the risky manufacture of plutonium, high grade, in the University City of Madrid as one the most unknown passages of the project of the feasibility of nuclear armament in Spain, called the “Islero Project”, still considered a state secret. It starts from 1963 when the first two Spanish nuclear power plants are approved and the I.P. begins, to the end of plutonium metal

Recibido el 11 de septiembre de 2021 — Aceptado el 11 de diciembre de 2021

<https://doi.org/10.47101/llull.2022.45.90.herrera>

LLULL, VOL. 45 (N.º 90) 2022 - ISSN: 0210-8615, pp. 209-237

manufacturing and storage (1972), focusing on the fuel cycle or the problems of the workforce. Before this, intense training and research activity was required, thanks to the strong government support.

The absence of safety measures appropriate to the activity generated the 1970 nuclear accident in 1970 at the JEN, with the discharge of high-activity liquid waste into the sewer system, the rivers Manzanares, Jarama, and Tajo with consequences hitherto unknown and the lack of consensus in the government and in the military establishment, were decisive in halting the plutonium inventory, after rethinking and strengthening the center's safety systems. In addition to the existing historiography, a part of the revealing internal documentation of the Nuclear Energy Board (JEN), largely unknown, is provided.

Palabras clave: Plutonio; Proyecto Islero; Bomba atómica; Proliferación nuclear; Uranio; Junta de Energía Nuclear.

Key words: Plutonium; Islero Project; Atomic Bomb; Nuclear proliferation; Uranium; Junta de Energía Nuclear.

1. INTRODUCCIÓN

En febrero de 1963 el vicepresidente del Gobierno, capitán general Agustín Muñoz Grandes, jefe del Alto Estado Mayor, a través del director de la Junta de Energía Nuclear, José M^a Otero Navascués, le asignó al comandante de Aviación, Guillermo Velarde Pinacho, el estudio de viabilidad y desarrollo de una bomba atómica de fisión de uranio o plutonio (Pu²³⁹)¹ [VELARDE, 2016, p. 41-45]. Velarde se había formado en ingeniería nuclear en los EE.UU. Según él, la idea se la había propuesto en las navidades de 1961 a Otero, presidente de la JEN. Este le había replicado que él llevaba tiempo estudiando esa posibilidad, “pero necesitaba encontrar el momento adecuado para proponérselo al gobierno”.² El cometido asignado pasó a denominarse en clave “Proyecto Islero” (P.I.). Se trataba, primero, de realizar un estudio preliminar sobre la posibilidad de fabricar armamento nuclear [CARO *et al.*, 1995, p. 394-395]. Debía incluir un informe técnico que especificara el tipo, obtuviera los códigos de cálculo, sopesara las alternativas, la accesibilidad de sus distintos componentes y una estimación de costes.

Al igual que el resto de las naciones, España descubrió la energía nuclear a través de su uso bélico en 1945, al tiempo que surgió el interés por su conocimiento. Como casi todos los que iniciaron un plan de investigación en este campo, elaboró estudios destinados a fines militares a partir de desarrollos tecnológicos propios [SÁNCHEZ, 2010, p. 46; CARO *et al.*, 1995, p. 363-365]. Es lo que sucedió en otros países como Sudáfrica, Iraq, Irán, Israel, India, Argentina y

1. VELARDE PINACHO, Guillermo. Segunda entrevista personal de 11/02/2005.

2. VELARDE PINACHO, Guillermo. Manuscrito “Desarrollo de una fuerza de disuasión nuclear en España” para O'DONNELL, H. & GARCÍA HERRANZ (coord.) 2020. *Historia militar de España*, Ministerio de Defensa, tomo 2. Archivo Histórico del Ejército del Aire (AHEA), expediente 3710-1.

Brasil. Estos dos últimos, bajo dictaduras militares, influenciados por su vieja pugna de posicionamiento geoestratégico en Sudamérica, desarrollaron de manera paralela misiles balísticos, hasta que en 1991 firmaron un mutuo acuerdo [LLORENTE, 2017, p. 228-232].

El presente trabajo tiene como meta profundizar y analizar con detalle uno de los pasajes más desconocidos de este proyecto. Se trata del primer y último intento de llevar a cabo la fabricación nacional de cantidades significativas de plutonio en la sede de la Junta de Energía Nuclear (JEN) de Moncloa (Madrid) entre los años 1967-1972. ¿Cómo y hasta dónde se alcanzaron los objetivos en la fabricación del isótopo Pu²³⁹? La hipótesis de partida se centra en que el esfuerzo por la obtención de plutonio se realizó tanto de cara a su potencial uso para el P.I. como para el abastecimiento de los reactores rápidos; nos ocuparemos de cómo estos objetivos sirvieron como incentivo tecnológico y de su final condicionado por el accidente nuclear de 1970.

Se pretende conocer el alcance real de los logros y las razones de su final. Para ello se va a partir desde la génesis del P.I. (1963). Dada la amplitud de los distintos programas de investigación desarrollados por la JEN a partir de sus inicios, se tendrá en cuenta la evolución de los ingentes recursos materiales y humanos precisos en algunas áreas más relacionadas con el uso dual de esta energía hasta 1972.

La clasificación como secreto de Estado de la documentación oficial relacionada, dentro de la Ley 9/1968, de 5 de abril sobre secretos oficiales, junto con la falta de voluntad política de su derogación o modificación, ha impedido e impide conocer en profundidad lo acaecido. La historiografía relacionada ha sido inexistente o muy limitada. En los últimos años han aparecido distintas publicaciones, como las memorias del propio Velarde, aunque sin el soporte de evidencia documental que las corrobore [SÁNCHEZ, 2017b] que, junto al análisis de parte de la copiosa documentación administrativa de la JEN,³ permiten reconstruir algunos de los pasajes del P.I.

Puesto que la mayoría de la tecnología nuclear era materia clasificada en aquellos países más avanzados (EE.UU., URSS), con especial atención a las técnicas que pudiesen derivar a la proliferación armamentística, fue necesario partir de niveles muy básicos en la investigación. En este trabajo se van a exponer y analizar los cuantiosos recursos que fueron precisos para avanzar en la investigación y desarrollo nacional de un programa civil y militar de la energía nuclear, centrándonos en la fabricación de plutonio grado militar.

2. ARRANQUE Y PLANIFICACIÓN

Aunque ya se había creado en 1910 el Instituto de Radiactividad, fue durante la primera mitad del siglo XX cuando se inició la investigación y análisis de manera continuada de

3. En la actualidad la documentación de la JEN se halla en el Archivo General de la Administración (AGA), ocupa 1722 metros lineales de estanterías, con un número indeterminado de centenas de cajas, según testimonio de los trabajadores del AGA.

minerales de yacimientos nacionales, además de otros materiales relacionados [SÁNCHEZ & LÓPEZ, 2020, p. 30-31; ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 146-148]. Pero la génesis del estudio de la energía nuclear en España podemos afirmar que fue en 1948, tres años más tarde que los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki. Para ello fue creada la Junta de Investigaciones Atómicas (JIA) que estaba amparada y oculta bajo la sociedad mercantil *Estudios y Patentes de Aleaciones Especiales* (EPALE), ubicada en el Laboratorio y Taller de Investigaciones del Estado Mayor de la Armada [SOLER, 2017a, p. 60; RUBIO-VARAS & TORRE, 2018, p. 90]. Hasta la construcción e inauguración del Centro Nacional de Energía Nuclear (C.N.E.N.) “Juan Vigón” en 1958, ya sea como JIA o JEN, sus actividades se repartieron entre el CSIC, con el Instituto de Óptica “Daza Valdés”, el Instituto de Química y la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid.⁴

Pasados trece años del inicio, ante la clara perspectiva y preponderancia de los usos pacíficos de este tipo de energía, con la autorización en 1963 de las dos primeras centrales nucleares: Zorita de los Canes y Garoña,⁵ se promulgó la Ley 25/1964, de 29 de abril sobre energía nuclear, que reflejaba los nuevos aires de renovación de la política económica gubernamental hacia el periodo de desarrollo [PRESAS, 2021, p. 123]. Como señalan Joseba De La Torre y M. Mar Rubio-Varas [2016, p. 390] “la economía desarrollista del gobierno configuró la política industrial con un impacto directo en el sector de la energía nuclear”. La nueva legislación intentó adaptar y recoger los profundos cambios habidos en el país y en la ciencia nuclear. La dependencia jerárquica pasó de Presidencia del Gobierno al Ministro de Industria, lo que más adelante condicionaría la actividad investigadora no civil de este tipo de energía.

Los principales campos en los que se focalizó el esfuerzo investigador en los primeros años, desde la creación de este organismo en 1951, explicitados en su ley fundacional o desarrollados más tarde, se pueden enumerar en: ahondar en el complejo ciclo de combustible, la prospección de nuevos yacimientos, la investigación sobre la fabricación de los distintos combustibles nucleares, reprocesado del combustible gastado, tratamiento de residuos nucleares y almacenamiento, obtención, distribución e intervención de isótopos radiactivos, la formación especializada de científicos y técnicos, así como el asesoramiento al Gobierno en temas nucleares.⁶

La investigación en los inicios estuvo condicionada por los exiguos presupuestos de un país aún marcados por los rigores de la posguerra y la autarquía. La clara apuesta de los poderes en los ámbitos gubernamentales y del sector privado fueron decisivos. Su influencia llegó incluso a la adopción de medidas de tipo técnico [ROMERO, 2012, p. 141]. El decidido apoyo de la Presidencia del Gobierno a la energía nuclear hizo que, en los primeros diez años, el presupuesto general de la JEN se multiplicara por encima de diez [TORRE & RUBIO, 2015,

4. Véase JUNTA DE ENERGÍA NUCLEAR [1976, sin nº de página (s/n), junto fotografía 3/2].

5. Orden de 27 de marzo de 1963; BOE n.º 80 de 03/04/1963: 5657; Orden de 8 de agosto de 1963; BOE n.º 197 de 17/08/1963: 12318.

6. Véase Ley del 22 de octubre de 1951, BOE nº 297, 24/10/1951: 4778-4779.

p. 390]. Transcurridos catorce años, el gasto fue algo superior también a catorce veces el presupuesto de 1952. Sorprenden tales incrementos en tiempos de grandes carencias y desequilibrios macroeconómicos [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 107, 120].

La JEN no solo tenía el cometido del desarrollo de la energía nuclear; una de las razones esenciales de su existencia era la investigación y el desarrollo de una tecnología nacional, frente a la industria del país y los tecnócratas, más partidarios de la producción masiva de kilovatios por medio de la importación, como le explicaba en una epístola el presidente de la JEN, Otero, al físico nuclear alemán Karl Wirtz [PRESAS, 2000, p. 164, 574-575]. Desde los inicios se optó por la formación de sus profesionales, asistencia a congresos, construcción de reactores experimentales, investigación y desarrollo, frente a la compra de tecnología [GARCÍA RODRÍGUEZ, 2021, p. 81-82]. Por ello, conforme se iban culminando las distintas etapas de conocimiento, se decide patentar parte de los objetivos alcanzados. Además de los moderadores, se concentraron los esfuerzos y recursos en el ciclo de combustible. Primero fue la prospección y la minería, concentrados y purificación de uranio. Por medio de la técnica de electrolisis y, entre otras, de lechos fluidizados continuos en cascada, se obtuvo tetrafluoruro de uranio (UF_4). Aunque era utilizado para blindajes anti radiación, el hexafluoruro de uranio (UF_6) con fluor gas se obtenía en su mayoría con un bajo nivel de isotópico de U^{235} , por lo que era enviado a los EE.UU. para su enriquecimiento [SÁNCHEZ & LÓPEZ, 2020, p. 85]. También, con el proceso pirometalúrgico, mediante la calciotermya y magnesotermya, se obtuvo la reducción del UF_4 para su transformación en uranio metal, que serviría para la fabricación de una parte de las barras de combustible de Vandellós I. Esta técnica fue utilizada también para el plutonio. Con la combinación metal-grafito se fabricaron pastillas de carburo de uranio. Una vez conocidos estos procedimientos, se centraron en las aleaciones de materiales metálicos externos de las barras [GUTIÉRREZ, 1976, p. 346-347].

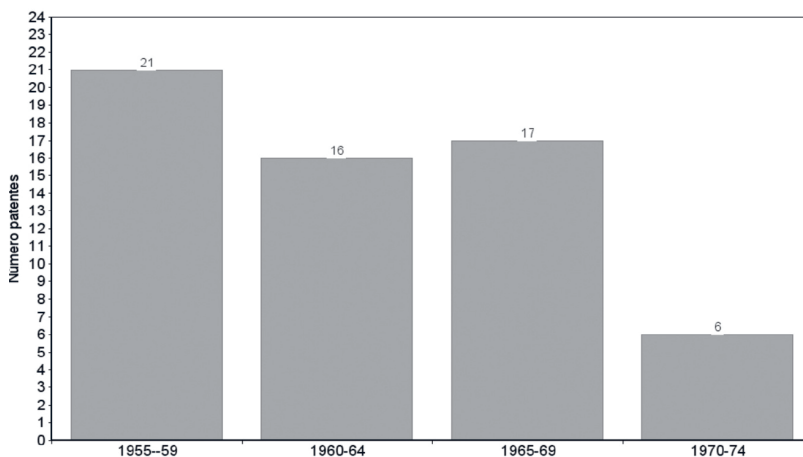


Figura 1. Patentes de la JEN 1955-74. Elaboración propia. Fuente: Wipo Ip Portal

Prueba del esfuerzo investigador se puede constatar en el registro de patentes. La composición agrupada en quinquenios de las solicitudes registradas en España por la JEN, se puede observar en el gráfico I. Una parte significativa eran de procedimientos técnicos alternativos o de mejora, más que de productos, tal como se puntualiza en Soler [2017, p. 112]. De los sesenta registros en estos veinte años, un 65% del total estaba relacionado con el ciclo de combustible, lo que demuestra la firme voluntad de nacionalización por parte de la JEN, frente a la priorización gubernamental del desarrollo industrial de bienes de equipo en la futura construcción de centrales nucleares importadas [SÁNCHEZ, 2012, p. 69]. De hecho, al final de la década de los 50 se hallaban en estudio doce tipos diferentes de combustibles [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 114]. Le sigue con un 10%, las relacionadas con la producción de isótopos radiactivos y, en un 6,7%, la instrumentación relacionada con lo nuclear. Existen amplias diferencias con lo hallado al consultar los cómputos de la propia JEN, que ascienden según sus cálculos a más de 2 500 solicitudes de patentes y que estas se aceleraron a partir de los 60 [SÁNCHEZ & LÓPEZ, 2020, p. 88].

Desde su fundación en 1951, la JEN tenía entre sus prioridades la formación de futuros profesionales que nutrirían la inminente demanda del sector. En los inicios era impensable la formación de personal en líneas de investigación por entonces desconocidas y en un país aislado. Por ello, se centraron en buscar graduados con una buena formación de base para su posterior especialización. Cuando fue posible, se les envió a distintos centros de Italia, Francia, Suiza, Alemania y, especialmente, a los EE.UU. El papel de este país fue fundamental en la creación, casi de la nada, de un capital humano de cara a los ambiciosos retos planteados [RUBIO-VARAS & TORRE, 2018, p. 86; ROMERO, 2021, p. 1-10]. Para hacer frente de manera reglada a las necesidades de personal a medio y largo plazo, en 1964 se crea el Instituto de Estudios Nucleares (IEN).

Respecto al personal, la JEN tuvo, desde el principio, problemas en la constitución de una plantilla adecuada. Ello es comprensible si se repasa el contexto de países –como es el caso de España– que iniciaban la investigación y el desarrollo en esta materia.⁷ A pesar de la indispensable progresión de los recursos humanos para las metas propuestas, el Plan de Estabilización Económica generó la congelación de la plantilla durante los años 1959-1962. En 1966 la mayoría del personal era bastante joven, con una edad media de 38 años. Para hacer frente a los retos con los que se enfrentaba, la dirección aconsejaba un 10% sostenido de contratación de personal científico.⁸ Pero la realidad y el deseo no coincidieron. En la tabla I se puede ver la evolución de la plantilla en los años 1963-67. Mientras que el personal se incrementó en 262 contrataciones en ese periodo, se consiguió aumentar en 35 el número de investigadores con titulación superior, coincidiendo ambos con un aumento medio anual del 3,8%.

7. Para saber más sobre los continuos problemas de plantilla y formación véase CARO *et al* [1995, p. 96-97] y DURÁN [1976, p. 435-442].

8. Carta de Otero Navascués a López Bravo, Informe Anexo 3. 11/1965. JEN. AGA, id. (13)004.015, caja 75/24077, p. 5.

Tabla I. Evolución del número de personas que trabajan en la JEN en 1966 (reales mas previstas). Elaboración propia. Fuente: JEN-Cuestionario Comis de Investigación Científica y Técnica para el IIº Plan de Desarrollo 1968-71. AGA. Id. (13) 004.016 caja 75/22006.

Años	1963	1964	1965	1966*	1967
Investigadores con titulación superior	228	228	251	251	263
No investigadores con titulación superior	31	31	34	34	36
Titulados Grado Medio	62	62	69	69	72
Personal Técnico Auxiliar	163	163	179	179	188
Obreros	812	812	893	893	938
Administrativos	211	211	232	232	244
Subalternos	178	178	196	196	206
Total	1.685	1.685	1.854	1.854	1.947

*Para el año 1966 fue aprobado un aumento del 5% de la plantilla del personal investigador, pero por falta del crédito correspondiente, dicho personal no se incorporó en esos años.

Fueron numerosas las personas que se formaron en la JEN en distintos campos, con un sensible incremento al crearse el IEN, a partir de 1964. Muchos de los profesionales que se habían capacitado en este organismo nutrirán los cuadros técnicos, auxiliares y directivos de las futuras centrales de primera y segunda generación. En 1976 se habían formado, directamente o a través del Instituto, 206 ingenieros, 1.200 operadores y supervisores, 1.500 alumnos de diferentes cursos y 500 becarios nacionales, sin contar varios cientos de becarios internacionales [OLIVARES, 1976, p. VI].

Tabla II. Bajas voluntarias JEN 1964-09/66. Elaboración propia. Fuente: JEN - Informe sobre evolución de plantilla en el pasado y previsiones. AGA. Id. (13)004.016 caja 75/24077.

Categorías	1964	1965	1966	Total categoría
Científicos, técnicos y profesionales	16	14	19	49
Personal auxiliar	15	12	21	48
Obreros y subalternos	25	52	28	105
Total año	56	78	68	202

Aún con este considerable esfuerzo, no se pudo evitar que, en pocos años, se generara una fuga de personal especializado, tal como podemos apreciar en la tabla II. En una carta fechada en 1966 del presidente, Otero Navascués, al ministro de Industria, López Bravo, calificaba el problema de “éxodo continuo [...] entre ellos, algunos funcionarios verdaderamente claves para esta Junta y de difícil, por no decir imposible, sustitución”. En ella le describe el problema y expone las causas: “no puedo ocultar a V.E. su insatisfacción, exclusivamente debida a la

escasez de las retribuciones, que no son suficientes para atender a sus necesidades familiares”.⁹ En la mayoría de los casos los emolumentos duplicaban o triplicaban lo percibido en la JEN. Desde 1963 no habían subido las remuneraciones, cuando en el periodo 1964-75, el producto interior bruto del país crecía una media de 6 %, acompañado de una inflación considerable, lo que mermaba la rentas reales de su plantilla [ALSINA, 1987, p. 342-363]. La alarma estaba fundamentada en la baja voluntaria de 202 personas durante el periodo 1964-66, en el que casi la mitad era personal científico, técnico y profesional.¹⁰

La fuga de personal por similares motivos continuó, según se desprende de otra carta de Otero enviada al Ministro tres años más tarde. El Presidente luchó como pudo contra esas renuncias. Guillermo Velarde, que en 1969 aparece como responsable oficial de la “gestión del combustible”,¹¹ nos confesó que Otero le instó a que demorara unos años su presentación a la cátedra de Física Nuclear, que obtendría en 1973 para la Universidad Politécnica de Madrid.¹² No se han encontrado datos de años posteriores para ver la evolución de la tendencia. Algunos de los que se formaron en la JEN se agruparon en 1968, como es el caso del Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT), e incluso llegaron a competir con la JEN, respecto a la asignación de fondos [GÁMEZ 2012, p. 147-151].

2.1. Instalaciones e infraestructuras

Según narra Velarde [2016, p. 62] como director técnico del Proyecto, había finalizado en diciembre de 1964 el estudio de viabilidad para una bomba de fisión de U²³⁵ y de Pu²³⁹, en un plazo algo inferior a dos años sobre los tres programados. Justificó en el informe la opción del plutonio, ya que entonces la tecnología del enriquecimiento de uranio, basada en la difusión gaseosa, era inalcanzable para un pequeño país como España. También añadía la valoración con un involuntario valor predictivo: “la más fácil es la más peligrosa” [VELARDE, 2016, p. 45; SÁNCHEZ & LÓPEZ, 2020, p. 24]. Resultaba más asequible el plutonio a partir de la reelaboración del combustible de los reactores térmicos que se iban a instalar, sobre todo Vandellós I, moderado por grafito y refrigerado por gas (UNGG). Al ser del tipo uranio natural permitía el abastecimiento con los recursos del país y generaba mayor cantidad de plutonio que los de agua ligera [SÁNCHEZ, 2017, p. 169]. Junto al estudio, se acompañaba el proyecto de construcción y el presupuesto para tres bombas y una detonación experimental en el Sáhara, con un coste estimado de 20.000 millones de pesetas [VELARDE, 2016, p. 63-69]; algo más de 120 millones de euros.¹³ No parece casualidad que también en 1964 se redactara, de manera anónima, un informe destinado a la misma persona que le había

9. Carta de Otero Navascués a López Bravo, de 26/09/1966. JEN. AGA, (13)004.015, 75/24077, p. 1-3.

10. *Ibidem*, p. 3.

11. Entrecuillado en el original. Relación de personas de la JEN para una propuesta de condecoraciones de 30/06/1969. AGA, (13)004.012, 75/09097.

12. VELARDE PINACHO, Guillermo. Primera entrevista personal, 28/09/2004.

13. Equivalentes a 2020. INE. Actualización de renta con IPC. <<https://www.ine.es/calcula/>> [Consulta: 23/04/2020]

realizado el encargo, Agustín Muñoz Grandes, con el título: “Nota para el Excmo. Capitán General sobre la posibilidad de fabricar plutonio (bombas de plutonio) en España”.¹⁴

Para el desarrollo del proyecto hacían falta cuatro etapas. La primera era sobre la metalurgia del plutonio, más compleja que la del uranio, con importantes problemas de seguridad por ser mucho más contaminante y pirofórico. La diferencia con el uranio es que es mucho más radiotóxico. Si lo comparamos, “el daño biológico producido por un gramo de Pu²³⁹ equivale prácticamente al de una tonelada de uranio”.¹⁵ Su obtención, purificación, manipulación y almacenaje presentaba alto riesgo, que obligaba a mantenerlo en atmósferas inertes, al igual que algunos compuestos de uranio purificado, como el polvo o los hidruros. Ello exigía desarrollar y cumplir siempre un estricto y costoso plan de seguridad nuclear. Se trataba de intentar evitar que se repitieran los reiterados accidentes habidos en los laboratorios de los EE.UU. [WELSON, 2019, p. 33-39]. La segunda etapa hacía referencia a la necesidad de diseñar y construir el sistema de encendido, minimizando al máximo el número de lentes explosivas, para reducir el problema de la sincronización de los detonadores. La tercera, se centraba en la construcción de una fábrica de elementos combustibles y la cuarta, una planta industrial para la reelaboración del combustible, donde se separarían el uranio y el plutonio.

La elección del plutonio estaba también influenciada por el ofrecimiento francés de un reactor térmico tipo uranio natural, grafito-gas (UNGG) para Vandellós. Para las aspiraciones españolas eran cualidades que lo hacían muy atractivo, cuando el mercado del uranio enriquecido, vendido a un alto precio, era monopolizado por los EE.UU. La razón fundamental de la opción del uranio natural era que permitía el aprovechamiento de las reservas nacionales [MÉNDEZ, 2010, p. 134; SÁNCHEZ, 2011, p. 121].

Existe un paralelismo en la secuencia temporal del proyecto de esta central y el P.I. La iniciativa surgió de Otero Navascués [SÁNCHEZ, 2017, p. 233]. Probablemente conocía la finalidad militar realizada por los franceses con los tipo UNGG en el Centro Nuclear de Marcoule [SÁNCHEZ, 2016, p. 231]. La idea se fue concretando a partir de una cena en la embajada española en París, en mayo de 1963, dos meses después de la génesis del P.I. El embajador Areilza había invitado al ministro francés de Investigaciones Científicas y Asuntos Nucleares y Espaciales, Gastón Pawleski. Allí hablaron sobre la posibilidad de la construcción de una central. Según Areilza [1984, p. 184], entonces embajador en Francia, el general De Gaulle era firme partidario de que en Europa “existiese un armamento nuclear de mando y decisión autóctonos”, independiente de los EE.UU., tal como le comentó personalmente a este en una cena privada en 1964. Una de las consideraciones más relevantes fue que, además, “esta central escapaba al control de salvaguardias firmado por España con EE.UU.” [CASTRO, 2015, p. 113; CARO *et al.*, 1995, p. 395].

14. Centro Documental de la Memoria Histórica nº 4 226. Citado por CASTRO [2015, p. 107].

15. Entrevista a Guillermo Velarde Pinacho en el largometraje documental “Operación Flecha Rota. Accidente Nuclear en Palomares” (Almería, 2007), Pitaco Producciones. <<https://youtu.be/lxQeaNdeaZI>> [Consulta: 28/04/2021].

Desde que en 1958 se inaugurara el C.N.E.N. “Juan Vigón”, en las veintiséis hectáreas asignadas en la Ciudad Universitaria de Madrid, no habían cesado del todo la adaptación a los nuevos y cambiantes requerimientos.¹⁶ A finales del año 1966 se aprueban importantes obras de nueva construcción e instalaciones, como podemos ver con detalle en la tabla III. El resto, que constituye la mayoría de las obras que se van a iniciar este año, son ampliaciones y remodelaciones, cuando quedaba menos de un año para la firma del contrato de la central de Vandellós I, dos para la puesta en marcha de la central “José Cabrera” y cuatro para la de “Santa María de Garoña”.¹⁷

Existe constancia de que las obras más importantes eran declaradas de Interés Nacional en los consejos de ministros, por lo que se ocupaba el Servicio Militar de Construcciones. En ellas se aplicaba el mismo texto de plantilla:

Su ejecución se ha de realizar en el C.N.E.N. “Juan Vigón”, donde se manipulan productos radiactivos y se custodian sustancias cedidas en arrendamiento por la Comisión de Energía Atómica del Gobierno de los EE.UU., sometidas a normas específicas de control y vigilancia, reconocidas por acuerdos que obligan a la Administración a exigir del contratista garantías especiales de seguridad y reserva, requisito que cumple el Servicio Militar de Construcciones.¹⁸

3. INTERÉS MILITAR EN LA JEN

Hemos visto que tanto la creación en 1948 de la JIA, como algunas de las primeras instalaciones y su dependencia jerárquica partieron, si no en su totalidad, sí en su mayoría, del estamento militar, algo común con otros países occidentales. A partir de 1953, en que el presidente Eisenhower pronunciara su discurso en la ONU anunciando el programa “Átomos para la Paz”, los programas civiles de la energía nuclear se van tornando hegemónicos en la mayoría de los centros de investigación y organismos de regulación. No existe constancia documental para dudar de que la modalidad del uso pacífico de este tipo de energía era la predominante en la JEN, aunque no la única porque, al igual que en Francia, las motivaciones de índole económico y político-militar coadyuvaron a un rápido desarrollo tecnológico [SÁNCHEZ, 2017, p. 169].

Se desconoce con detalle la implicación real de las Fuerzas Armadas en la JEN. Aunque su plantilla fue mayoritariamente civil, sí resulta significativo que la presidencia de este organismo estuvo siempre ocupada, hasta el año 1981, por personas pertenecientes a alguno de sus cuerpos. También se ha podido certificar documentalmente que, hasta 1971, existió un coordinador en la JEN del Grupo de Enlace para los programas de investigación militar. Fue el también Secretario General Técnico y posterior Director General de la JEN (1974-81),

16. JEN [1976: s/p, junto fotografía 3/3].

17. Actas de la Comisión Ejecutiva y expedientes de obras. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097, 75/24075 y 75/24076.

18. Ley de 2 de marzo de 1943 por la que se crea el Servicio Militar de Construcciones. *BOE* nº 76, de 17 de marzo de 1943, art. 3, p. 2425.

Tabla III. Obras JEN año 1966. Elaboración propia.
Fuente: AGA (13)004.016, 75/09097, 75/24075 y 75/24076,

Descripción obra	Expediente	Presupuesto [pesetas]	Comisión Ejecutiva	Consejo Ministros	Finalización	Interés Nacional
Edificio Área Limpia Metalurgia	588	3.996.015,62	03/10/1966	22/12/1966	28/06/1971	sí
Ampliación edificio de Radioquímica	589	1.685.150,19	03/10/1966	22/12/1966	-	sí
Celda 1000 Ci. Pavimentación entrada material activo	-	264.711,29	25/02/1966	-	-	no
Ampliación edificio División de Física	590	3.996.325,97	03/10/1966	22/12/1966	26/08/1969	sí
Edificio Contador Cuerpo Entero	597	1.928.100,22	30/11/1966	-	-	sí
Laboratorios 1º piso edif Contador Cuerpo Entero	597	1.004.413,30	30/11/1966	-	-	sí
Edif. Descontaminación Medicina y Protección	598	1.795.019,28	12/1966	13/01/1967	05/1971	sí
Ampliación Dirección de Química e isótopos	-	6.314.735,30	1966	-	-	sí
Instalaciones Planta CIES descontaminación de líquidos	-	636.952,42	25/02/1966	-	1967	no
Instalaciones edificio Dirección de Física y Reactores	627	1.999.307,49	-	-	-	-
Producción calor edificio Dirección Física y Reactores	635	1.098.716,99	-	-	-	-

Francisco Pascual Martínez, oficial e ingeniero de Armas Navales, que fue cesado para crearse una comisión mixta JEN-Estado Mayor,¹⁹ tal como veremos más adelante.

Aunque en 1963 se había iniciado la primera colaboración oficial entre la JEN y la Armada, con un curso, esta se incrementaría a partir de 1967 con estudios de Ingeniería Nuclear. Además, se incorporaron cinco miembros, en 1968, centrándose de manera exclusiva en la propulsión naval [CARO *et al.*, 1995, p. 387]. En el periodo de estudio, existe evidencia en una de las misivas con informes del presidente de la JEN de 1969, al ministro López Bravo, en la que le describe el sucesivo desfile de altos mandos (figura 2) y que el interés militar de la JEN no era nuevo: “Las altas jerarquías militares se siguen interesando por la Junta, y hemos tenido sucesivamente la visita del teniente general Díez Alegría, director del

19. Carta de Otero Navascués a Francisco Pascual Martínez, 22/03/1971. JEN. AGA, (13)004.016, 71/08541.



Figura 2. Veintiún miembros de la cúpula militar del Aire y Marina se reúnen con el presidente de la JEN, Otero Navascués, a inicios de los 70 para interesarse sobre formación, propulsión naval nuclear y evaluación de blancos y daños. (Foto: JEN/CIEMAT)

CESEDEN, acompañado por el general Galarza de Aviación y el contralmirante González y Ayer, la del teniente general Bengochea, jefe del Mando de la Defensa Aérea, que quiere que colaboremos con él en la evaluación de blancos y daños posibles”.²⁰ Otero no lo dudó: “He pensado en el Ingeniero Aeronáutico Sr. Velarde, que es el más impuesto (*sic.*) en todas estas cuestiones”.²¹ Reparemos en que se refiere a su persona como ingeniero civil. Desde que en 1963 le fue encomendado el proyecto de viabilidad para la fabricación de armamento nuclear, le ordenaron no emplear su condición militar. Con ello pensaban en no involucrar al Ejército si se producía algún fallo de seguridad en el P.I. que pudiese alertar a las agencias de inteligencia extranjeras [VELARDE, 2016, p. 67].

En Rafael Caro *et al* [1995, p. 385-391] se recuerda que el interés de los militares sobre la JEN no solo abarcaba la posibilidad de poseer armamento nuclear, incluía también la propulsión naval, con especial atención a la de submarinos y lo relacionado con la defensa y protección atómicas, como se evidencia en las distintas publicaciones divulgativas para la

20. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 13/02/1969. JEN. AGA, (13)004.012, 75/09097.

21. *Ibid.*

tropa y mando, que a lo largo de la década de los 50-70 se publican por el Alto Estado Mayor²² y posteriormente por el Mando de la Defensa.

La elección de Guillermo Velarde como enlace tenía un doble motivo. Por un lado estaba el profundo conocimiento de este sobre la naturaleza y consecuencias de la radiactividad en general y de una detonación nuclear en particular. Por otro, se hallaba el haber sido elegido para liderar el P.I., que el teniente general Luis Bengoechea Bahamonde conocía muy bien y alentaba.

Como experto en seguridad y protección nuclear ya había demostrado su saber en enero de 1966, cuando sobre los cielos de Palomares (Almería) colisionaron en el aire un superbombardero norteamericano B-52 y un avión nodriza KC-135. A consecuencia del accidente, se desprendieron las cuatro bombas termonucleares MK28FI de 1,1 megatonnes de potencia cada una [HERRERA, 2016, p. 44-60]. Velarde fue nombrado oficialmente asesor en temas radiológicos del general Arturo Montel Touzet. De manera confidencial se le encomendó la misión de coleccionar trozos de las dos bombas que deflagraron parte de su explosivo convencional de RDX (C-4), para ser analizados y conocer el tipo de contaminación que afectó a 435,65 hectáreas, además de intentar incrementar el conocimiento sobre estos dispositivos. Con la ayuda del prospector minero de la JEN, Manuel Pardillo Dorado [HERRERA, 2016, p. 85-143], pudo recoger unos 3 gr. del combustible nuclear, fragmentos varios de poliestireno y dos *klystrons* del sistema de encendido [VELARDE, 2016, p. 25-28]. Los prospectores mineros también recibieron órdenes de que si hallaban “cualquier objeto o fragmento sospechoso de ser relevante, que lo cogiéramos sin ser vistos y se lo entregáramos a nuestros superiores”.²³ La oportunidad era percibida como única e irreplicable. En la subrepticia recogida colectiva también participó el químico, responsable de instrumentación del reactor JEN-1, Manuel Quintero, que fue el primero que coleccionó varios fragmentos a los cinco días del accidente y fueron transportados a la JEN al día siguiente.²⁴ Quintero pertenecía a la División de Ingeniería, no a la de Medicina y Protección, y no figura en los listados oficiales de desplazados a Palomares, por lo que resulta probable que viajara de incógnito solo para este fin.

El accidente nuclear de Palomares pudo servir para recordar los peligros de la incesante escalada y trasiego de los arsenales nucleares de las dos grandes potencias. También para tener presente la posibilidad de una guerra nuclear y refrescar la consciencia de que las bases hispano-norteamericanas eran y son un objetivo prioritario, o de primera oleada, en caso de un ataque nuclear por parte de la URSS [RHODES, 2007, p. 84], tal como en 1958 pudieron

22. La primera publicación conocida con fines formativos para el ejército es de 1955: “Energía Nuclear” (64 p.). Fue editada por la Academia de Infantería para el segundo curso. En 1956: “Armas nucleares. Normas para los estados mayores”. En 1961 y 1964 se edita en Madrid para la tropa una “Cartilla para la Defensa y Protección Atómicas” con las nociones de protección en caso de un ataque nuclear y de precipitación radiactiva.

23. Entrevista a Francisco Romero Mármol, prospector minero de la JEN, en Alcorcón el 11/11/2010.

24. Informe confidencial del capitán de aviación Joaquín James Grijalbo, 24/01/1966, Archivo Histórico Ejército del Aire (AHEA) p. 1-2. Véase también VELARDE [2016, p. 73].

certificar en la reunión en Moncloa los líderes militares españoles con sus homólogos norteamericanos [MORENO, 2016, p. 41-61]. El accidente de Palomares, además, había evidenciado las graves carencias del Ejército en este tema.

Cuando no había pasado más de un mes del accidente, se estaba descontaminando parcialmente la zona y aún estaba perdida en el mar una de las cuatro bombas termonucleares, es redactada una nota en la JEN que marca el nivel de concienciación en el Estado Mayor y también alguna de sus ambiciones:

Recientemente ciertos sucesos confirman la necesidad de que el Ejército disponga de personal adecuado que, de modo oficial y responsable pueda informar sobre estos asuntos. Por otra parte quizá sea necesario disponer en plazo no lejano, dentro del Ejército, de reactores, cuya selección, entretenimiento y construcción de sus elementos deberá estar encomendada al referido cuerpo.²⁵

La deficiente defensa de los intereses españoles en la descontaminación de Palomares por parte de los representantes del Ejército del Aire español pudo inspirar esta reflexión adicional: “Resulta anómalo que en el momento actual no se cuente aún, de modo oficial, con personal especializado en este aspecto fundamental”.²⁶

Fruto, en 1966, del incremento del interés militar con lo nuclear, se redactó un informe en febrero de ese mismo año, donde se establecen las condiciones básicas para la futura incorporación de personal militar con carácter de permanencia. Se propone la creación de una comisión bipartita para la elección de candidatos y su número, sin atención a su grado, sino a su capacidad personal. En principio consideran aceptable que fueran siete ingenieros de Armamento, siete de Construcción, dos de Sanidad y diez de las distintas especialidades de Ayudantes. Número que ya estaría cubierto con los veintiséis: “Inicialmente el cupo anterior se cubriría con el personal militar que ya trabajaba actualmente en la JEN, ya que figura plenamente compenetrado en la organización”.²⁷

Por una carta del presidente Otero Navascués al coordinador en la JEN para los programas de investigación militar, Francisco Pascual, sabemos que una Comisión JEN-Estado Mayor, asumiendo sus competencias, se constituiría a partir del 22 de marzo de 1971, fecha del registro de salida de la carta y del cese de Pascual como coordinador unipersonal de estos programas. La Comisión debería, además, evaluar los informes que los jefes y oficiales han de presentar cuatrimestralmente, “introduciéndose las variaciones que proceda en los programas”.²⁸

En la estrategia militar para la guerra nuclear existen tres tipos de objetivos en prelación: bases, aeropuertos y silos relacionados con el armamento nuclear, le siguen objetivos

25. Nota sobre destino de personal militar en la Junta de Energía Nuclear; febrero de 1966, p. 2-3. JEN. AGA, (13)004.013, 71/8527.

26. *Ibid.*

27. Nota sobre destino de personal militar en la Junta de Energía Nuclear; febrero de 1966, p. 3. JEN. AGA, (13)004.013, 71/8527.

28. Carta de Otero Navascués a Francisco Pascual Martínez, 22/03/1971. JEN. AGA, (13)004.016, 71/08541.

estratégicos terrestres (puentes, carreteras, ferrocarril) que puedan estar relacionados con lo anterior y, por último, los centros industriales y núcleos urbanos [RHODES, 2007 p. 84]. Las bases conjuntas de Torrejón, Zaragoza, Morón y Rota corresponden al primer grupo. Como el accidente de Palomares pudo haber servido para recordar los peligros de la carrera de armamento nuclear, a los pocos meses del accidente, el teniente general José Lacalle solicitó un informe sobre las consecuencias de una guerra nuclear entre EE.UU. y la URSS. Guillermo Velarde y el teniente coronel de Artillería Alfonso Armada y Comyn, entonces jefe de seguridad de la JEN, fueron los encargados de redactar, en junio de 1966, un estudio con las consecuencias de la detonación del entonces misil soviético de última generación SS-9, con cabeza termonuclear de 20 megatonnes, en el área de Torrejón, Madrid y alrededores. Este fue catalogado como confidencial hasta el presente [VELARDE, 2016, p. 166-168].

A partir de ahí, Velarde pasó a colaborar durante años con el Mando de Defensa Aérea formando parte de los ejercicios *Red Eye*, en los que se incluía el supuesto de haber sufrido un ataque con armamento nuclear. Dio varios cursos y redactó un extenso trabajo para jefes y oficiales sobre los efectos de una guerra nuclear, pero en esta ocasión resultó válido para cualquier parte del territorio nacional. En él se dan las ideas de base para la evacuación previa, supervivencia y recuperación de las áreas afectadas [VELARDE, 2016, p. 169].

4. EL INVENTARIO DE PLUTONIO

En el CNEN “Juan Vigón” en Moncloa, sede de la JEN, se prepararon para la investigación y desarrollo de experiencias a escala laboratorio y plantas piloto de los distintos componentes con un fin civil y militar [CARO, 1995, p. 366-373; VELARDE, 2016, p. 41-71]. Por esta dualidad, no parecía resultar especialmente problemática la necesidad de mantener en secreto estas actividades. El miedo a cualquier fisura de seguridad no era sólo por el espionaje de la URSS o de cualquier otro país ávido de tecnología nuclear. Al depender tecnológicamente de los EE.UU., como proveedor de suministros básicos de las dos centrales de Zorita y Garoña, se generaba una paradoja dentro de otra: el temor de las altas autoridades españolas se orientaba primordialmente a los EE.UU., nación que luchaba contra la proliferación nuclear de los demás países, al tiempo que sus arsenales crecían sin freno en la carrera armamentística de la Guerra Fría [RHODES, 2007, p. 85-101].

La obsesión porque no se conocieran los trabajos realizados en la JEN, llegó en 1968 al extremo de prohibir cualquier comentario o descripción de las actividades que en el centro se llevaban a cabo. Otero se dirigió a la Vicepresidencia de la JEN para que hiciera saber que: “para difundir información sobre ese organismo es absolutamente preceptivo el permiso previo de esa Presidencia, con la única excepción de la publicación de trabajos científicos”.²⁹ El secreto en el organismo parecía funcionar también de manera efectiva, a tenor de lo que narra el ex trabajador e ingeniero químico Beteta Garmendia: “En la JEN, el oscurantismo fomentaba la rumorología típica de una estructura de estilo muy disciplinado, propia de una

29. Carta de Otero Navascués a Antonio Colino López. JEN. AGA, (13)004.012, 71/08541.

línea de cúpula militarista, dentro de la cual, los secretos a voces que se comentaban en el interior de nuestras paredes, se hacían cautelosamente y en voz baja” [BETETA, 2014].

Esa rumorología podía generar leyendas. Cuando finalizaron las obras de la planta piloto de reelaboración M-1, junto a la División de Química Analítica, se construyó enfrente un pequeño edificio que, de manera insólita, estaba durante veinticuatro horas custodiada por la Guardia Civil para el almacenamiento del plutonio extraído en la planta M-1. Beteta Garmendía y sus compañeros estaban convencidos de que ahí se custodiaba en secreto una de las cuatro bombas del accidente de Palomares [BETETA, 2014].

4.1. Usos y planificación

Al ser el Pu²³⁹ una sustancia que no existe como tal en la naturaleza, se ha de obtener mediante irradiación del U²³⁸; también se suele obtener del reproceso de las barras de combustible con diferentes grados de quemado. Para conseguir las mayores concentraciones de este isótopo, se extraen del reactor cuando han pasado sólo dos o tres meses desde la carga, en vez de cuatro a seis años generando electricidad [VELARDE, 2016, p. 53]. Respecto a sus usos, no solo se utilizaría para fines armamentísticos, también serviría como combustible nuclear en los reactores rápidos, lo que aliviaría la dependencia del uranio enriquecido de los reactores de agua ligera. Ello permite, dentro de la reelaboración de combustible, la utilización prioritaria de los usos pacíficos, también como justificación ante los fines militares, por lo que en sí no era una actividad que precisaba discreción extrema.

Según Velarde, el estamento militar, con el Alto Estado Mayor, era claramente partidario, aunque al parecer no existía el consenso, al preferir otras alternativas, como la modernización del armamento convencional o la propulsión naval.³⁰ Respecto al Gobierno, “había claramente dos opiniones contrarias” [VELARDE, 2016, p. 68]. Siempre se ha referido al Ministro de Industria, miembro del *Opus Dei* como la cabeza visible opositora. La Iglesia Católica de España se había pronunciado en contra de la carrera armamentística nuclear, a través de la influyente revista *Ecclesia*, como portavoz oficioso. A los dos meses del accidente de Palomares expresaba: “constituye un insulto a la humanidad comprobar que una pequeña parte de los fondos destinados a la carrera de armamento podría poner fin definitivamente al subdesarrollo y al hambre en el mundo”.³¹

Aunque la falta de sintonía de la JEN con el Ministro de Industria se manifestó casi desde su nombramiento, por las diferencias de base estructurales del modelo de política nuclear a seguir [TORRE, 2017, p. 43], López Bravo fue el que más influyó negativamente en Franco. Llegó a falsear al alza el presupuesto del P.I., o luchó contra el Instituto Nacional de Industria, para que Vandellós I dependiese al máximo del capital privado, lo que podría invalidar su posible uso dual [VELARDE, 2016, p. 80, 183]. Extraer las valiosas barras de combustible con

30. Tercera conversación con Guillermo Velarde (11/02/05). En ella anotó los principales partidarios militares del P.I. En contra omitió los contrarios; solo mencionó a Franco y Carrero Blanco por lealtad a este.

31. Despacho de la agencia *France Press* 08/03/1966, 15:22 p.m. AGA, (9) 10.1, 51/8760.

muy poco uso para aprovechar el máximo de Pu^{239} resultaba inviable con los intereses privados de explotación, además de invalidar cualquier intento de discreción.

El esfuerzo de avanzar en el ciclo del combustible se orientó hacia la investigación y desarrollo de técnicas que lo abarcaran en su totalidad. En aquellos años se preveían el uranio enriquecido y el uranio natural como los combustibles más comunes. De este último, ya se poseía la técnica para su elaboración. De hecho, durante los años 1970-71 se prepararon cincuenta y cinco toneladas de uranio metálico para la Central de Vandellós I, libres de salvaguardias de la OIEA [JEN, 1976, s/p, junto fotografía 5/17].

Ya en 1965, en la JEN se planificaron como necesarias las siguientes instalaciones:

1. Fábrica de concentrados de uranio en la región de Salamanca con capacidad diaria de mil toneladas.

2. Fábrica de purificación de uranio y obtención de óxidos y metal. Para las centrales con tecnología norteamericana (Zorita y Garoña) que precisan de uranio enriquecido, mediante acuerdo con los EE.UU, se suministraría sal de uranio nuclearmente puro.

3. Una segunda fábrica con una capacidad de producción de cuatrocientas toneladas.

4. Fábrica de tratamiento de combustibles irradiados que funcione con una técnica nacional independiente. España había participado desde el principio, con personal de la JEN, en la construcción y funcionamiento de la empresa cooperativa *Eurochemic*, integrada por doce países y auspiciada por la OCDE con este fin en Mol (Bélgica). La colaboración con *Eurochemic* permitió conocer los procesos que se utilizaban en Europa junto con los de EE. UU., pues la formación de investigadores en ese país no se detuvo en los 60.³²

Era voluntad de la JEN poseer una técnica de separación de plutonio libre de control extranjero, pero no hemos de olvidar que la reelaboración del combustible irradiado era promovida también por razones económicas, ya sea por el alto precio del material fisionable que se podría extraer (uranio, plutonio, cesio 137) en aras del máximo aprovechamiento en su reutilización.

España contaba con suficientes reservas para las primeras centrales, pero en algunas naciones eran insuficientes, cuando no inexistentes. Por eso, a finales de la década de los 50 y los 60, se focalizaron los esfuerzos en la investigación sobre los reactores reproductores rápidos, al igual que en el resto de países avanzados en materia nuclear, capaces de generar más combustible del que gastaban, minimizar residuos y que, además, podrían funcionar con plutonio o mezcla de óxidos [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 179-180; LLORENTE, 2017, p. 190]. El reactor rápido utiliza el Pu como combustible y el U^{238} como material fértil. Durante la explotación el U^{238} se convierte en Pu, con una cantidad superior a la unidad. El tiempo para que la misma cantidad de U se convierta en Pu es de 10-12 años y se denomina tiempo de doblado.

32. Informe Anexo 3. 11/1965, p. 2. JEN. AGA, (13)004,15, 75/24077.

A causa de estas expectativas, la JEN consiguió construir, con tecnología propia, el reactor rápido de investigación CORAL I, que en 1968 alcanzó la criticidad. Tras su puesta en marcha, en la JEN se pensó desarrollar en el futuro un prototipo mayor, pero con combustible de uranio natural y moderado por agua pesada.³³ En 1969 se creó el Programa Nacional de Investigación en Reactores Rápidos, integrado por miembros de la JEN y de la industria privada [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 187-191]. Desde hacía años se habían intensificado las colaboraciones con Francia y Alemania. Ese mismo año, una delegación de nueve directivos de la JEN visitaron Inglaterra y Alemania para informarse. Tras la visita, Francisco Pascual, secretario general de la JEN, realizó una ponencia para el Consejo de Dirección de la JEN en la que incidía en que la incorporación prevista de reactores rápidos en España estaba condicionada y limitada por las disponibilidades de plutonio:

Será necesario completar las potencias instaladas mediante reactores térmicos, que, a su vez producirán Pu que alimenten a un mayor proporción de reactores rápidos. [...] Una consecuencia de esta situación es la importancia que para aumentar el ritmo de introducción de los reactores rápidos puede tener la instalación de centrales nucleares térmicas que produzcan una mayor cantidad de Pu.³⁴

En su ponencia, Pascual señalaba la producción de plutonio de cada tipo de reactor, su consumo de uranio y el ratio de productividad (tabla IV). Establecía dos estrategias a seguir por la JEN. En el periodo 1970-1985 se preveía en ambas, sobre una producción total de 17.000 Mw, la producción de 1.000 Mw de reactores rápidos (5,9%). La primera con reactores de agua ligera más reactores rápidos y una segunda más holgada, con reactores LWR, reactores rápidos y el tipo de reactor canadiense HWR, que según lo expuesto por Pascual, son un 77% más productivos respecto a la relación Pu/U que los tipo UNNG. Las previsiones de producción de plutonio para esta segunda opción partirían con una fabricación en 1971 de 11,2 kg, 29,4 en 1973, hasta 1985 en que se produciría 2.120 Kg.

Tabla IV. Productividad de plutonio en reactores térmicos. Fuente: AGA, (13)004.015, 71/08547.

Tipo de reactor térmico	Pu producido Kg / año	U consumido Tm U ₃ O ₈	Capacidad convers. kg Pu / Tm U ₃ O ₈
Reactor avanzado refrigerado por gas (AGR)	96	105	0,91
Reactor de agua ligera (LWR)	135	93	1,45
Reactor de uranio natural, grafito gas (UNNG)	309	160	1,93
Reactor agua pesada a presión, uranio natural (HWR)	205	60	3,42

Las expectativas eran inmejorables, lo que parecía generar un estado de euforia generalizada. También en 1969 Otero informa al Ministro: “estamos estudiando una planta piloto mucho mayor, capaz de absorber el reproceso de los elementos combustibles de Zorita y una fracción

33. Editorial, *Energía Nuclear*, 9(35), 1965, p. 164-165.

34. Ponencia I de Francisco Pascual Martínez. 03/11/1969. JEN. AGA, (13)004.015, 71/08547



Figura 3. Celda de 1.000 curios dotada de grueso blindaje para manipulación de combustible irradiado en la Planta Caliente M-1. De todas las actividades del ciclo de combustible, la reelaboración es la que posee más riesgos y ha de contar con mayores medidas de seguridad. (Foto: JEN/CIEMAT)

de los de Vandellós y Garoña”.³⁵ Necesitaban desarrollar, a escala industrial, las técnicas precisas para poder reprocesar los combustibles de las centrales nucleares españolas presentes y futuras, siempre que lo permitieran las salvaguardias comprometidas. Puesto que la reelaboración del combustible era una meta para recuperar el valioso material fisible, no constituía una labor exclusiva de la proliferación. Al igual que el resto de actividades de investigación y desarrollo nucleares, era una actividad reservada, pero no secreta. En una extensa carta al Ministro de Industria, un año después de iniciarse estas labores, le pide reunirse para hablar sobre la “política del plutonio y seleccionar la entidad que va reelaborar los elementos combustibles de Zorita”.³⁶

La falta de sintonía entre la JEN y López Bravo se manifestaba con unas comunicaciones limitadas en su mayoría al intercambio epistolar. Al parecer, la renuencia a los encuentros presenciales no partía del Presidente de la JEN, que siempre insistía en ellos.³⁷ Eran frecuentes

35. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 04/10/1969. JEN. AGA [(13)004.012, 75/09097

36. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 11/05/1968. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

37. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 13/02/1969. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

extensas misivas con varios informes anexos. En una del nutrido epistolario, cuando ya estaba en marcha la planta de reelaboración M-1, Otero mencionó al Ministro el nombramiento del ingeniero industrial Julio Calleja González-Camino como Presidente del INI, que fue quien “llevaba la Comisión de Compras de concentrados de uranio y la política del plutonio”.³⁸ Nombramiento que no parecía casual. Parecía como un intento de separar de la JEN la gestión sobre el material fisible porque, diecisiete días más tarde, el Ministro le informa a Otero de la inminente reorganización de la Comisión Nacional de Combustibles, que será la que se ocupe de todo lo referente a combustibles nucleares y “políticas de sustancias nucleares”.³⁹

Como la postura de López Bravo era conocida en la JEN, su Presidente cuidaba las formas cuando se refiere al plutonio que se va a obtener del reprocesamiento de las barras de la Central de Zorita: “En cuanto al plutonio, la opinión de la JEN –que coincide con la de Vd., según me dijo– es que sea adquirido por el Gobierno con vistas a obtener una reserva de plutonio para reactores rápidos”.⁴⁰

Cuando Otero así se dirige a López Bravo, recordándole su opinión sobre el plutonio obtenido y su destino en la futura reelaboración del combustible de la primera central española, habían pasado dos años desde que el propio Velarde se reunió, en 1966, con Francisco Franco para presentar su informe del accidente de Palomares. Allí se habló del accidente y, como era de esperar, también del P.I. Por temor a un conflicto diplomático con los EE.UU., decidió posponerlo: “Franco me había dicho que los intereses de España nos obligaban a tomar esta decisión” [VELARDE, 2016, p. 89, 157].

Respecto a los planes del reproceso del combustible irradiado de Zorita, en 1969 Otero informa al Ministro de las ofertas de la United Kingdom Atomic Energy Authority y de la Empresa Cooperativa *Eurochemic* de la OECD, ubicada en Mol (Bélgica) y en la que participa España.⁴¹ Otero aconseja encarecidamente esta última opción, al intentar los ingleses monopolizar el mercado y ser más caros: “Defendiendo Eurochemic, defendemos nuestros propios intereses presentes y futuros”.⁴² Unos meses más tarde, fue nombrado director de *Eurochemic*, Luis Gutiérrez Jodrá, que antes dirigía la División de Plantas Piloto e Industriales de la JEN.

4.2. Principio y final del inventario

En la segunda mitad de los años 60, España disponía de casi toda la tecnología del ciclo de combustible. Le faltaba cerrarlo con las técnicas de reelaboración. Para ello, se formó a inicios de los sesenta un grupo de trabajo para el reproceso, en el que sus miembros se fueron especializando en los EE.UU. y Francia [CARO *et al* 1995, p.143]. En el edificio 18,

38. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 04/06/1968. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

39. Carta de López Bravo a Otero Navascués, 21/06/1968. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

40. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 04/06/1968. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

41. Carta de Otero Navascués a López Bravo, 06/02/1969. JEN. AGA, (13)004.016, 75/09097.

42. *Ibidem*.

denominado antes “Celdas calientes”, se decidió construir la Planta Caliente M-1, que fue finalizada en 1967. Dos años antes ya se habían construido algunos de sus componentes, como la celda caliente M-1 de 1.000 curios, para el tratamiento del combustible irradiado.⁴³ Por el alto nivel de radiación de los materiales a tratar allí y el elevado número de accidentes previos en los EE.UU., el proceso de reelaboración era el más complejo y difícil de todo el ciclo, también el que presentaba mayores problemas de seguridad y protección radiológica, lo que obligaba a extremar las precauciones y a crear para esta etapa un grupo específico en temas de seguridad y protección [ALONSO, 1976, p. 395], algo que en principio no se hizo. Lo habitual y aconsejado era ubicar los centros de reelaboración alejados de cualquier núcleo urbano.

De lo primero que se ocupó la planta fue del tratamiento húmedo de las barras del combustible irradiado del reactor JEN-1, tipo MTR. Como consecuencia, “se recuperó el primer plutonio producido en nuestro país”, aunque solo unos gramos [CARO *et al*, 1995, p. 54, 369-371]. Con posterioridad, se trató el combustible procedente del reactor suizo de investigación Saphir, también tipo MTR. Junto a la Planta M-1 fue construida una instalación denominada Nave de Reproceso en Frío, para la conversión del uranio enriquecido recuperado y un laboratorio para el plutonio. Para este último, también se construyó una pequeña instalación de almacenamiento custodiada permanentemente por la Guardia Civil [JEN, 1976, s/p, junto fotografía 5/26].

Las etapas del tratamiento húmedo consistían en, primero, “el desvainado químico, disolución del combustible, descontaminación, separación, purificación del uranio, plutonio y acondicionamiento de los residuos producidos” [JEN, 1976, s/p, junto fotografía 6/37]. Puesto que en esta labor se generan cantidades significativas de residuos líquidos, se construyó enfrente la instalación CIES (edificio 13) para el tratamiento de los residuos de media y baja actividad, además del almacenamiento de los de alta actividad.

El funcionamiento de una planta de estas características tenía que estar sometido a un riguroso plan de seguridad. Con pocos meses en funcionamiento, el coronel y doctor Eduardo Ramos avisó, por escrito, al Consejo de Dirección de “la extrema necesidad de una estación depuradora de aguas”.⁴⁴ Su advertencia premonitoria no fue escuchada ni jamás atendida antes del accidente.

Cuando llevaban tres años funcionando, se produjo el segundo accidente nuclear de España. Fue el 7 de noviembre de 1970. Desde la Planta M-1 se estaban transfiriendo supuestamente 157 litros de residuos de alta actividad a la Planta CIES. Por una combinación de fallos técnicos y humanos, sesenta litros se vertieron al alcantarillado [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 236-238], aunque en Caro *et al* [1995, p. 242] dan una cifra de 300 l. De ahí fue a parar al Manzanares, Jarama y, finalmente, al Tajo. Muchos cientos de hectáreas fueron regadas con aguas contaminadas. Habían pasado tres años desde que fueran advertidos de la

43. Véase foto portada, *Energía Nuclear* (1965), 9(37).

44. Informe al Consejo de Dirección de Eduardo Ramos García (19/12/1967). JEN. AGA, (13)004.015, 71/08547.

necesidad de una planta depuradora. En el presente aún se ignoran con exactitud los litros reales, la extensión y radiactividad vertida, así como la cuantía de productos agrícolas retirados, los que consumieron los ciudadanos y el alcance de las consecuencias a la salud. Si en el accidente de Palomares, se intentó ocultar sus consecuencias [FLORENSA, 2017, p. 101-110] en este también se encubrió, hasta que seis meses más tarde Portugal denunció que halló distintos isótopos de fisión en el Tajo, lo que obligó a España a reconocer el vertido [RUBIO, CARVALHO & TORRE, 2017, p. 40-42].

No sabemos si fue la casualidad, o por la deriva del afán investigador en la JEN, pero solo tres días antes de este accidente, el Dr. Eduardo Ramos, emitió una nota interna al Presidente de la JEN con una alerta de seguridad. Denunció que había tres laboratorios que estaban trabajando de manera simultánea con plutonio de alta pureza: Dirección de Química, Plantas Piloto e Investigación y Metalurgia. Ramos aconsejaba, por estrictas cuestiones de seguridad, poner fin a esa dispersión y concentrar todos los trabajos en un solo laboratorio.⁴⁵ El Pu²³⁹ es muy inestable, pirofórico y en extremo contaminante.

Las consecuencias del accidente no se hicieron esperar. A los pocos días, la Comisión Asesora de Seguridad Nuclear (CASN) de la JEN,⁴⁶ nombró un juez instructor que investigó y sancionó a los responsables. Transcurridas tres semanas, la CASN propuso un plan de mejora de la seguridad y se aprobó una obra en la arqueta y protección antiácida del tanque de residuos de alta actividad de CIES. En la salida de aguas residuales, también fue aprobada la construcción de una caseta para estación de toma de muestras continua y un colector de fracciones.⁴⁷

El 17 de diciembre de 1970 la CASN clasificó once instalaciones radiactivas que, por su inventario de actividad, deberían tener prioridad absoluta en la evaluación de seguridad. Aquellas medidas no parecieron suficientes al Ministerio. Se tomó la decisión de solicitar un informe auditor independiente. Para ello se requirió una comisión de expertos a la OIEA. Ello supondría reforzar el centro con los más novedosos criterios de seguridad, pero también finalizar con el secreto de la fabricación de plutonio metal con un grado de purificación innecesario como combustible. Tras la inspección de las instalaciones radiactivas, la OIEA emitió su informe el 21 de enero de 1971, que para el Ministerio y la JEN tuvo carácter vinculante, al tiempo que se ponía en entredicho la compatibilidad de la ubicación en la zona de Moncloa de algunas de esas once instalaciones radiactivas.⁴⁸ En ellas se marcó la obligatoriedad de contar con cinco documentos preceptivos de seguridad denominados:

45. Informe de Eduardo Ramos Rodríguez a Otero Navascués, 04/11/1970. JEN. AGA, (13)004.012, 71/08541.

46. La CASN fue creada por la Comisión Ejecutiva de la JEN el 19/02/1969. Estaba formada por un presidente, un secretario y nueve vocales, expertos en las distintas disciplinas relacionadas. Estuvo operativa hasta el 01/04/1974 en que se creó otra similar.

47. Acuerdos Comité de Dirección 158, 162 de 25/11/1970 y 23/12/1970 respectivamente. Presupuesto de arqueta y protección antiácida: 698.560,75 ptas.; caseta y colector de fracciones: 625.131 pesetas JEN, AGA (13)004.012, 75/08517.

48. JEN. Carta de López de Letona a Otero Navascués, 09/09/1972, pero con registro de salida 10/10/1972. AGA, (13)004.012, 71/21931.

Informe de Seguridad, Reglamento de Explotación, Manual de Emergencia, Límites y Condiciones, Inspecciones y Comprobaciones Periódicas.⁴⁹

Su seguimiento e implementación no fue tan rápido como algunos pensaban. Habían transcurrido trece meses cuando el doctor Ramos alertaba, de nuevo por escrito, de su incumplimiento a la Presidencia de la JEN:

La primera de estas exposiciones se refiere precisamente al punto 2 del resumen del informe, en la cual (Ref^a. 880/70), se trató de la necesidad de no incrementar los laboratorios de plutonio y de extremar las precauciones de su utilización. Desafortunadamente no se ha tomado hasta ahora ninguna decisión sobre ello y esto impidió haber podido anticipar al Grupo de la OIEA que ese problema estaba ya resuelto.⁵⁰

Cuando la OIEA realizó su informe con la evaluación de la seguridad, el inspector regional de esta organización informaba de poca diligencia en el cumplimiento de las directrices marcadas. Al parecer, no era satisfactoria tampoco para el Ministerio veintinueve meses después del informe. En octubre de 1972, el Ministro de Industria López de Letona, se dirigía a Otero para instarle a ejecutar las reformas pendientes relacionadas con la seguridad del Centro, en su mayoría sin realizar. Le recordaba la necesidad de cumplir con la desconexión de las aguas residuales al alcantarillado, un control más exhaustivo de los gases, polvos y aerosoles emanados, la mejora del sistema contra incendios, el control analítico y operacional de los distintos laboratorios con el inventario de radionucleidos y la finalización de los documentos de seguridad, como paso previo a la autorización de las instalaciones radiactivas de primera, segunda y tercera clase. Allí le daba instrucciones precisas, marcando como prioritaria: “En particular no deberá incrementar el inventario autorizado en los laboratorios de plutonio”.⁵¹ A los pocos días de recibir la carta se reunía la CASN, que repasaba una a una las órdenes del Ministro. En la medida cuarta, denominada “Congelación del inventario de plutonio y de la potencia del JEN-1”, se recoge en el acta: “No hay dificultad de ningún tipo en el cumplimiento de esta medida”.⁵² Con esto terminó la producción e investigación a escala piloto sobre las propiedades físicas y metalúrgicas del plutonio metal, cerrándose un capítulo más del PI.

Desde el punto de vista administrativo y de recursos, la JEN terminó por reforzar su servicio de Seguridad Nuclear, multiplicando por varias unidades sus integrantes. Entre 1968 y 1975 pasó de ser grupo a departamento, que era el más alto a nivel orgánico [ALONSO, 1976, p. 387].

Aunque se estaba gestando desde 1969, fue también en 1972 cuando se creó la *Empresa Nacional de Uranio S.A.* (ENUSA) con participación mayoritaria del INI. En su ley fundacio-

49. Respuesta a la carta de José M^a López de Letona a Otero Navascués, 09/09/1972 [borrador]: “Dictámenes de seguridad y especificaciones de funcionamiento”, sin fecha. AGA, (13)004.012, 75/21931.

50. JEN. Informe de Eduardo Ramos Rodríguez a Otero Navascués, de 24/02/1972. AGA, (13)004.012, 71/08541.

51. Carta de López de Letona a Otero Navascués, 09/09/1972, pero con registro de salida 10/10/1972. JEN. AGA, (13)004.012, 71/21931.

52. Nota de reunión de la CASN de 19/10/1972. JEN. AGA, (13)004.012, 71/21931.

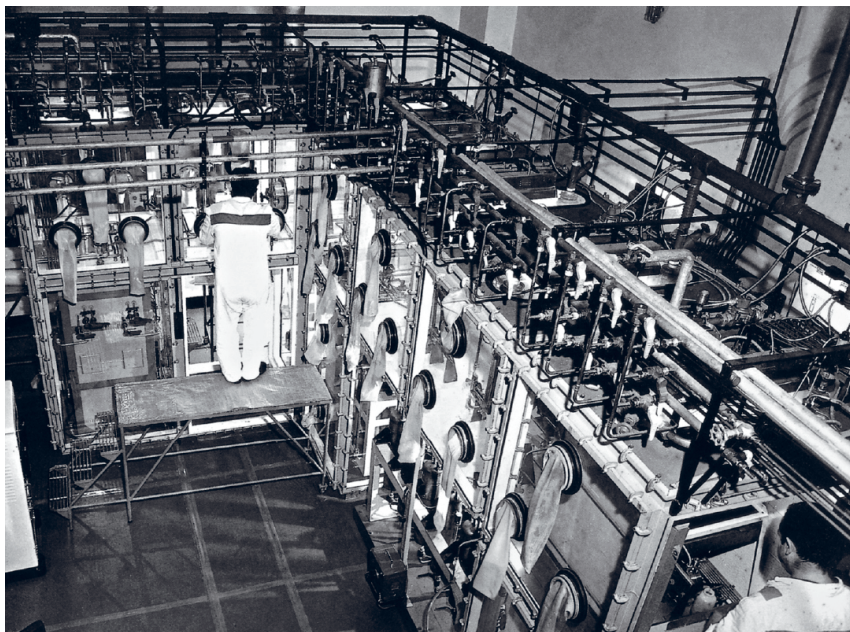


Figura 4. Cajas de guantes para emisores alfa de la Planta Caliente M-1 de Moncloa para la reelaboración de combustible nuclear, dotados de atmósfera inerte. Fue inaugurada en 1967 y funcionó hasta 1972. (JEN/CIEMAT).

nal venía contemplado el tratamiento de combustibles irradiados y el enriquecimiento isotópico del uranio,⁵³ pero su actividad abarcó solo la primera y segunda parte del ciclo de combustible hasta 1986, tras la constitución de ENRESA [ROMERO & SÁNCHEZ, 2001, p. 243].

A partir de este momento se replanteará con frecuencia el reproceso, pero nunca llegará a escala industrial. Hasta finales de los años 80 continuarán los ensayos experimentales relacionados, para adaptar finalmente la modalidad de ciclo abierto con respecto al combustible, mediante el almacenamiento temporal de los residuos de alta actividad [SÁNCHEZ *et al.*, 2020, p. 26-27].

5. CONCLUSIONES

La historia de la investigación nuclear en España nació en 1948 desde cero, cuando las potenciales aplicaciones civiles solo eran un proyecto aún lejano. En su partida y desarrollo

53. Real Decreto 2967/1979, de 7 de diciembre; art. 3º, primera.

fue patrocinada por el estamento militar, con el control directo de Presidencia del Gobierno, animados por unas prometedoras reservas mineras nacionales y las expectativas de tipo dual que generaba. Su espectacular desarrollo fue posible por ese decidido apoyo político y, con posterioridad, económico e industrial, en un país autárquico que aún sufría los rigores de la posguerra e importantes desequilibrios económicos.

Fue con “Átomos por la Paz”, pero sobre todo con el inicio de los proyectos de las dos primeras centrales del país, cuando la JEN incrementa de manera significativa sus recursos, infraestructuras y nivel tecnológico, orientándose a la formación de personal especializado y a los planes civiles de la energía. Este sorprendente avance constituye un arquetípico ejemplo de un rápido desarrollo científico y tecnológico cuando se ve favorecido por una clara voluntad política.

En las décadas posteriores se mantuvo la inercia de alcanzar el máximo nivel de tecnología propia para no depender en exceso de los EE.UU., objetivo que se alcanzó en parte. La revisión de las patentes registradas nos habla de los meritorios logros y la polarización de esfuerzos sobre el ciclo de combustible, del que se lograron en investigación y desarrollo todas las etapas, menos la de enriquecimiento de uranio, a pesar de los problemas de plantilla.

El estudio de viabilidad para la fabricación de armamento nuclear, con nombre en clave “Proyecto Islero” (P.I.), nace paralelo en el tiempo al proyecto de la central UNGG francesa Vandellós I y también al desarrollo nacional de los usos pacíficos predominantes de la energía nuclear, en la que se apoya como soporte tecnológico y de infraestructura. Los planes para la potencial obtención de armamento nuclear incluían, en principio, la reelaboración del combustible. De manera adicional, permitía el reaprovechamiento del uranio enriquecido y del plutonio remanente para ser usado en los reactores rápidos, como una solución para el déficit en la futura oferta de combustibles. En España el secreto se orientaba especialmente a los EE.UU., por su lucha contra la proliferación nuclear de los demás países, pero también de cara a los miembros del Gobierno, por falta de consenso.

La falta de acuerdo del Ministro de Industria con el P.I., que ya mantenía una actitud distante con la JEN desde su nombramiento, impidió que la principal central para este cometido, Vandellós I, que consumía uranio natural, poseyera un capital social de titularidad pública íntegro o mayoritario.

Existe constancia de distintas líneas de investigación directa o indirectamente relacionadas con los usos no pacíficos. La más difícil y arriesgada fue la obtención de plutonio a partir de 1967, en un periodo que abarca hasta 1972, etapa definida por algún autor como de “euforia utópica” [RUBIO & VARAS, 2017, p. 133]. Las previsiones de obtención de plutonio en el periodo estudiado eran muy halagüeñas, hasta el punto de prever en 1985 una producción anual de más de dos toneladas. Se basaban en la inclusión de reactores rápidos y en los de agua pesada a presión con uranio natural (HWR o Candu) que son los que más plutonio generan en relación con el U²³⁸.

La creación, a escala piloto, de la Planta M-1 de reelaboración de combustible para posible uso dual permitió la obtención de plutonio. Aunque comenzó a funcionar un año más tarde

de paralizarse el P.I., permitió que Velarde y colaboradores continuaran, de manera intermitente, con los trabajos de investigación a escala de laboratorio. En sus inicios, existe constancia de que fue alertada la dirección de la carencia de algo tan fundamental como la desconexión del alcantarillado mediante una depuradora de aguas.

A los tres años de actividad, con el reproceso del combustible de los reactores de investigación JEN-1 y del suizo Saphir, se estuvo experimentando con plutonio en tres laboratorios diferentes en la zona urbana de Madrid. Dada esta dispersión espacial, su alta radiotoxicidad e inestabilidad, se incrementaron de manera significativa los riesgos, sin haber creado los equipos humanos especializados, ni haber reforzado los sistemas de seguridad y protección radiológica, a pesar de las advertencias por escrito.

El vertido accidental al alcantarillado de residuos de alta actividad, en 1970, se mantuvo en secreto hasta que Portugal alertó de la radiactividad del Tajo. Trajo como consecuencia un reforzamiento *a posteriori* de las medidas de seguridad y la solicitud de una inspección de evaluación por expertos de la OIEA, lo que generó el fin del secreto en la investigación del plutonio relacionada con fines militares. Pero la traumática experiencia y sus consecuencias no fueron suficientes.

A finales de 1972 todavía no se habían llevado a cabo los nuevos planes de seguridad. Ese mismo año se da la orden de paralizar el inventario de plutonio, cuando se acababa de crear ENUSA y la central de Vandellós I llevaba seis meses inaugurada. El cese de la producción de este actínido no fue suficiente para las directrices marcadas por la OIEA y la CASN del centro. Con posterioridad se ordenó la conversión en su derivado más seguro: dióxido de plutonio. Se desconoce con exactitud la cuantía total, el grado de pureza alcanzado, así como las impurezas y otros isótopos del plutonio almacenados. Sí se sabe que intentaron la predominancia del isótopo 239, grado militar, con una pureza superior al 94%.

El accidente de 1970 supuso un punto de inflexión y una poderosa llamada de atención sobre la necesidad del cumplimiento de todos los sistemas de seguridad. A partir de ese momento no se tiene constancia de que se volviera a producir ni investigar con cantidades significativas de plutonio, grado militar, constituyendo uno de los primeros obstáculos técnicos del “Proyecto Islero”.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO SANTOS, Agustín (1976) “La seguridad nuclear en España, pasado, presente y previsiones futuras”. *Energía Nuclear*, 20(103), 381-398.
- ALONSO SANTOS, Agustín *et al.* (1979) *Diccionario nuclear*. Madrid, JEN.
- ALSINA OLIVA, Rosa (1987) “Estrategia de desarrollo en España 1964-1975: planes y realidad”. *Cuadernos de Economía*, 15, 337-370.
- ARELZA, José María de (1984) *Memorias exteriores 1947-1964*, Barcelona, Planeta.
- BETETA GARMENDIA, Miguel Ángel [on line] *Activación neutrónica lunar: De la fisión a la fusión nuclear JEN-ITER-HIPER*. Blog Ciencia, Tecnología, Vida. <<http://www.cienciavida.com/2014/01/jen-iter-hiper-de-la-fision-la-fusion.html>> [Consulta: 02/03/2014].
- CARO MANSO, Rafael *et al.* (1995) *Historia nuclear de España*. Madrid, Sociedad Nuclear Española.

- CASTRO BERROJO LUIS (2015) *La Bomba Atómica Española. La energía nuclear en la transición*. Soria, L. Castro Berrojo.
- DEOUDI ALFEIRAN, E. & DÍAZ DÍAZ, J. (1965) "Instalación de uso general para el manejo de materiales pirofóricos bajo atmósfera inerte". *Energía Nuclear*, 9(35), 166-176.
- DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ, Germán (1976) "Isótopos". *Energía Nuclear*, 20(103), 407-419.
- DURÁN MIRANDA, Armando (1976) "La formación del personal y la ayuda a la investigación", *Energía Nuclear*, 20(103), 435-442.
- FLORENSA, Clara (2017) "La construcció simultània de visibilitat i invisibilitat del risc de contaminació radioactiva a l'Espanya de Franco: L'accident nuclear de Palomares (1966)". *Actes d'Historia de la Ciència y de la Tècnica*, 10, 101-110.
- GÁMEZ PÉREZ, Carlos (2012) "La física de altas energías en España durante la dictadura del general Franco". En: Néstro Herrán & Xavier Roqué (eds.) *La física en la dictadura. Físicos, cultura y poder en España 1939-1975*. Barcelona. Universidad Autónoma, 141-157.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, Adolfo (2021) "Las ingenierías en España". En: Faustino Acosta Ortega (coord.) *El desarrollo de la industria nuclear en España. Contexto y retos empresariales*. Madrid, Sociedad Nuclear Española, 87-106. <<https://www.sne.es/publicaciones/biblioteca/el-desarrollo-de-la-industria-nuclear-en-espana-contexto-y-retos-empresariales/>> [Consulta: 23/03/2021].
- GUTIÉRREZ JODRÁ, Luis (1976) "Labor de la JEN en el ciclo del combustible nuclear". *Energía Nuclear*, 20(103), 345-353.
- HERRERA PLAZA, José (2016) *Accidente nuclear de Palomares. Consecuencias (1966-2016)*. "[Clío ama la historia Serie mayor]. 1ª edición, Mojácar, Arráez Editores.
- HERRERA PLAZA, José & LÓPEZ ARNAL, Salvador (2019) *Silencios y deslealtades. El accidente militar de Palomares: desde la Guerra Fría hasta hoy*. Barcelona, Laertes.
- JEN (1976) *Junta de Energía Nuclear. 25 Aniversario*. Madrid, Junta de Energía Nuclear.
- LLORENTE AGUILERA, Carlos (2017) *Política y armas nucleares* [Tesis doctoral]. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid.
- MARTY, Frédéric & SÁNCHEZ, Esther (2000) "La centrale nucléaire hispano-française de Vandellos: logiques économiques, technologiques et politiques d'une décision". *Bulletin d'histoire de l'électricité*, 36, 5-30, <http://www.persee.fr/doc/helec_0758-7171_2000_num_36_1_1497>. [Consulta: 23/03/2021]
- MORAN, Barbara (2009) *The day we lost the H-bomb*. Nueva York, Presidio Press.
- MORENO IZQUIERDO, Rafael (2016) *La historia secreta de las bombas de Palomares*. Barcelona, Crítica.
- OLIVARES BAQUÉ, Jesús (1976) "Discurso del presidente de la Junta de Energía Nuclear". *Energía Nuclear*, 20(103), VI.
- PRESAS I PUIG, Albert (2000) "La correspondencia entre José M. Otero Navascués y Karl Wirtz, un episodio de las relaciones internacionales de la Junta de Energía Nuclear". *Arbor*, 164(659-660), 527-602.
- PRESAS I PUIG, Albert (2021) "Epistemic Communities and Science Makers in the Regime: A Study of the Nuclear Energy Board". En: Marició Janué i Miret & Albert Presas i Puig (eds.) *Science, Culture and National Identity in Francoist Spain, 1939-1959*. Cham (Switzerland), Palgrave Macmillan, 109-130.
- ROMERO DE PABLOS, Ana & SÁNCHEZ RON, José Manuel (2001) *Energía nuclear en España. De la JEN al CIEMAT*. Madrid, CIEMAT.
- ROMERO DE PABLOS, Ana (2012) "Poder político y poder tecnológico: el desarrollo nuclear español (1950-1975)". *Revista CTS*, 21(7), <<http://www.revistacts.net/volumen-7-numero-21/113->

- dossier/474-poder-politico-y-poder-tecnologico-el-desarrollo-nuclear-espanol-1950-1975>.
[Consulta: 18/12/2020]
- ROMERO DE PABLOS, Ana (2021) "Atomic Routes and Cultures for a New Narrative on Franco's Regime". *Culture & History Digital Journal*, 10(1), 1-10.
- RHODES, Richard (2007) *Arsenals of Folly. The making of the nuclear arms race*. New York, Alfred. A. Knopf.
- RUBIO VARAS, M^a del Mar & TORRE, Joseba (2017) "How did Spain Become the Major Client?. En: M^a del Mar Rubio-Varas & Joseba Torre (ed.) *The Economic History of Nuclear Energy in Spain*. Palgrave Macmillan, Cham (Switzerland), 119-154.
- RUBIO VARAS, M^a del Mar & TORRE, Joseba de la (2018) "American Nuclear Training: científicos, ingenieros y empresarios españoles en los Estados Unidos del desarrollo nuclear". En: Lino Camprubí, Xavier Roqué & Francisco Sáez de Adana (eds.) *De la Guerra Fría al calentamiento global*, Madrid, Catarata, 85-109.
- RUBIO VARAS, M^a del Mar; CARVALHO, Antonio & TORRE, Joseba de la (2018) "Siting (and mining) at the border. Spain-Portugal nuclear transboundary issues". *Journal for the History of Environment and Society*, 3, 33-69.
- SÁNCHEZ PICÓN, Antonio & HERRERA PLAZA, José (2003) *Operación Flecha Rota. Accidente nuclear en Palomares*. Sevilla, Junta de Andalucía.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ, Esther M. (2011) "La conexió hispano-francesa: intercanvis d'energia elèctrica i cooperació nuclear, 1950-1990". *Recerques*, 61, 101-136.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ, Esther M. (2016) "Le frère cadet. France's contribution to Spanish nuclear development, c. 1960s-1980s". En: Alain Beltran, Leonard Laborie, Pierre Lanthier *et al* (eds.) *Electric Worlds. Creations, circulations, tensions, and transitions, 19th-21st centuries*, Bruxelles, Peter Lang, 221-244.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ, Esther M. (2017a). "An Alternative Route? France's Position in the Spanish Nuclear Program, c. 1950s-1980s". En: M^a del Mar Rubio-Varas & Joseba de la Torre, *The Economic History of Nuclear Energy in Spain*. Cham (Switzerland), Palgrave Macmillan, 155-186.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ, Esther M. (2017b) "[Reseña] Velarde Pinacho, Guillermo. Proyecto Islero. Cuando España Pudo Desarrollar Armas Nucleares. Córdoba, Guadalmazán, 2016, 378 páginas [ISBN: 978-84-94384-68-4]". *Asclepio*, 69(1), 185.
- SÁNCHEZ, Esther M. & LÓPEZ, Santiago M. (2020) *Historia del uranio en España. De la minería a la fabricación del combustible nuclear, c. 1900-1986*. Madrid, Sociedad Nuclear Española.
- SÁNCHEZ VÁZQUEZ, Luis (2010) *La legitimación de la energía nuclear en España: El Fórum Atómico español (1962-1979)* [Tesis doctoral]. Universidad de Granada.
- SÁNCHEZ VÁZQUEZ, Luis (2012) "Uranio, reactores y desarrollo tecnológico". En: Néstor Herrán & Xavier Roqué (eds.) *La física en la dictadura. Físicos, cultura y poder en España 1939-1975*. Barcelona, Universidad Autónoma, 65-81.
- SOLER FERRÁN, Pablo (2017a) *El inicio de la Ciencia Nuclear en España*. Madrid, Sociedad Nuclear Española [en línea]. <<https://www.sne.es/wp-content/uploads/2020/10/Inicio-Ciencia-Nuclear.pdf>> [Consulta: 23/02/2021].
- SOLER FERRÁN, Pablo (2017b) *Telecos en la Junta de Energía Nuclear: el caso de Rogelio Segovia y los contadores Geiger*. <<https://historiatelefonía.com/2017/04/02/telecos-en-la-junta-de-energia-nuclear-el-caso-de-rogelio-segovia-y-los-contadores-geiger/>> [Consulta: 08/04/2020].
- TORRE, Joseba de la (2017) "Who was who in the making spanish nuclear programme c.1950-1985". En: M^a del Mar Rubio-Varas & Julio de la Torre (eds.) *The Economic History of Nuclear Energy in Spain*, Cham (Switzerland), Palgrave Macmillan, 33-65.

- TORRE, Joseba de la & RUBIO-VARAS, M. del Mar (2015) “Nuclear Power for a Dictatorship: State and Business involvement in the Spanish Atomic Program, 1950-85”. *Journal of Contemporary History*, 51(2), 385-411.
- VELARDE PINACHO, Guillermo & ARMADA Y COMYN, Alfonso (1966) *Estudio Preliminar de los Efectos Producidos por la Explosión de una Bomba de 20 Megatonnes en Torrejón de Ardoz*. Madrid, Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional.
- VELARDE PINACHO, Guillermo (1971) *Manual para la defensa contra un ataque nuclear (de las bases, centros industriales y núcleos de población)* Madrid, JEN-Mando para la Defensa.
- VELARDE PINACHO, Guillermo (2016) *Proyecto Islero. Cuando España pudo desarrollar armas nucleares*. Córdoba, Guadalmezán.
- WELLSOME, Eileen (2019) *Cobayas atómicos. Los experimentos radiactivos con humanos que ocultó Estados Unidos*. Colección “Ocultura”. Barcelona, Luciérnaga [Traducción del inglés Carme Font].
- WIPO [on line] [Base de datos de solicitudes de patentes]. <https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf?_vid=P21-KYXCMR-34208>. [Consulta: 02/04/2020].