

Orígenes y trayectoria de la industria de combustible nuclear en España: ENUSA, 1972-2022

Esther M. Sánchez Sánchez (esther.sanchez@usal.es)

Universidad de Salamanca, Facultad de Economía y Empresa
Dpto. Economía e Historia Económica

Santiago M. López García (slopez@usal.es)

Universidad de Salamanca, Facultad de Economía y Empresa
Dpto. Economía e Historia Económica

Joseba de la Torre Campo (jdelatorre@unavarra.es)

Universidad Pública de Navarra, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido: 9 de mayo de 2023

Aceptado: 2 de noviembre de 2023

On-line: 27 de febrero de 2024

Códigos JEL:

O25

N64

N74

O14

Palabras clave:

Historia de la energía nuclear

Asistencia tecnológica exterior

Fabricación de elementos combustibles

ENUSA

Westinghouse

General Electric

JEL classification:

O25

N64

N74

O14

History of nuclear energy

Foreign technological assistance

Fuel element fabrication

ENUSA

Westinghouse

General Electric

R E S U M E N

El objetivo de este artículo es examinar el despliegue de la fabricación industrial de combustible nuclear en España, una actividad altamente especializada ligada a la Empresa Nacional del Uranio SA (ENUSA) y al suministro de tecnología extranjera (Westinghouse y General Electric). ENUSA surgió, a iniciativa del Gobierno y con el apoyo del sector privado, para satisfacer las necesidades de combustible de un programa nuclear tremendamente ambicioso, que luego se redujo a una cuarta parte de lo previsto. Tras algunos años de incertidumbre, la empresa pública logró superar con éxito las dificultades derivadas de la reconversión industrial y el cambio en la política energética del Gobierno, llegando al siglo XXI como una compañía no meramente superviviente, sino líder en su sector de actividad: su planta de Juzbado (Salamanca) se ha convertido en un referente tecnológico e industrial, con amplias externalidades geográficas y sectoriales. En definitiva, a partir un amplio abanico de fuentes mayoritariamente de origen archivístico, trataremos de reconstruir los orígenes de ENUSA y de buscar en el pasado las razones de su posición actual.

© 2023 The Author(s)

Origins and trajectory of the nuclear fuel industry in Spain: ENUSA, 1972-2022

A B S T R A C T

This article aims to examine the deployment of the industrial fabrication of nuclear fuel in Spain, a highly specialized activity linked to the Empresa Nacional del Uranio SA (National Uranium Company, ENUSA) and the supply of foreign technology (Westinghouse and General Electric). ENUSA was founded, at the initiative of the government and with the support of the private sector, to cover the fuel needs of a tremendously ambitious nuclear program, which was later reduced to a quarter of what had been foreseen. After some years of uncertainty, the state-owned company managed to successfully overcome the difficulties arising from the industrial reconversion and the change in the government's energy policy, reaching the 21st century as a company which is not merely a survivor but a leader in its sector of activity: its plant at Juzbado (Salamanca) has become a technological and industrial reference, with wide geographical and sectorial spillovers. In short, we will try to reconstruct the origins of ENUSA and to search in the past for the reasons for its current position, based on a wide range of mostly archival sources.

© 2023 The Author(s)

1. Introducción

España posee una larga trayectoria de dependencia tecnológica, que se aceleró en la segunda mitad del siglo xx. El desarrollo industrial del franquismo alentó la llegada de ingeniería extranjera, bien a través de inversión directa, bien mediante contratos de licencia y asistencia técnica (Cebrián, 2001; Álvaro, 2009; Castro y Sánchez, 2015). Gracias a este aprendizaje, las empresas españolas pasaron progresivamente de compradoras a proveedoras, ampliando sus circuitos comerciales y desempeñando un papel cada vez más activo en los foros mundiales. Aunque continuaron importando buena parte de la ingeniería básica, fueron capaces de abordar con éxito la ingeniería de detalle (mejora de procesos y productos) y emprender actividades de I+D+i al margen de sus licenciantes extranjeros. Uno de los sectores más representativos de este doble proceso de internalización e internacionalización tecnológica es la industria nuclear (Acosta, 2022).

La producción a gran escala de energía nuclear encabezó las agendas económicas de numerosos países desde los años cincuenta, sobre todo a raíz de la campaña de Estados Unidos «Atoms for Peace» (1953) y la primera conferencia internacional de Ginebra sobre los usos pacíficos de la energía atómica (1955). Gobiernos y empresas se embarcaron en la organización, capacitación y financiación de un sector al que contemplaron, desligado ya de su vertiente militar, como la mejor solución para hacer frente a una demanda eléctrica en constante crecimiento y excesivamente dependiente de los combustibles fósiles. Esta decidida apuesta por la energía nuclear aparece ya en el documento fundacional de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom), que da cuenta del despliegue de los programas de construcción de centrales nucleares en Gran Bretaña, Francia, Alemania Federal, Bélgica, Holanda, Suiza e Italia (Armand, Etzel y Giordani, 1957). Todos estos países disponían de capacidades manufactureras bien desarrolladas, aptas para afrontar el enorme desafío tecnológico, financiero y de capital humano que implicaba el sector nuclear, tanto del lado de la producción de energía como del lado de la fabricación de equipos y combustible (Institute of Nuclear Sciences, 1976). Estos países disponían, además, de Gobiernos fuertes (y/o respaldados por una superpotencia), recursos financieros (propios o ajenos) y una base empresarial mínimamente preparada (Sovacool y Valentine, 2012; Rubio-Varas, De la Torre y Connors, 2021; Rubio-Varas, 2021). Hasta bien entrados los años setenta, Estados Unidos dominó la tecnología y el mercado de exportación de reactores y combustible, además de controlar en régimen de monopolio (en el bloque occidental) el proceso de enriquecimiento del uranio. Ello no impidió que los demás integrantes del club atómico activaran generosas políticas de apoyo a sus industrias nacionales, logrando disminuir la dependencia respecto a Estados Unidos a la vez que acelerar el desarrollo industrial autóctono.

España, una economía más débil, también se situó entre los pioneros de la energía de origen atómico, desplegando uno de los proyectos nucleares más ambiciosos del mundo occidental. En plena Guerra Fría, este megaproyecto facilitó la integración en el bloque liderado por Estados Unidos (Adamson, Camprubí y Turchetti, 2014). En el ámbito interno, actuó de eje vertebrador entre el Estado, representado por la Junta de Energía Nuclear (JEN), y las compañías eléctricas, reunidas en el oligopolio de predominio privado Unidad Eléctrica SA (UNESA). Tanto el Gobierno como las compañías eléctricas estaban convencidos

de que la opción nuclear compensaría la pobreza del carbón nacional, el déficit ocasionado por el petróleo importado y las crecientes dificultades para incrementar el parque de centrales hidroeléctricas. Creían, además, que otorgaría un impulso decisivo a la industrialización del país, de la mano de las empresas de bienes de equipo, ingenierías, constructoras y otras muchas implicadas en la construcción de cada reactor nuclear.

El gran crecimiento de la demanda de electricidad registrada en España entre 1960 y 1973 (media anual del 7,8%)¹ iba en consonancia con las previsiones de los planes de desarrollo: el I Plan (1964-1967) anunció un incremento anual del 11,5% y el II Plan (1968-1971) del 13% entre 1969 y 1985. De ahí que llegaran a estar sobre la mesa proyectos para edificar cuarenta reactores nucleares, que en conjunto supondrían unos 35 000 MW de potencia instalada, más del 50% del total de la generación eléctrica (Rubio-Varas y De la Torre, 2017, 2018a; Sánchez y López, 2020). Fue el pronóstico de estas extraordinarias necesidades de uranio, fuente de alimentación de los reactores nucleares, el que llevó al Gobierno a crear, en 1972, la Empresa Nacional del Uranio SA (ENUSA), que asumió las tareas industriales que hasta entonces había desarrollado, a menor escala, la JEN. ENUSA escapó de las políticas autárquicas y de industrialización sustitutiva de importaciones (ISI) que habían reinado durante las dos primeras décadas de franquismo. Como otras empresas públicas creadas después del Plan de Estabilización de 1959, se caracterizó por emprender procesos especializados con un fuerte componente tecnológico, fruto de la inversión directa, la transferencia de conocimiento y la integración en consorcios internacionales (Cebrián y López, 2019).

Los primeros Gobiernos democráticos heredaron los planes nucleares del franquismo, cuyo marco institucional necesitaban no obstante modificar para adaptarse al nuevo contexto económico y político, marcado por la crisis industrial, la llegada de la democracia parlamentaria y la expansión del movimiento antinuclear (De la Torre y Rubio-Varas, 2022). El shock energético mundial dio al traste con el megaproyecto nuclear español, al ralentizar el ritmo del crecimiento industrial y de la demanda eléctrica. Así las cosas, se recalcularon a la baja los planes energéticos nacionales (PEN), se decretó la moratoria del sector y solo diez reactores se conectaron finalmente a la red eléctrica (7705 MWe de potencia instalada) (gráfico 1)².

Tras una etapa de incertidumbre y apuros financieros, ENUSA logró salir airoso y adaptarse al nuevo ciclo político, económico y empresarial. Centró su negocio nuclear en la fabricación de elementos combustibles, reorientó su estrategia comercial hacia la exportación y diversificó su actividad productiva, combinando el negocio nuclear con las actividades medioambientales y logísticas. Estas estrategias resultaron efectivas: la empresa acaba de celebrar su quincuagésimo aniversario después de décadas de beneficios, una alta cifra de negocios y una posición destacada a nivel nacional e internacional.

El objetivo de este artículo es indagar en la historia de ENUSA, sus orígenes, su evolución antes y después de la moratoria, y su adaptación a un escenario muy diferente a aquel en el que fue concebida. Se trata de un estudio de caso que

¹ El PIB creció a un ritmo inferior (5,5%). Sudrià (1987, p. 340).

² Reactores de Zorita, Garoña, Vandellós 1 y 2, Ascó 1 y 2, Almaraz 1 y 2, Cofrentes y Trillo. Zorita, Garoña y Vandellós 1 están hoy cerrados y en proceso de desmantelamiento.

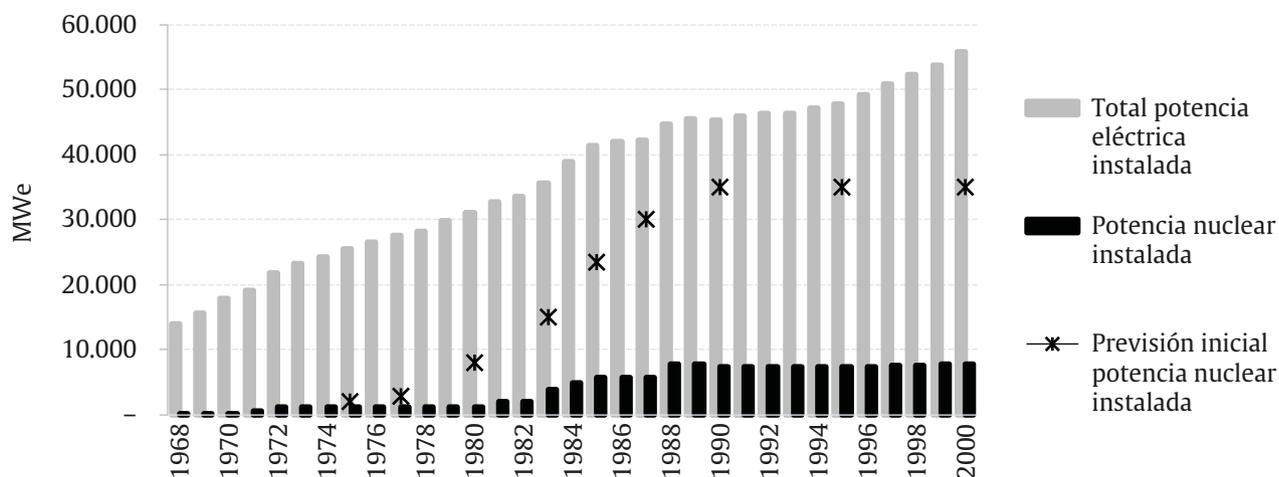


Gráfico 1. Evolución de la potencia del parque eléctrico de España, 1968-2000 (MWe).

Fuente: UNESA (2002) y Archivo SEPI-INI.

combina las variables institucionales, tecnológicas, económicas y políticas, imprescindibles para comprender la creación y evolución de una empresa pública que surgió, con el apoyo de la iniciativa privada, para satisfacer las necesidades de combustible de un programa nuclear tremendamente ambicioso, que luego se reduciría a una cuarta parte de lo previsto.

¿Por qué se creó ENUSA? ¿Cuáles fueron sus objetivos fundacionales? ¿Cómo logró sobrevivir a la moratoria? ¿Cómo reaccionó frente a los drásticos recortes del programa nuclear español? ¿Se hallan en el pasado las razones de su actual competitividad internacional? Estas son las preguntas a las que este texto tratará de aportar alguna luz.

Nuestro ejercicio se nutre de la literatura científica que ha abordado la complejidad de las relaciones simbióticas entre Estado y mercado en los procesos de industrialización de los países, centrándose en el concepto de *Estado emprendedor* y la eficiencia de la empresa pública en el largo plazo (Balassa, 1971; Krueger, 1978; Buckley, 2009; Mazzucato, 2013; Mühlenkamp, 2015, entre otros). Partimos también de los escritos que, desde la historia empresarial, han examinado los procesos de *resiliencia*, entendidos como la capacidad de afrontar con éxito una situación de crisis, volviendo a un estado anterior de funcionamiento normal o a una situación de recuperación que no muestre desajuste (Duchek, 2020). Según estos estudios, la capacidad de resiliencia de una empresa depende, fundamentalmente, de su preparación, su red de relaciones y sus facultades de liderazgo, que impulsan el desarrollo de soluciones para adaptarse al cambio (Serrat, 2017; Duchek, 2020). Nuestra hipótesis de partida es que ENUSA logró estas capacidades gracias a la asistencia técnica extranjera. Los conocimientos, experiencias y contactos adquiridos en el exterior resultaron decisivos para superar con éxito los años convulsos de la reconversión industrial y el cambio en la política energética del Gobierno, llegando al siglo XXI como una empresa no meramente superviviente, sino líder en su sector de actividad.

Como ha demostrado el análisis de las tres primeras plantas nucleares españolas (Zorita, Garoña y Vandellós 1), la transferencia de tecnología extranjera implicó un intenso proceso formativo, que solía comenzar en el país suministrador y luego se trasladaba a España, y que afectaba a prácticamente todo el personal: operarios, ingenieros, gestores, legisladores y cien-

tíficos de muy diversas especialidades (De la Torre y Rubio-Varas, 2018b, 2018c; Sánchez, 2022). Los agentes locales no se limitaron a recibir y replicar las enseñanzas extranjeras, sino que fueron más allá: al adaptarlas y mejorarlas lograron un papel activo en la generación propia de I+D+i, con efectos multiplicadores sobre numerosas actividades y sectores (López y Valdaliso, 2001; Rubio-Varas y De la Torre, 2017; Delgado y López, 2019; Sánchez y López, 2020).

Los orígenes históricos de la fabricación de combustible nuclear en España apenas han sido abordados por la historiografía, que se ha centrado en explicar los inicios de la ciencia nuclear (Presas, 2000, 2005; Barca, 2010; Herrán y Roqué, 2012; Soler, 2017; Menéndez, 2007; Santesmases, 2006, 2009), la historia de la JEN (Caro, 1995; Romero de Pablos y Sánchez-Ron, 2001), el programa de construcción de centrales nucleares (Caro, 1995; Rubio-Varas y De la Torre, 2017; Romero de Pablos, 2019) y el alcance del movimiento antinuclear (Costa, 2001; Menéndez, 2015; Menéndez y Sánchez Vázquez, 2013; Espluga *et al.*, 2017). Tampoco se recoge la historia de ENUSA en los trabajos sobre el Instituto Nacional de Industria-INI (como el clásico de Martín Aceña y Comín, 1991). Solo en dos libros recientes, patrocinados por la Sociedad Nuclear Española (SNE), se incluyen sendos capítulos descriptivos sobre la empresa, cuya historia tecnológica también es tratada, muy someramente, en la revista *Dyna*³. Resulta fundamental, creemos, conocer el pasado de esta empresa, no solo porque constituyó un actor clave en el proceso de desarrollo y modernización de la economía española, sino porque además puede facilitar, en el complejo panorama energético actual, la toma de decisiones y el diseño de estrategias empresariales, científico-técnicas e industriales más acertadas (como, por ejemplo, han demostrado con otros estudios de caso Acemoglu, 2002; David, 2007; Elola *et al.*, 2012 y Sydow, 2017).

El texto está estructurado en tres apartados, además de la introducción y la conclusión. Abordamos, en primer lugar, la gestación de ENUSA y su posición en el ciclo del combustible nuclear. Examinamos después los contratos firmados con las

³ Sánchez y López (2020, cap. 4), Acosta (2022, cap. 5) y Sánchez, López y De la Torre (2023).

multinacionales estadounidenses Westinghouse y General Electric, titulares de las licencias de fabricación del combustible que alimenta o ha alimentado la gran mayoría de los reactores españoles. Para finalizar, analizamos las estrategias que utilizó ENUSA para sobrevivir a la crisis energética, adaptarse a los drásticos recortes del proyecto nuclear, incrementar su presencia en los mercados internacionales y, en definitiva, poder hablar de éxito en su quincuagésimo aniversario.

2. ENUSA y el ciclo del combustible nuclear

ENUSA se creó mediante un decreto del Ministerio de Industria fechado el 23 de diciembre de 1971, y se constituyó oficialmente el 17 de abril de 1972. Previamente, una comisión gestora, integrada por representantes gubernamentales, empresariales y académicos, avaló su interés y viabilidad. Su objetivo consistía en abordar todas las actividades industriales y comerciales del ciclo del uranio, «con la finalidad de que fuesen atendidos en todo momento los aprovisionamientos y servicios necesarios para el funcionamiento de todas las centrales nucleares españolas en explotación, construcción y proyecto»⁴. Contaba entonces España con tres centrales nucleares operativas, siete reactores en construcción y planes en firme para la edificación de al menos una docena de nuevas plantas. Todos los reactores habían sido confiados a la iniciativa privada, que a excepción de Vandellós 1 y Trillo los había construido o los iba a construir con tecnología y financiación de Estados Unidos: la tecnología procedía de las multinacionales eléctricas Westinghouse (*pressurized water reactor* –PWR–) y General Electric (*boiling water reactor* –BWR–), y la financiación del banco público Export-Import Bank (Eximbank)⁵.

Se encomendó, por tanto, a ENUSA inicialmente todo el ciclo del uranio, es decir, el recorrido que realiza el uranio desde que se extrae de la mina hasta que se gestiona el combustible gastado en el reactor (figura 1). Este recorrido es largo y complejo. El uranio se encuentra en la naturaleza en proporciones muy bajas, de manera que el mineral obtenido en la mina ha de ser primeramente concentrado (U_3O_8) y después convertido en hexafluoruro de uranio (UF_6). Por lo general, el UF_6 se enriquece, es decir, se somete a un proceso industrial (difusión gaseosa o centrifugación) que permite que su isótopo fisible U_{235} alcance concentraciones superiores en un 3-5% a las de su estado natural (las concentraciones para fines bélicos superan el 90%). A continuación, el UF_6 enriquecido se transforma en polvo de dióxido de uranio (UO_2), que después se compacta en forma de pastillas. Estas pastillas se introducen en tubos metálicos de unos 4 metros de largo y 10 milímetros de diámetro, que a su vez se disponen en una estructura metálica para formar el elemento combustible que albergará el núcleo del reactor. Tras el funcionamiento del reactor, el combustible gastado (con uranio que no se ha consumido y plutonio que se ha generado) puede ser, bien reprocesado y reutilizado como combustible (*ciclo cerrado*), bien almacenado definitivamente (*ciclo abierto*).

Antes de la creación de ENUSA, la gestión del ciclo del uranio había correspondido a la JEN, que organizó a tal efecto una

amplia red de laboratorios, plantas piloto e incluso alguna pequeña factoría⁶. Pero este organismo, nacido al calor de la autarquía e integrado mayoritariamente por científicos e ingenieros (tanto militares como civiles), carecía de los rudimentos empresariales para afrontar a gran escala la producción industrial de uranio, máxime ante las vastas previsiones del programa nuclear español⁷. Para asegurar la continuidad del megaproyecto atómico, el INI y el Ministerio de Industria consideraron imprescindible la creación de ENUSA. La JEN se reservaría la parte científica del ciclo del uranio y ENUSA gestionaría la industrial, permaneciendo ambos organismos en constante comunicación⁸. Paralelamente, el INI impulsó la puesta en marcha de Equipos Nucleares SA (ENSA) para la fabricación de grandes componentes nucleares (generadores de vapor y vasijas del reactor, fundamentalmente). Aunque ENUSA se creó como una entidad de capital enteramente público, el INI vendió enseguida el 40% de sus acciones a seis empresas privadas con proyectos en curso de instalación de centrales nucleares: Unión Eléctrica, Compañía Sevillana de Electricidad, Hidroeléctrica Española (HE), Fuerzas Eléctricas de Cataluña (FECSA), Iberduero y Electra de Viesgo⁹. En aquellos años de expansión de los programas atómicos, empresas similares a ENUSA proliferaron por todo el mundo como una escisión de las agencias nucleares nacionales. Algunas se especializaron en una sola fase del ciclo (Japan Nuclear Fuel, 1967; Mitsubishi Nuclear Fuel, 1971), mientras que otras, como ENUSA, centralizaron varias y lograron una posición destacada dentro y fuera de sus países de origen (British Nuclear Fuels Limited, 1971; Compagnie Générale des Matières Nucléaires, 1976).

Los promotores de ENUSA tuvieron desde el principio claro que, pese al conocimiento acumulado heredado de la JEN, necesitarían contar con asistencia exterior: había etapas del ciclo del uranio que, por sus altas exigencias tecnológicas, financieras y de seguridad, no se realizaban en España (enriquecimiento) o se realizaban solo a escala de laboratorio o semi-industrial (conversión de U_3O_8 a UF_6 y de UF_6 a UO_2). También necesitarían importar uranio, pues la producción interna no bastaba para cubrir las altas previsiones. Se calculaba que hacia 1985 España necesitaría 33 168 toneladas acumuladas de U_3O_8 (uranio concentrado) y entre 2,8 y 3,3 millones de UTS (uranio enriquecido)¹⁰. Ahora bien, España no producía uranio enriquecido y sus reservas «razonablemente seguras» de U_3O_8 apenas llegaban a las 10 000 toneladas (el 1% mundial, aproxi-

⁶ Destacaron el Centro Nacional de Energía Nuclear Juan Vigón, ubicado en Madrid, y la fábrica de uranio General Hernández Vidal, en Andújar (Jaén). Más detalles en Caro (1995), Romero de Pablos y Sánchez-Ron (2001) y Sánchez y López (2020).

⁷ «Informe sobre la constitución de ENUSA», mayo 1971, Archivo de la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales-Registro Histórico del Instituto Nacional de Industria (en adelante Archivo SEPI-INI), ENUSA-Comisión Gestora, caja 3883.

⁸ Los exdirectivos de ENUSA Juan Ignacio Artieda González-Granda y José Manuel Jiménez Arana recuerdan un ambiente de «franca colaboración» entre ENUSA y la JEN, más allá de alguna discusión menor por el reparto inicial de competencias (entrevistas realizadas por los autores en junio de 2020).

⁹ Se dejó la puerta abierta a la participación (minoritaria) extranjera, que no obstante nunca llegó a producirse.

¹⁰ «Aprovisionamiento de concentrados de uranio y de servicios de enriquecimiento para el programa español de centrales nucleares. Análisis y propuestas», informe del Ministerio de Industria-Dirección General de Energía, 1974, Archivo SEPI-INI, Presidencia, caja 195.

⁴ Decreto 3322/1971, de 23 de diciembre, sobre fines de la Empresa Nacional del Uranio (BOE, 18-1-1972). Completado con el Real Decreto 2967/1979, de 7 de diciembre, sobre Ordenación de Actividades en el Ciclo del Combustible Nuclear (BOE, 14-1-1980).

⁵ De la Torre y Rubio-Varas (2015) y Rubio-Varas y De la Torre (2017).

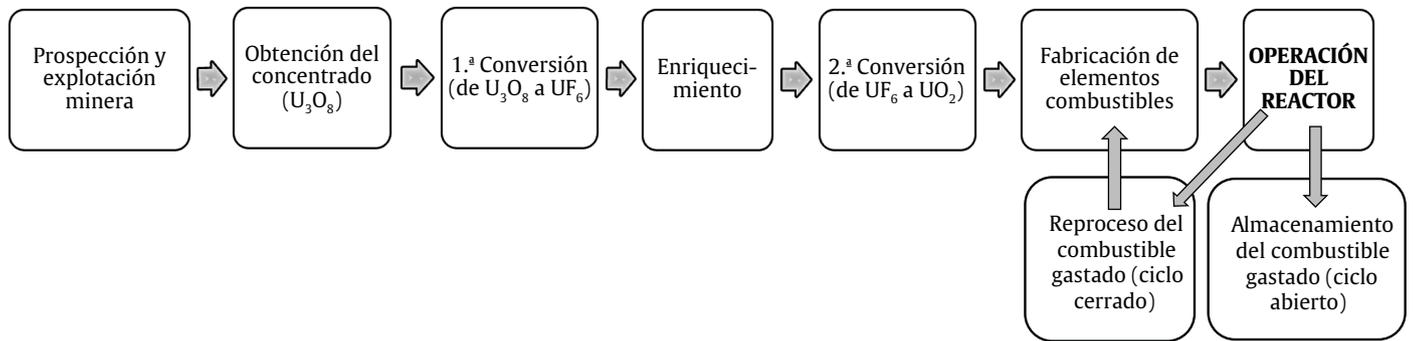


Figura 1. Fases del ciclo del uranio.

Fuente: elaboración propia.

madamente)¹¹. Desde la Comisión Gestora, se recomendó no optar por un solo suministrador extranjero, ni de concentrados ni de servicios de conversión y enriquecimiento, sino, bien al contrario, diversificar las opciones tanto como fuese posible. También se recomendó prestar especial atención al desarrollo interno de la fabricación de los elementos combustibles, que se presumía como la etapa de mayor valor añadido al exigir menores inversiones y contar con un amplio mercado interior y exterior¹². Veamos brevemente cuál fue la implicación histórica de ENUSA en cada una de las fases constituyentes del ciclo del uranio.

2.1. Prospección y explotación minera

Desde el mismo momento de su constitución, ENUSA se hizo cargo de las actividades mineras que había iniciado la JEN, adquiriendo la titularidad de los yacimientos que conservaban una cierta rentabilidad, sobre todo en Ciudad Rodrigo (Salamanca) y Don Benito (Badajoz)¹³. En el marco del Plan Nacional de Exploración del Uranio (PNEU), vigente de 1974 a 1984, ENUSA realizó nuevas tareas de exploración de minerales radiactivos en las provincias de Salamanca, Córdoba, Jaén, Badajoz, Cáceres, Ciudad Real, Sevilla, Huelva y Guadalajara¹⁴. En conjunto, ENUSA sumó a los 200 000 km² prospectados por la JEN una superficie adicional de 110 000 Km²¹⁵. Como se presumía, el uranio nacional extraído no bastaba para cubrir la demanda de los reactores españoles. Por ello, ENUSA participó en diversas actividades mineras extranjeras, como accionista (Cominak), en *joint ventures* (Conwest, Soquem) o mediante

acuerdos de colaboración temporales (Anglo, Nufcor, IAN-Colombia, EMSSCA-Venezuela)¹⁶. Fruto de estas iniciativas, las reservas españolas de uranio se multiplicaron por cuatro en diez años (de 10 000 a 39 000 toneladas «razonablemente seguras» de U₃O₈), lo que situaba a España en el segundo puesto del ranking europeo (después de Francia)¹⁷.

EL PNEU finalizó en 1984, frenándose la puesta en marcha de nuevos programas de prospección y explotación minera. ENUSA recortó personal y se ciñó a las minas ya conocidas, especialmente las de Ciudad Rodrigo. A lo largo de los años ochenta y noventa, la actividad minera de ENUSA se redujo progresivamente hasta acabar desapareciendo. La materia prima era cada vez más difícil de obtener por su alta dispersión, baja ley y difícil extracción. Las últimas minas de uranio (yacimientos FE y D, en los términos municipales de Saelices en Chico y Carpio de Azaba, a unos 10 km de Ciudad Rodrigo y 90 km de Salamanca capital) cerraron en el año 2000¹⁸.

2.2. Procesos de concentrado, conversión y enriquecimiento

La JEN había dedicado importantes esfuerzos a la investigación en técnicas de concentrado y conversión del uranio. Primero instaló laboratorios e industrias piloto en el Centro Juan Vigón (distrito de Moncloa, Madrid), y más tarde puso en marcha, con tecnología propia, la planta experimental Lobo-G (La Haba, Badajoz), la fábrica de uranio de Andújar (Jaén) y las plantas ELE (Estación de Lixiviación Estática) y ELEFANTE (extensión de la planta ELE) en Ciudad Rodrigo. ENUSA retomó estas instalaciones y las completó con la planta Quercus (lixiviación dinámica), también en Ciudad Rodrigo, que entró en funcionamiento en 1993. El cese de la actividad minera condujo al cierre, en 2003, de la planta Quercus, la última fábrica española de concentrados de uranio, que siempre había funcionado de manera disconti-

¹¹ OCDE-OIEA (1975, pp. 24-25).

¹² Intercambio de cartas y notas informativas en Archivo SEPI-INI, ENUSA-Comisión Gestora, caja 4912.

¹³ Se trataba, en su mayoría, de yacimientos explotados a cielo abierto en terrenos graníticos y de pizarra.

¹⁴ A tal fin, se movilizaron 12 321 millones de pesetas y 250 trabajadores. «Plan Nacional del Uranio», nota informativa, 17-4-1974, Archivo SEPI-INI, Presidencia, caja 194. En 1980 la gestión del PNEU pasó de la JEN a ENUSA, que lo denominó Plan Nacional de Exploración e Investigación del Uranio (PNEIU). Véanse los informes: «Exploración y explotación del uranio. Plan Nacional del Uranio», Archivo General de la Administración (en adelante AGA), Industria, caja 71/10783, y «Plan Nacional de Exploración e Investigación del uranio», informe del Ministerio de Economía y Hacienda, 1985, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 7590.

¹⁵ «ENUSA-Plan Estratégico 1985-89», publicado en marzo de 1984, Archivo SEPI-INI, ENUSA, vol. 7395. Listado y ubicación de yacimientos en Sánchez y López (2020, pp. 75-77 y 177-179).

¹⁶ Más detalles en SIEMCALSA (2009) y Sánchez y López (2020, pp. 132-135).

¹⁷ El ranking mundial lo encabezaban, por este orden, Estados Unidos, Australia, África del Sur, Canadá y Níger. OCDE-OIEA (1975, pp. 24-25), Buckley, Mackerron y Surrey (1980, p. 89) y ENUSA. *Memoria 1983*, Archivo SEPI-INI.

¹⁸ «Exploración y explotación del uranio. Plan Nacional del Uranio», AGA, Industria, caja 71/10783 y «Plan Nacional del Uranio», nota informativa, 17-4-1974, Archivo SEPI-INI, Presidencia, caja 194. Recientemente, el incremento de los precios del uranio ha despertado el interés de algunas empresas por la reapertura de las minas salmantinas, siendo la más conocida la australiana Berkeley.

nua, a un tercio de su capacidad y estrechamente vinculada a las subvenciones de Euratom. Sus costes de producción, superiores en casi un 30% a los precios del mercado internacional, no compensaron su continuidad. Pese a todos los esfuerzos desplegados, la producción doméstica de concentrados resultó, como la minería, excesivamente onerosa en términos relativos, recurriéndose como norma a los grandes suministradores extranjeros: concentrados de Rio Tinto Zinc (Gran Bretaña), Denison Mines (Canadá), Gulf (Canadá) y Eldorado (Canadá); servicios de conversión de British Nuclear Fuels Limited (Gran Bretaña), Eldorado (Canadá) y Techsnabexport (URSS).

Respecto al uranio enriquecido, hay que señalar que nunca se ha producido en España. La JEN ni siquiera lo intentó, dadas sus altísimas exigencias en materia tecnológica y financiera. ENUSA contrató en el extranjero los servicios de enriquecimiento necesarios para asegurar el abastecimiento de todas las centrales nucleares españolas presentes y futuras. Desde 1974, las importaciones de Estados Unidos¹⁹, que hasta entonces abastecía en monopolio al mercado occidental, se combinaron con las de la empresa soviética Techsnabexport y los grupos europeos Eurodif y Urenco. En el capítulo del enriquecimiento, la voluntad de diversificación no solo fue geográfica, también alcanzó a la tecnología: difusión gaseosa *versus* centrifugación, «al menos hasta que no se demuestre con rotundidad la superioridad de uno de los dos procedimientos»²⁰. ENUSA participó en el capital de Eurodif y Urenco, suscribiendo el 11,11% y el 6,5% de sus acciones, respectivamente, porcentajes que se tradujeron en el derecho (y la obligación) de adquirir partes equivalentes del uranio enriquecido producido. La planta de difusión gaseosa de Eurodif, situada en Tricastin (Francia), comenzó a funcionar en 1978²¹. Urenco, por su parte, dispuso de tres plantas de centrifugación desde finales de los años setenta: Almelo (Holanda), Capenhurst (Reino Unido) y Gronau (Alemania Occidental)²². España participó también (como observador) en el Comité Permanente para el Enriquecimiento del Uranio (COPENUR) de la Comunidad Económica Europea (CEE), que tenía la misión de potenciar la colaboración entre Eurodif y Urenco para poder competir con Estados Unidos y la URSS. En los últimos años, el país que ha encabezado la lista de suministradores de concentrados y servicios de conversión y enriquecimiento a ENUSA ha sido Rusia. La invasión de Ucrania no ha paralizado las entregas, aunque sí ha incrementado el precio y dificultado el transporte²³.

¹⁹ Primero canalizadas a través de la Atomic Energy Commission (AEC), y desde 1977 a cargo del Department of Energy (USDOE).

²⁰ «Bases para el aprovisionamiento de combustibles nucleares», reunión del Consejo de Ministros del 2 de noviembre de 1973, AGA, Industria, caja 71/10785.

²¹ Eurodif solicitó a sus socios propuestas para la ubicación de la futura planta. Desde España se presentaron dos, Cabo Cope (Murcia) y Ametlla de Mar (Tarragona), que recibieron muy pocos apoyos en comparación con Tricastin. «Localización de una planta de difusión en España», 18-12-1972, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 5060. El profesor Jean-Pierre Daviet, especialista en la historia de Eurodif, apunta que esta falta de apoyos se debió a la incapacidad española de suministrar la gran cantidad de energía eléctrica necesaria en la difusión gaseosa (1993, p. 153). Tricastin necesitó una corriente de 3200 MW, que recibió de cuatro unidades nucleares de 900 MW instaladas en sus inmediaciones.

²² Rippon (1974, pp. 19-20). El enriquecimiento por centrifugación, que consume mucha menos energía que la difusión gaseosa, es hoy la tecnología más utilizada a nivel mundial.

²³ ENUSA. Memoria 2022, <https://www.enusa.es/sala-de-prensa/publicaciones/memorias-anuales/> (consultado en septiembre 2023).

2.3. Fabricación de los elementos combustibles

La fabricación de elementos combustibles para reactores de agua ligera fue recogida en los textos fundacionales de ENUSA y ratificada en los PEN de 1975 y 1978. No obstante, la producción a escala industrial tardaría aún varios años en materializarse. La JEN disponía de una fábrica piloto de elementos combustibles en su complejo de Madrid-Moncloa, donde se efectuaron algunos diseños de recarga para los reactores experimentales (JEN-1, Argos, Arbi, JEN-2 y Coral 1) y las centrales de primera generación (Zorita, Garoña, Vandellós 1). Paralelamente, habían surgido algunas iniciativas privadas, lideradas por las grandes compañías eléctricas, que intentaron acometer este proceso. El caso más destacado fue el de la Sociedad Ibérica de Estudios y Productos Nucleares SA (Ibernuclear), fundada en 1967 y disuelta poco después de la constitución de ENUSA. La producción industrial de elementos combustibles, en la fábrica de Juzbado (Salamanca), se convertiría en el principal activo de ENUSA, como veremos en los epígrafes siguientes.

El suministro de los elementos combustibles a las centrales nucleares se reguló mediante un contrato tipo (aprobado en 1975, modificado en 1985) entre ENUSA y las empresas eléctricas propietarias de los reactores. Era un compromiso mutuo por el cual las eléctricas adelantaban el pago del combustible, que ENUSA se comprometía a entregar en la fecha convenida. Desde 1975, no se otorgó ninguna autorización previa para la construcción de nuevas centrales si no se había acordado previamente con ENUSA el suministro de la primera recarga de combustible y las recargas a efectuar durante un mínimo de diez años. A finales de los años setenta, ENUSA contaba con un total de dieciocho contratos para otros tantos reactores nucleares, tres en servicio (Zorita, Garoña, Vandellós 1) y otros quince en diversos estadios de autorización o construcción (Almaraz 1 y 2, Ascó 1 y 2, Cofrentes, Vandellós 2 y 3, Lemóniz 1 y 2, Valdecaballeros 1 y 2, Trillo 1 y 2, Sayago, Regodola).

2.4. Gestión del combustible gastado y los residuos

Durante sus primeros años de actividad, ENUSA se dedicó también a tareas relacionadas con la segunda parte del ciclo del combustible. En un primer momento, estudió junto a la JEN la construcción de una planta industrial para la reelaboración del combustible gastado. Ambas entidades apostaban entonces por el ciclo cerrado, que no solo permitiría aliviar el problema cada vez más acuciante de los residuos radiactivos, sino que además permitiría disponer de plutonio para los reactores rápidos o supergeneradores, que entonces parecían muy prometedores²⁴. El combustible gastado procedente de las centrales de primera generación había sido reprocesado en el extranjero (el de Zorita y Garoña en Gran Bretaña, el de Vandellós 1 en Francia), pero la contratación de estos servicios presentaba cada vez más dificultades (técnicas, financieras, políticas). La JEN y ENUSA llegaron a decidir la construcción de una planta de reproceso en España, el Centro de Investigación Nuclear de Soria (CINSO), que finalmente se canceló con la moratoria.

²⁴ «Informe sobre almacenamiento y reproceso de combustibles irradiados», de Manuel Isla (ENUSA) a Luis Magaña, director general de Energía del Ministerio de Industria, 20-12-1976, AGA, Industria, caja 10779. Véase también Basabe (1983, pp. 241-242).

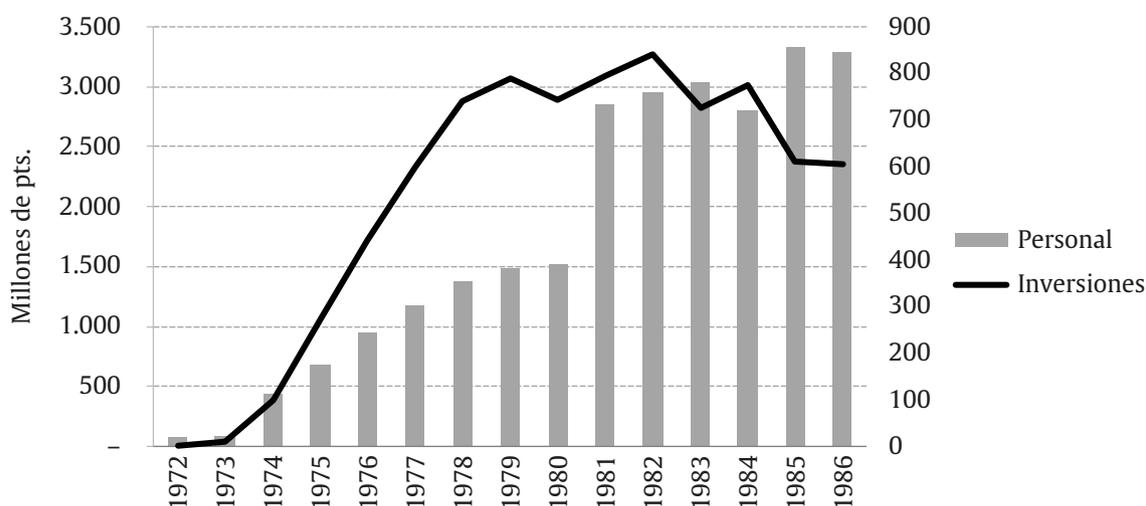


Gráfico 2. ENUSA-Evolución de las inversiones (en millones de pesetas constantes de 1972) y del personal, 1972-1986.

Fuente: memorias ENUSA (varios años).

ENUSA intervino también en una serie de estudios sobre el almacenamiento de los residuos radiactivos de alta, media y baja actividad, hasta que en 1984 esta actividad fue asumida por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos SA (ENRESA). Los planes generales de residuos radiactivos aprobados en el decenio siguiente confirmaron que la estrategia española sería la del *ciclo abierto*. Los costes excesivos, las dificultades tecnológicas, la creciente conflictividad social y la preocupación internacional por la proliferación de armas nucleares lastraron la opción de los reactores rápidos alimentados con plutonio²⁵. Los residuos de baja y media actividad se almacenan hoy en El Cabril (Córdoba). Los de alta actividad (salvo los de Vandellós 1), en piscinas o instalaciones de almacenamiento en seco anejas a las centrales, que se plantearon como temporales en tanto se construía un Almacén Temporal Centralizado (ATC), decisión que lleva décadas posponiéndose.

La puesta en marcha de todos estos procesos implicó un importante esfuerzo inversor y de capital humano, que se concentró en los años setenta (gráfico 2). El capital de ENUSA procedió de tres fuentes principales: fondos propios (accionistas, INI, Presupuestos Generales del Estado), anticipos de las empresas eléctricas propietarias de los reactores y créditos obtenidos en entidades financieras nacionales e internacionales. En cuanto al personal, se reclutó a especialistas procedentes de la JEN y de las empresas eléctricas, junto a nuevas incorporaciones de personal especializado y no especializado.

3. La transferencia de conocimiento: los acuerdos con Westinghouse y General Electric

A finales de 1972, pocos meses después de su constitución, ENUSA entabló contacto con las principales empresas extran-

teras fabricantes de elementos combustibles, solicitando ofertas para la compra de la tecnología de diseño y fabricación de los elementos de tipo PWR y BWR. Recibió un total de diez propuestas y preseleccionó cinco: cuatro estadounidenses (Westinghouse, General Electric, Gulf United, Babcock and Wilcox) y una alemana (Kraftwerk Union). Retuvo finalmente dos: Westinghouse y General Electric, propietarias respectivamente de los diseños PWR y BWR. Ambas corporaciones fueron seleccionadas en función de su experiencia y presencia a nivel mundial: «Han fabricado y tienen contratados combustibles para sus respectivos tipos de reactores en cantidades varias veces superiores a las suministradas o contratadas por todos los demás fabricantes juntos»²⁶. Efectivamente, en aquellos años, Westinghouse fabricaba el 60% del combustible PWR consumido en el mundo y General Electric en torno al 70% del BWR²⁷.

Las negociaciones con Westinghouse resultaron especialmente complejas debido a sus altas («inadmisibles» según los directivos de ENUSA²⁸) exigencias iniciales: 1) participar en el capital social de ENUSA; 2) prohibir la firma de contratos con otros fabricantes, incluido General Electric; y 3) poder vender sus productos en España a través de subsidiarias, es decir en clara competencia con ENUSA. General Electric se mostró más flexible en sus condiciones, aparte de solicitar desembolsos iniciales, *royalties* y pagos por formación de especialistas comparativamente más bajos (tabla 1).

Los contratos con ambas multinacionales entraron en vigor en diciembre de 1974, tras haber recibido el visto bueno del INI, el Ministerio de Industria y la consultora americana NUS

²⁵ Especialmente a raíz de la *Ley Carter de no proliferación nuclear* de 1978, promovida por el Gobierno de Estados Unidos para controlar las exportaciones de material atómico y los posibles usos indebidos del combustible nuclear.

²⁶ «Informe sobre los contratos de licencia para el diseño y fabricación de combustible nuclear para reactores de agua ligera acordados con WEC y GEC», Madrid, septiembre 1974, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 5394. Véase también «Intercambio de documentación relativa a la modificación de los contratos con WEC y GEC, 1981», Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 6761.

²⁷ Informe de José Luis Niño de Olaiz, director del sector de Siderurgia, Metalurgia y Minería del INI, 10-10-1974, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 26/exp. 71.

²⁸ Carta de Javier Sagüés, presidente de ENUSA, a Claudio Boada, presidente del INI, Madrid, 9-12-1972, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 221.

Corporation. Westinghouse y General Electric cedieron a ENUSA el conjunto de las licencias, patentes y *know-how* necesarios, así como sus futuras actualizaciones, para el diseño, fabricación y gestión de los elementos combustibles. Los contratos se firmaron para un periodo de quince años, prorrogables de mutuo acuerdo. Al final, ambas empresas reconocieron a ENUSA la exclusividad de la venta en España y la posibilidad de exportar a otros países, y también admitieron la contratación a otros proveedores, socios o no de las multinacionales americanas. ENUSA, por su parte, se comprometió a ceder toda la tecnología de detalle que se realizase en España.

Los dos contratos englobaban la prestación de servicios de asistencia técnica, especialmente mediante el suministro de información, la consultoría y la formación de personal (en las instalaciones de Estados Unidos, o en España *on the job*). Así, desde abril de 1975, ingenieros y técnicos de ENUSA y de la JEN efectuaron estancias de formación (9-18 meses, dependiendo de las especialidades) en los laboratorios y plantas de Westinghouse (Pittsburgh, Pennsylvania, y Columbia, Carolina del Sur) y General Electric (Wilmington, Carolina del Norte, y San José, California)²⁹. El objetivo último era conseguir que ENUSA diseñase y fabricase (que no solo ensamblase) combustibles con las mismas prestaciones y grado de calidad que las compañías licenciantes, e incluso que pudiese algún día prescindir de ellas para minimizar riesgos de suministro y ahorrar divisas³⁰.

Los acuerdos con Westinghouse y General Electric recogieron también la posibilidad de firmar programas conjuntos de I+D+i, que en buena medida se focalizaron en proyectos de ingeniería informática. ENUSA no contaba al principio con soportes aptos para alojar los programas y códigos de seguridad altamente especializados suministrados por las firmas americanas, de manera que tuvo que recurrir a ordenadores externos (General Electric utilizó los Honeywell Bull de SEAT y Westinghouse los Control Data Corporation del Centro de Cálculo de Sabadell). Con el tiempo, ENUSA adquirió sus propios equipos informáticos, lo que redundó en una mayor autonomía y un importante ahorro de tiempo y gestiones³¹.

Westinghouse y General Electric recogieron en sus contratos la previsión de asistencia técnica para la construcción, montaje, puesta en marcha y explotación de una fábrica de elementos combustibles en España. La fábrica se instaló en el municipio de Juzbado (Salamanca), en un entorno rural adecuado en términos geológicos y con baja densidad demográfica: las poblaciones más cercanas, Juzbado (a 3 km) y Ledesma (a 10 km), contaban con 214 y 2273 habitantes en 1970 (según datos del Instituto Nacional de Estadística). Influyeron también la tradición del uranio en la provincia de Salamanca, que faci-

litaría la aceptación social, y la presencia de la Universidad, que proporcionaría especialistas y parte del soporte técnico. En 1975, ENUSA compró a un particular una finca de 450 ha., iniciándose enseguida los estudios preceptivos de coeficiente sísmico, resistencia del terreno y topografía de detalle³². La capacidad de producción prevista era de 100 toneladas/año en 1977, 400 en 1980 y 800 en 1985, año este último en el que se esperaba tener en plantilla a unos 1000 trabajadores (225 directivos y técnicos, 75 administrativos y 700 operarios)³³.

En diciembre de 1975 se presentó ante la Delegación de Industria de Salamanca un anteproyecto que describía la naturaleza de la instalación, argumentaba su conveniencia y aportaba información sobre su inocuidad. Pero los sucesivos recortes del programa nuclear español, el incremento de la inversión prevista y el despliegue de la protesta antinuclear en la provincia de Salamanca demoraron durante varios años el inicio de los trabajos de construcción.

La mayoría de los salmantinos desconocía las características de la infraestructura que se iba a construir en Juzbado. Población y medios de comunicación hablaban erróneamente de central nuclear, fábrica de enriquecimiento, cementerio nuclear, etc., y solo unos pocos mencionaban la fabricación de elementos combustibles³⁴. ENUSA realizó, en colaboración con la JEN, sucesivas campañas de información y propaganda, con ruedas de prensa, conferencias de especialistas y la organización de visitas a fábricas europeas análogas. También incorporó al proyecto medidas de seguridad adicionales, que en su opinión eran incluso «excesivas para los procesos que se van a desarrollar en la fábrica», y que incrementaron los costes y retrasaron aún más los trabajos de construcción. Paralelamente, ENUSA tanteó a otros municipios cercanos a Juzbado por si, llegado el caso, podían servir de alternativa³⁵.

La Diputación de Salamanca dio por fin luz verde al proyecto en 1979, después de reunir una serie de informes especializados que despejaron sus recelos en torno a las cuestiones siguientes: la fábrica de Juzbado era radicalmente distinta a una central nuclear; en Europa existían fábricas similares, incluso cercanas a grandes núcleos de población; la instalación no albergaría nunca actividades de reproceso ni almacenamiento del combustible gastado; el uranio residual disuelto en los efluentes se eliminaría completamente y no existiría ningún tipo de contaminación hídrica; los elementos fabricados se transportarían en contenedores especiales siguiendo la normativa internacional de seguridad; y los niveles de radiactividad serían mínimos y, en todo caso, controlados.

Pese a todo, la Diputación condicionó su aceptación a la concesión de garantías extra por parte de ENUSA, el INI y el Gobierno central. En concreto, solicitó a ENUSA seguros espe-

²⁹ Agradecemos esta información a José Luis González Martínez, presidente de ENUSA de 1997 a 2018 (entrevista realizada por los autores en junio de 2020). Estas estancias continuaban la dinámica de la JEN, que desde los primeros años cincuenta había enviado a muchos de sus ingenieros y técnicos a formarse a Estados Unidos (De la Torre y Rubio-Varas, 2018a).

³⁰ En conjunto, los pagos por licencias y asistencia técnica no fueron demasiado gravosos para ENUSA en términos relativos, pues no significaron más del 5% del coste total de la fabricación del combustible (los servicios de enriquecimiento alcanzaban el 30-40%) (Sánchez y López, 2020, p. 155).

³¹ «Informe sobre el contrato de servicios de ordenador acordado con WEC», Madrid, septiembre de 1977, e «Informe sobre la instalación de un ordenador CDC 180/830 en locales de ENUSA», octubre 1984, Archivo SEPI-INI, ENUSA, cajas 5928 y 7396.

³² ENUSA-Acta del Consejo de Administración nº 24, 22-9-1975, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 5564.

³³ «Fábrica de combustibles de óxido de uranio para centrales nucleares que se ha previsto instalar en la provincia de Salamanca», informe del INI al Ministerio de Industria, 6-2-1976, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 195/exp. 410.

³⁴ Ver dossier de prensa sobre la protesta antinuclear en la provincia en Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 195/exp. 140.

³⁵ «ENUSA. Programa de actividades, inversiones y financiamientos. Ejercicio económico 1977», Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 5743; y «Fábrica de Juzbado», informe del Ministerio de Economía y Hacienda, Intervención General de la Administración del Estado, 1985, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 7590.

Tabla 1.

Comparación de los contratos firmados con Westinghouse y General Electric

	Westinghouse	General Electric
Denominación del contrato	Contrato de asistencia técnica y licencia de patentes sobre combustible nuclear y componentes del núcleo para reactores de agua a presión entre ENUSA y Westinghouse Electric Corporation	Contratos recíprocos de asistencia técnica y licencia de patentes sobre componentes del núcleo de la caldera nuclear entre ENUSA y General Electric Company
Fecha de entrada en vigor	Diciembre 1974	Diciembre 1974
Duración	15 años, prorrogables	15 años, prorrogables
Pagos por asistencia técnica	3 millones \$ (a la firma del contrato)	1,6 millones \$ (escalonados)
Royalties*		
– Anticipo a cuenta	2 millones \$	Ninguno
– Por Kg de uranio fabricado	5 \$/kg U contenido en las 1.000 primeras Tm (4 \$/Kg de 1.001 a 2.000 Tm y 3 \$/Kg de 2.000 Tm en adelante)	4 \$/kg U contenido en las 1.000 primeras Tm (3,5 \$/Kg de 1.000 Tm en adelante)
– Mínimo anual a partir de 1980	500.000 \$	100.000 \$
Pago inicial	3 millones \$	400.000 \$
Pagos por formación de especialistas*	1000 \$ por hombre/mes	790 \$ por hombre/mes

*Revisión de precios en función de los índices USA.

Fuente: Archivo SEPI-INI.

ciales para los agricultores y ganaderos de la zona, así como la contratación preferente de trabajadores autóctonos; al INI, destinar una suma de dinero similar a la invertida en Juzbado (c. 3500 millones de pesetas) a proyectos no nucleares a realizar en Salamanca, y al Estado iniciar de manera urgente un plan para la modernización de la comarca de Ledesma, que contemplase la expansión del tejido industrial y la mejora de las infraestructuras rurales³⁶.

La autorización oficial se otorgó en 1980, tras la sucesión de permisos parciales (como el de captación y vertido de aguas) prevista en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas³⁷. Al año siguiente se iniciaron los trabajos de edificación, que culminaron en 1985, año en que la fábrica inició su producción. Se dividió en dos grandes áreas de fabricación: el área cerámica, donde se transforma el UO₂ enriquecido en polvo en pastillas de alta densidad; y el área mecánica, destinada a la carga y sellado de las vainas, la fabricación de los dispositivos estructurales, el ensamblaje final del conjunto y su embalaje para ser expedido a las centrales. Al principio, se habilitaron también dependencias para la conversión química del UF₆ enriquecido (importado) a UO₂, pero este proceso, considerado el más problemático en términos de seguridad, fue finalmente abandonado. Los primeros elementos combustibles montados en Juzbado se destinaron a la central nuclear de Ascó, en Tarragona. Seguirían a Ascó las demás centrales españolas (excepto Trillo)³⁸ y algunas euro-

peas (Suiza, Francia, Bélgica, Alemania, Suecia y Finlandia)³⁹. La fábrica se sometió desde el principio tanto a las inspecciones regulares del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), encargado de garantizar la seguridad y protección radiológica, como a las salvaguardias del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) y Euratom, que vigilan que el uranio no sea desviado a aplicaciones militares.

4. Entre la crisis y la reestructuración

ENUSA surgió para satisfacer las necesidades de uranio de un ambicioso programa nuclear. No obstante, una vez en marcha, tuvo que enfrentarse al complejo panorama que trajeron consigo la crisis del petróleo y el consiguiente giro de la política energética. La crisis del petróleo resultó un arma de doble filo para el sector nuclear. En un primer momento, hizo redoblar, en España y en otros muchos países, la apuesta por la energía nuclear como alternativa al petróleo, lo que empujó al alza los precios del uranio. Después, rebajó el ritmo de crecimiento económico y por tanto de la demanda eléctrica, poniendo en evidencia el sobredimensionamiento de los proyectos nucleares. Las moratorias incrementaron los excedentes mundiales de uranio concentrado y enriquecido. El resultado fue el desplome de los precios (gráfico 3) y, de ahí, el cierre en cadena de numerosas infraestructuras en todo el mundo, cuyos costes de producción se volvieron insostenibles.

³⁶ Sánchez y López (2020, p. 153).

³⁷ Orden del Ministerio de Industria y Energía de 12-12-1980 por la que se autoriza a la Empresa Nacional del Uranio SA (ENUSA) la construcción de una fábrica de combustible de óxido de uranio en Juzbado, Salamanca (BOE, 23-12-1980).

³⁸ ENUSA decidió que la licencia de Trillo (tecnología alemana) no resultaba económicamente interesante para un solo reactor, pero acordó con la

empresa propietaria, KWU, realizar en Juzbado algunos componentes y procesos (fabricación de pastillas, carga de vainas, montaje de estructuras y transporte). Fue el denominado proyecto TREWA. Véanse informes y cartas en SEPI-INI ENUSA, caja 7897.

³⁹ González Martínez (2018, p. 54). El primer contrato de suministro con una central extranjera se firmó en 1988 con la central suiza de Leibstadt.

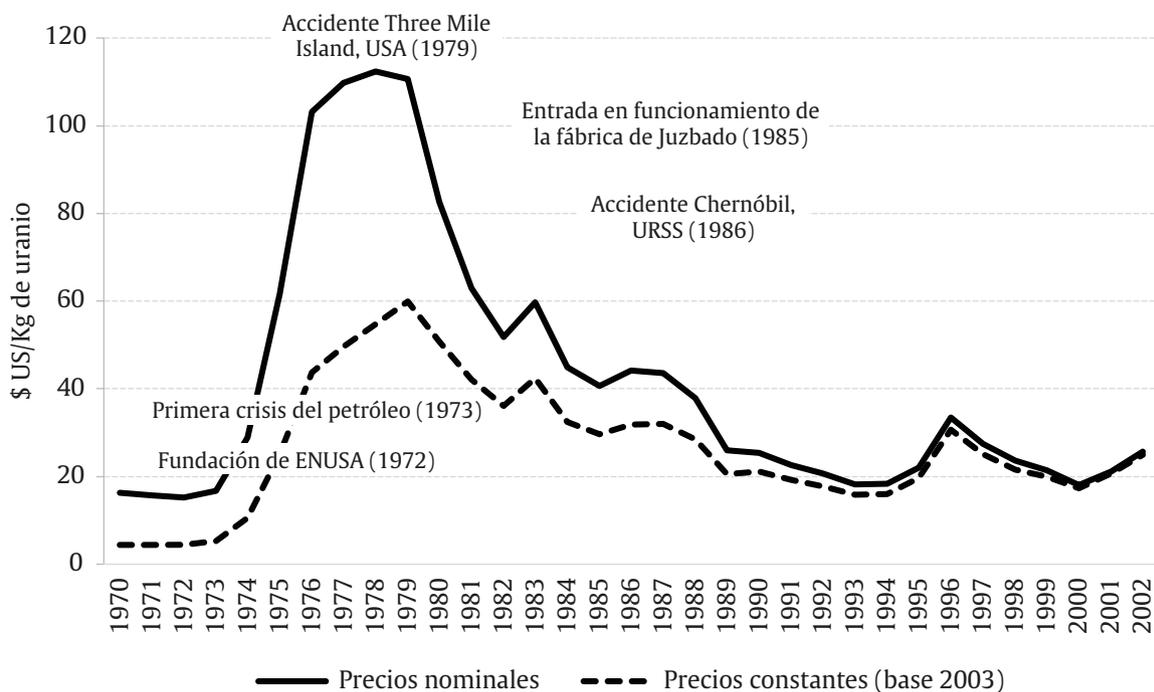


Gráfico 3. Evolución del precio medio del concentrado de uranio en el mercado internacional, 1970-2002.

Fuente: OCDE-NEA (2006) y revista Energía Nuclear (varios números).

En España, el Gobierno de Unión de Centro Democrático (UCD) presentó en 1978 un programa energético que moderó el ritmo de construcción de centrales nucleares (además de sentar las bases para la creación de un organismo regulador independiente, el futuro Consejo de Seguridad Nuclear). El Gobierno del Partido Socialista Obrero Español (PSOE) culminó ese trabajo de ajuste, esgrimiendo la necesidad de racionalizar el sector eléctrico y adecuar la construcción de nuevas plantas a una demanda en descenso y unos costes financieros cada vez más elevados. Así, en el PEN de 1983 se decretó la parada nuclear (moratoria) de parte del proyecto nuclear español⁴⁰, no sin antes salvaguardar los intereses de las empresas eléctricas promotoras⁴¹.

Como no podía ser de otra forma, el desajuste entre los suministros contratados en el mercado internacional y las necesidades reales de los reactores españoles generó una gran acumulación de excedentes, tanto de concentrados como de servicios de enriquecimiento, con máximos de 2797 toneladas de U_3O_8 en 1982 y 2 093 000 UTS en 1985 (tabla 2). El problema se agravó porque la construcción de las centrales de segunda y tercera generación no dejó de acumular retrasos, fruto de las crecientes exigencias (y costes) en materia de seguridad (sobre todo a raíz de los grandes accidentes nucleares), junto al aplazamiento de las autorizaciones oficiales y la expansión del movimiento antinuclear. Paralelamente, el contexto mundial

de inflación, aumento de los tipos de interés y apreciación del dólar complicó la devolución de los créditos que las empresas eléctricas españolas habían acordado con entidades financieras extranjeras para la construcción de los reactores. Se calcula que, a comienzos de la década de 1980, once de las quince empresas españolas más endeudadas en dólares pertenecían al sector eléctrico⁴².

Así las cosas, las compañías eléctricas retrasaron o suspendieron el pago a ENUSA de buena parte de sus anticipos, llevándola a una complicada situación financiera: la empresa nacional no podía hacer frente a los compromisos suscritos con los suministradores extranjeros de uranio (por valor de 113 694 millones de pesetas acumulados en 1984⁴³), de manera que su viabilidad parecía pender de un hilo. Los presidentes de ENUSA y el INI informaron de esta delicada situación al Gobierno, que en el PEN de 1978 decidió «nacionalizar ENUSA», al comprar los activos que estaban en manos de las grandes eléctricas⁴⁴. Un preámbulo del rescate del sector cinco años después.

Pese a la sucesión de dificultades y la incertidumbre del programa nuclear español, ni la UCD ni el PSOE plantearon en ningún momento la disolución de ENUSA. Al contrario, ambos Gobiernos recomendaron ampliar y modernizar las instalaciones de la fábrica de Juzbado, para que pudiese abastecer al mercado nacional (en régimen de monopolio) y emprender la

⁴⁰ La moratoria paralizó, entre otras infraestructuras, las centrales de Lemóniz 1 y 2, Valdecaballeros 1 y 2, Trillo 2, Vandellós 3, Sayago y Regodola, que habían sido programadas para entrar en servicio entre 1978 y 1988. La cancelación definitiva se produjo en 1994. En ella se reconoció el derecho de sus titulares a percibir una compensación por las inversiones efectuadas. Estas compensaciones, que se repercutieron a los consumidores en el recibo de la luz, terminaron de pagarse en 2015.

⁴¹ De la Torre y Rubio-Varas (2022, cap. 3).

⁴² De la Torre y Rubio-Varas (2016, p. 96). La afirmación solo incluye los créditos otorgados por el Eximbank de Estados Unidos, pero, dada su importancia relativa, permite hacerse una idea del ranking de endeudamiento global.

⁴³ Programa Operativo Anual (POA) de ENUSA de 1987, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 522.

⁴⁴ «ENUSA. Situación y perspectivas», 25-4-1979, Archivo SEPI-INI, ENUSA, caja 6330.

Tabla 2.Stocks de uranio concentrado (en toneladas de U_3O_8) y enriquecido (en Unidades de Trabajo de Separación-UTS), 1977-1987.

Año	Suministros comprometidos		Necesidades reales		Excedentes	
	T. de $U_{30}8$	Miles UTS	T. de U_3O_8	Miles UTS	T. de $U_{30}8$	Miles UTS
1977	892	332	90	0	802	332
1978	2.714	812	172	56	2542	756
1979	2.222	765	218	89	2004	676
1980	2.658	1.008	791	360	1867	648
1981	3.049	1.670	964	450	2.085	1.220
1982	3.049	1.622	252	89	2.797	1.533
1983	2.277	1.840	427	202	1.850	1.638
1984	2.277	2.045	453	190	1.824	1.855
1985	2.977	2.269	406	176	2.571	2.093
1986	2.077	2.281	896	433	1.181	1.848
1987	2.077	2.338	1.595	783	482	1.555
TOTAL	26.269	16.982	6.264	2.828	20.005	14.154

Fuente: revistas Energía Nuclear y Nuclear España (varios números)

exportación a precios competitivos. En el Plan estratégico de ENUSA previsto para 1980-1983 se decidió mantener el proyecto de explotación minera de Salamanca (y, secundariamente, de otros yacimientos de la península), así como las alianzas con firmas extranjeras (Akouta, Eurodif, Conwest, Westinghouse, General Electric). No obstante, la moratoria se hizo pronto evidente: se interrumpieron definitivamente algunas actividades dentro y fuera de España (conversión en Juzbado, minería en Colombia), se eliminó el stock de seguridad de uranio y se redujo al mínimo el stock básico (2000 Tm de U_3O_8 y 1,3 millones de UTS, siguiendo las recomendaciones de Euratom). En el Plan Estratégico de 1985-1989 se contrajo la inversión minera, se canceló toda implicación de ENUSA en la segunda parte del ciclo del combustible y se suspendió el proyecto de levantar en Juzbado una fábrica de vainas de zircaloy, si bien se aprobó la planta Quercus de concentrados de uranio a instalar en Ciudad Rodrigo⁴⁵.

¿Cómo se solucionó, en poco más de cinco años, la grave crisis financiera de ENUSA? El objetivo prioritario que se marcó la empresa fue la reducción de excedentes. Para ello, se combinaron diversas estrategias: cancelación de compromisos de compra (v. g. a Estados Unidos y Canadá), renegociación de contratos para aplazar o disminuir los suministros inicialmente acordados (Cominak, Eurodif, USDOE), préstamo o venta a terceros de uranio concentrado y enriquecido (Cogema, Florida Power and Light, OKG Aktiebolag) y revisión del contrato tipo firmado con las empresas eléctricas para flexibilizar las condiciones de compraventa y disminuir la financiación pública. Paralelamente, ENUSA inició su diversificación sectorial, añadiendo al negocio nuclear actividades de tipo medioambiental y logístico, como la restauración de minas antiguas, la gestión de residuos sólidos urbanos y el transporte de isótopos radiactivos de uso médico. Por último, la entrada en funciona-

miento de Juzbado incrementó la autofinanciación de la compañía, que por tanto pudo moderar el recurso al préstamo bancario. Como resultado de todo ello, ENUSA consiguió reducir progresivamente la deuda y generar beneficios. Según sus memorias, 1982 fue el año en que comenzó a registrarse un beneficio neto (104 millones de pesetas) y 1985 el que marcó el punto de inflexión en la reducción de la deuda (de 112 000 millones de pesetas en 1984 a 98 000 en 1985). En 1990 el beneficio neto había ascendido a 2565 millones de pesetas y la deuda se había reducido a 45 850 millones de pesetas⁴⁶.

Las cifras han continuado siendo positivas hasta la actualidad, con alguna inflexión mínima fruto de coyunturas complicadas como la pandemia de COVID-19⁴⁷. ENUSA (desde 2000 Enusa Industrias Avanzadas SA) continúa siendo una empresa enteramente pública, perteneciente a la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI), heredera del INI (60%), y al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), en el que se integró la JEN (40%). La fabricación de elementos combustibles, en la planta de Juzbado, es la única fase del ciclo del uranio que conserva ENUSA, contratándose el resto en el exterior⁴⁸. Juzbado abastece a los siete reactores españoles operativos y a varios reactores extranjeros, fundamentalmente europeos (Suiza, Francia, Bélgica, Alemania, Suecia, Finlandia). Los acuerdos tecnológicos con Westinghouse y General Electric siguen vigentes, con una política de constante actualización y ampliación a nuevos pro-

⁴⁶ ENUSA. *Memorias anuales*, varios ejercicios. ENUSA fue una de las pocas empresas del INI que cosecharon resultados positivos en aquel decenio. Martín Aceña y Comín (1991, p. 520).

⁴⁷ Véanse las últimas memorias anuales de ENUSA, disponibles en: <https://www.enusa.es/sala-de-prensa/publicaciones/memorias-anuales/> (consultado en mayo 2023).

⁴⁸ En unos pocos países y empresas, en su mayoría socios históricos de ENUSA. Listado en Foro Nuclear, <https://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/faqas-sobre-energia/capitulo-9> (consultado en mayo 2023).

⁴⁵ Véanse los POAs de ENUSA de 1985 y 1987 en Archivo SEPI-INI, ENUSA, cajas 6115 y 522.

yectos (como la fabricación de combustible para reactores de factura rusa VVER440, prevista para 2024). Además, ENUSA ha logrado desarrollar líneas de I+D+i al margen de sus licenciantes, por ejemplo, en técnicas de soldadura, contenedores de doble uso (transporte y almacenamiento a largo plazo) y automatización, robotización y transformación digital.

Con más del 50% de su producción destinada al mercado internacional, ENUSA se ha convertido en la primera empresa exportadora de la provincia de Salamanca y una de las primeras de Castilla y León. Efecto de la asistencia exterior y la I+D propia, se ha situado entre las empresas de base tecnológica más relevantes del sistema productivo nacional, con una destacada participación en proyectos de investigación internacionales⁴⁹. Hoy continúa con su política de flexibilidad y diversificación sectorial, prestando atención particular a la restauración medioambiental y el transporte de mercancías peligrosas y especiales. ENUSA ejerce también de mecenas en el área de influencia de Juzbado, castigada por la despoblación, patrocinando actividades de formación, mejora de infraestructuras y eventos de tipo cultural, medioambiental y de ocio y tiempo libre⁵⁰.

5. Conclusión

La seguridad del abastecimiento a largo plazo del combustible necesario es uno de los puntos esenciales de cualquier programa energético. Esta necesidad se vuelve más acuciante en los programas nucleares, por su carácter estratégico, las grandes inversiones asociadas a la construcción de reactores y la complejidad del ciclo del combustible.

ENUSA se creó para satisfacer las necesidades de uranio de las centrales nucleares españolas. Inició su andadura en un momento de euforia nuclear, cuando los planes energéticos nacionales otorgaban a la energía nuclear una posición preponderante en el mix de generación eléctrica. La energía nuclear se presentaba como la mejor alternativa a los combustibles fósiles y a la energía hidráulica, a la vez que como una magnífica palanca de desarrollo económico. Los responsables de la política energética y las compañías eléctricas privadas se embarcaron así, con el apoyo de las grandes corporaciones industriales y financieras extranjeras, en un programa de construcción masiva de reactores: unos cuarenta, si sumamos los construidos, autorizados, preautorizados y discutidos.

Semejante parque nuclear requería la existencia de una empresa (prioritariamente pública, dados los costes financieros, complejidad tecnológica y riesgos implicados) que gestionase de forma centralizada las actividades comerciales e industriales del ciclo del uranio, garantizando el suministro de los reactores en servicio y de próxima instalación. ENUSA se benefició del acervo científico-tecnológico de la JEN (conocimientos, instalaciones, personal), organismo que, creado en plena autarquía y guiado por el principio de la autosuficiencia

productiva, había ensayado en laboratorios, plantas piloto e incluso plantas industriales todas las fases del ciclo del uranio (con la única excepción del enriquecimiento) y contaba con un capital humano altamente especializado (en su mayoría formado en el extranjero).

ENUSA desligó a la JEN de las actividades industriales y comerciales, que habían crecido exponencialmente y requerían una gestión profesional. La empresa nacional estableció su sede social en Madrid, si bien sus dos grandes proyectos industriales, la explotación minera y la fábrica de elementos combustibles de Juzbado, se localizaron en la provincia de Salamanca. Para completar la producción nacional, que siempre tuvo problemas de cantidad y calidad, ENUSA recurrió desde sus primeros años de funcionamiento al mercado internacional, intentando en la medida de lo posible diversificar tanto geográfica como tecnológicamente su cartera de proveedores.

La reducción del proyecto nuclear pasó inevitablemente factura a ENUSA, que atravesó una situación complicada entre finales de los años setenta y principios de los ochenta. Sus actividades se habían planificado en función de los 35 GW de potencia nuclear instalada prevista inicialmente (23,5 GW confirmados en firme en el PEN de 1975). Los drásticos recortes aprobados en los PEN de 1978 (10,5 GW) y 1983 (7,7 GW), junto a los retrasos acumulados en los reactores en construcción y en proyecto, pusieron en evidencia el exceso de capacidad industrial, la sobrecontratación internacional de uranio concentrado y enriquecido, y las dificultades financieras, en un escenario de creciente contestación social.

Ahora bien, ENUSA consiguió contrarrestar aquellos problemas, demostrando una gran flexibilidad y capacidad de adaptación (*resiliencia*) a los nuevos condicionantes del contexto nacional e internacional. Amparada por el Estado (dictatorial primero, democrático después), fue progresivamente abandonando las fases menos rentables del ciclo del uranio y centrando su actividad en la fabricación de los elementos combustibles (con las licencias de Westinghouse y General Electric). Renegoció los acuerdos de adquisición de uranio suscritos con entidades extranjeras, logrando desprenderse de buena parte de sus excedentes sin penalizaciones significativas. Reorientó su estrategia comercial hacia la exportación, inicialmente a mercados europeos y posteriormente a extraeuropeos. Diversificó sus actividades, añadiendo al negocio nuclear los negocios medioambiental y logístico. Y tuvo cada vez más en cuenta las exigencias sociales de transparencia e información pública, a la vez que mostró un creciente alineamiento con los objetivos del desarrollo sostenible.

En la actualidad, ENUSA exporta bienes, servicios y tecnología a más de cuarenta países, y mantiene un amplio abanico de acuerdos con socios internacionales. Forma parte del reducido grupo de fábricas de combustible nuclear en operación (22 en el mundo, 5 en Europa)⁵¹. Gracias a su atención a la formación del personal y al desarrollo de actividades avanzadas de I+D+i (optimizando la tecnología extranjera y desarrollando programas propios), ha alcanzado una gran madurez tecnológica, y mantiene, junto a otras empresas líderes del clúster nuclear como ENSA, Tecnatom, Empresarios Agrupados

⁴⁹ Los proyectos LOFT-OCDE (análisis del comportamiento del núcleo del reactor y los productos de fisión ante determinados accidentes), TRANS-RAMP-II (estudio del comportamiento del combustible en reactores de agua a presión) y TEKURA (utilización de techosoles para la rehabilitación de antiguas instalaciones mineras) son solo algunos ejemplos destacados. Para estas y otras cuestiones de actualidad, remitimos a la web corporativa de ENUSA, www.enusa.es (consultado en mayo 2023) y Acosta (2022).

⁵⁰ Sánchez, Rodríguez y Cabero (2013).

⁵¹ World nuclear association (2021), disponible en: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx> (consultado en octubre 2023).

y Equipos Nucleares, una posición competitiva en los mercados internacionales, con externalidades que alcanzan a numerosos sectores y empresas. En definitiva, un meritorio medio siglo de historia empresarial.

Agradecimientos

Agradecemos la labor de los evaluadores y editores de la revista, cuyos comentarios y sugerencias nos han sido de gran utilidad. También hemos contado con el asesoramiento en algunos pasajes de expertos de la Sociedad Nuclear Española y la empresa ENUSA. Finalmente, queremos dejar constancia de la generosidad de Pablo Soler Ferrán, físico e historiador, que compartió con nosotros su documentación, sus reflexiones y una magnífica visita a las instalaciones de ENUSA. La investigación se ha realizado en el marco de los proyectos HAR2017-86086-R AEI/FEDER, UE («Reacción en cadena: Historia de los negocios atómicos en la Península Ibérica», Ministerio de Economía y Competitividad) y PID2021-128653NB-I00 AEI/FEDER, UE («Los condicionantes del cambio tecnológico en España, 1950-2020: formación e investigación», Ministerio de Ciencia e Innovación).

Contribución de los autores

Los tres autores han colaborado en el diseño de la investigación, la búsqueda de información y el procesamiento de los datos. Esther Sánchez se encargó de redactar la primera versión del texto, que posteriormente revisaron y completaron Santiago López y Joseba de la Torre.

Bibliografía

- Acemoglu, D. (2002). «Technology and the labour market», *Journal of Economic Literature*, 40, 7-72.
- Acosta, F. (coord.) (2022). *El desarrollo de la industria nuclear en España. Contexto y retos empresariales*. Madrid: Sociedad Nuclear Española.
- Adamson, M., Camprubí, L. y Turchetti, S. (2014). «From the ground up: uranium prospection in Western Europe», en S. Turchetti y P. Roberts (eds.), *The Surveillance Imperative: Geosciences during the Cold War and Beyond*. New York: Palgrave MacMillan, pp. 23-44.
- Álvaro, A. (2009). «Los inicios de la internacionalización de la ingeniería española, 1950-1995», *Información Comercial Española*, 849, 97-112.
- Armand, L., Etzel, F. y Giordani, F. (1957). «Un objectif pour Euratom, Rapport» en L. Armand, F. Etzel y F. Giordani, *Sur la demande des gouvernements de la République fédérale d'Allemagne, de la Belgique, de la France, de l'Italie, du Luxembourg et des Pays-Bas*. [s.l.]: pp. 13-46, 157, 117. Disponible en: https://www.cvce.eu/obj/rapport_des_trois_sages_sur_euratom_4_mai_1957-fr-e72917a4-3c9d-48b1-b8cb-41307736731e.html
- Barca, F. X. (2010). «Secrecy or Discretion: Transfer of Nuclear Technology to Spain in Franco Period», *History of Technology*, 30, 179-196.
- Balassa, B. A. (1971). *The Structure of Protection in Developing Countries*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Basabe, J. (1983). «El ciclo del combustible nuclear», *Papeles de Economía Española*, 14, 228-243.
- Buckley, P. J. (2009). «Business history and international business», *Business History*, 51 (3), 307-333.
- Buckey, C. M., Mackerron, G. S. y Surret A. J. (1980). «The international uranium market», *Energy Policy*, 8 (2), 84-104.
- Caro, R. (ed.) (1995). *Historia nuclear de España*. Madrid: Sociedad Nuclear Española.
- Castro, R. y Sánchez, E. M. (2015). «How does knowledge cross borders? French technology transfer and the SOFRE group in the Spain of the planning, 1959-1976», *Industrial and Corporate Change*, 24 (6), 1247-1283.
- Cebrián, M. (2001). «Las fuentes del crecimiento económico español, 1964-1973», *Revista de Historia Económica*, 19, 277-299.
- Cebrián, M. y López, S. M. (2019). «El juego de las divisas en el diseño de las políticas de ciencia, tecnología e innovación en el desarrollo español (1959-1973)», en L. Delgado y S. M. López (eds.), *Ciencia en transición: el lastre franquista ante el reto de la modernización*. Madrid: Sílex, pp. 133-157.
- Costa, P. (2001). *Nuclearizar España*. Madrid: Troya.
- David, P. A. (2007). «Path dependence: a foundational concept for historical social science», *Cliometrica*, 1, 91-114.
- Daviet, J. P. (1993). *Eurodif. Histoire de l'enrichissement de l'uranium, 1973-1993*. Brussels: Mercator.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (2015). *La financiación exterior del desarrollo industrial español a través del IEME, 1950-1982*. Madrid: Banco de España.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (2016). «Nuclear power for a dictatorship: state and business involvement in the Spanish atomic program 1950-1985», *Journal of Contemporary History*, 51, 385-411.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (2018a). «American Nuclear Training: científicos, ingenieros y empresarios españoles en los Estados Unidos del desarrollo atómico», en L. Camprubí, X. Roqué y F. Sáez de Adana (eds.), *De la Guerra Fría al calentamiento global. Estados Unidos y el nuevo orden científico mundial*. Madrid: Catarata, pp. 85-110.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (2018b). «Learning by doing: The First Spanish Nuclear Plant», *Business History Review*, 92, 29-55.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (2018c). «Electricidad nuclear y procesos de aprendizaje: el papel de Westinghouse y de General Electric en la experiencia española (c. 1955-1973)», *Revista de Historia Industrial*, 74, 107-136.
- De la Torre, J. y Rubio-Varas, M. (eds.) (2022). *Economía en transición. Del tardofranquismo a la democracia*. Madrid: Marcial Pons.
- Delgado, L. y López, S. M. (2019). *Ciencia en transición: el lastre franquista ante el reto de la modernización*. Madrid: Sílex.
- Duchek, S. (2020). «Organizational resilience: a capability-based conceptualization», *Business Research*, 13, 215-246.
- Elola, A., et al. (2012). «Cluster Life Cycles, Path Dependency and Regional Economic Development: Insights from a Meta-Study on Basque Clusters», *European Planning Studies*, 20, 257-279.
- Espluga, J. et al. (2017). «Las dimensiones sociales de la percepción de la energía nuclear: un análisis del caso español (1960-2015)», *Revista Internacional de Sociología*, 75 (4). Disponible en: <http://revint-sociologia.revistas.csic.es/index.php/revintsociologia/article/view/688/874>
- González Martínez, J. L. (2018). «ENUSA: 46 años construyendo grandes momentos de pequeñas cosas», *Nuclear España. Revista de la Sociedad Nuclear Española*, 396, 53-55.
- Herran, N. y Roqué, X. (eds.) (2012). *La física de la dictadura. Físicos, cultura y poder en España 1939-1975*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Institute Of Nuclear Sciences-INS (1976). *The Nuclear Power Industry in Europe*. Mimeo.
- Krueger, A. O. (1978). *Liberalization Attempts and Consequences*. Cambridge: Ballinger.
- López, S. M. y Valdaliso J. M. (2001). «Cambio tecnológico y crecimiento económico en España en la segunda mitad del siglo xx: indicadores y polémicas», *Revista de Historia Industrial*, 19-20, 319-338.
- Martín Aceña, P. y Comín, F. (1991). *INI, 50 años de industrialización en España*. Madrid: Espasa Calpe.
- Mazzucato, M. (2013). «Financing innovation: creative destruction vs. destructive creation», *Industrial and Corporate Change*, 22 (4), 851-867.
- Menéndez, A. (2007). «Átomos para la paz... y para la medicina: la popularización de las aplicaciones médicas de la energía nuclear en España», *Revista Española de Medicina Nuclear*, 26, 385-399.
- Menéndez, A. (2015). «Nuclear Energy in the Public Sphere: Antinuclear Movements vs Industrial Lobbies in Spain (1962-1979)», *Mínera*, 53, 69-88.
- Menéndez, A. y Sánchez Vázquez, L. (2013). «La protección radiológica en la industria nuclear española durante el franquismo, 1939-1975», *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 30 (3), 797-812.

- Mühlenkamp, H. (2015). «From state to market revisited: A reassessment of the empirical evidence on the efficiency of public (and privately-owned) enterprises», *Annals of Public and Cooperative Economics*, 86 (4), 535-557.
- OCDE (Nuclear Energy Agency-NEA) (2006). «Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in Perspective», en *The Red Book Retrospective*. Paris: OCDE.
- OCDE (NEA)-OIEA (varios años). *Uranium. Ressources, production et demande*. Paris: OCDE.
- Presas, A. (2000). «La correspondencia entre José M. Otero Navascués y Karl Wirtz, un episodio de las relaciones internacionales de la Junta de Energía Nuclear», *Arbor*, 659-660, 527-602.
- Presas, A. (2005). «Science on the Periphery. The Spanish Reception of Nuclear Energy: an Attempt at Modernity?», *Minerva*, 43 (2), 197-218.
- Rippon, S. (1974). «Ultracentrífugas para enriquecer el uranio», *Energía Nuclear*, 87, 15-20.
- Romero de Pablos, A. (2000). «Un viaje de José María Otero Navascués. Los inicios de la energía nuclear en España», *Arbor*, 659-660, 509-525.
- Romero de Pablos, A. (2012). «Poder político y poder tecnológico: el desarrollo nuclear español (1950-1975)», *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 7 (21), 141-162.
- Romero de Pablos, A. (2019). *Las primeras centrales nucleares españolas. Actores, políticas y tecnologías*. Madrid: Sociedad Nuclear Española.
- Romero de Pablos, A. y Sánchez Ron, J. M. (2001). *Energía nuclear en España. De la JEN al CIEMAT*. Madrid: Ediciones Doce Calles/CIEMAT.
- Rubio-Varas, M. y De la Torre, J. (eds.). (2017). *The Economic History of Nuclear Energy in Spain: Governance, Business and Finance*. London: Palgrave Macmillan.
- Rubio-Varas, M. (2021). «The changing economic context influencing nuclear decisions», en A. Kaijser (ed.), *Engaging the atom: The history of nuclear energy and society in Europe from the 1950s to the present*. Morgantown: West Virginia University Press, pp. 70-110.
- Rubio-Varas, M., De la Torre, J. y Connors, D. P. (2022). «The atomic business: structures and strategies», *Business History*, 64 (8), 1395-1412.
- Sánchez Macías, J. I., Rodríguez López, F. y Cabero, V. (2013). *Impacto socioeconómico de Enusa en Salamanca*. Salamanca: Fundación General de la Universidad de Salamanca.
- Sánchez Sánchez, E. M. (2022). «The training in France of Spanish nuclear personnel, c. 1950s-1990s», *History and Technology*, 38 (1), 3-30.
- Sánchez Sánchez, E. M. y López, S. M. (2020). *Historia del uranio en España. De la minería a la fabricación del combustible nuclear*. Madrid: Sociedad Nuclear Española.
- Sánchez Sánchez, E. M., López, S. M. y De la Torre, J. (2023). «ENUSA y los orígenes de la fabricación de combustible nuclear en España», *Dyna*, 98 (6), 550-554.
- Santesmases, M. J. (2006). «Peace Propaganda and Biomedical Experimentation: Radioisotopes in Endocrinology and Molecular Genetics, and their influence in Spain (1950-1971)», *Journal of the History of Biology*, 39, 765-798.
- Santesmases, M. J. (2009). «From prophylaxis to atomic cocktail: Circulation of radioiodine», *Dynamis*, 29, 337-364.
- Serrat, O. (2017). *Knowledge Solutions. Tools, Methods and Approaches to Drive Organizational Performance*. Singapore: Springer.
- Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León-SIEMCALSA (2009). *El uranio en Castilla y León*. Valladolid: Junta de Castilla y León.
- Soler, P. (2017). *El inicio de la Ciencia Nuclear en España*. Madrid: Sociedad Nuclear Española.
- Sovacool, B. K. y Scott V. V. (2012). *The National Politics of Nuclear Power Economics, Security, and Governance*. London: Routledge.
- Sudrià, C. (1987). «Un factor determinante: la energía», en J. Nadal, A. Carreras y C. Sudrià (eds.), *La economía española en el siglo xx. Una perspectiva histórica*. Barcelona: Ariel, pp. 313-364.
- Sydow, J., Schreyögg, G. y Koch, J. (2017). «Organizational Path Dependence: Opening the Black Box», *Academy of Management Review*, 34, 689-709.
- Unidad Eléctrica SA-UNESA (2002). *Memoria Estadística Eléctrica*. Madrid: UNESA.