
Electricidad nuclear y procesos de aprendizaje: el papel de Westinghouse y de General Electric en la experiencia española (c. 1955-1973)*

● JOSEBA DE LA TORRE

Universidad Pública de Navarra

● MAR RUBIO-VARAS

Universidad Pública de Navarra

A mediados del siglo xx construir centrales nucleares o desarrollar el ciclo integral del uranio configuraban un reto económico, empresarial, tecnológico y financiero de dimensiones al alcance de muy pocos países. Que tuviese lugar en España no deja de causar sorpresa. En apenas veinte años un país relativamente atrasado del sur de Europa logró producir electricidad de origen nuclear casi al mismo tiempo que lo hicieron Alemania, Suiza, Italia o Japón. Estaríamos ante una experiencia de éxito que ha tratado de ser explicada por el efecto combinado de una dictadura decidida a impulsar la energía nuclear, la posición hegemónica de un *lobby* eléctrico dispuesto a aprovechar esa oportunidad de negocio y las facilidades otorgadas a las grandes corporaciones industriales y financieras estadounidenses para vender reactores, uranio enriquecido y capacidades de gestión en España.¹ Es sabido que entre la Conferencia de «Átomos para la Paz» de 1955 y la primera crisis del petróleo el Gobierno español promovió uno de los proyectos más ambiciosos del mundo occidental para desplegar los usos civiles de la reacción en cadena. Ese proceso ha sido analizado por los historiadores de la ciencia y la tecnología y, más recientemente, por la historia económica y financiera. Sin embargo, apenas ha sido explorado por los historiadores de la empresa, es decir, con los métodos y especificidades de esta disciplina.

* Este trabajo se ha beneficiado de la financiación de los proyectos del MCCIN HAR2014-53825-R y HAR 2017-86086-R. Una versión preliminar fue presentada en la Sesión 19 del XII Congreso Internacional de la AEHE (Salamanca, septiembre 2017). Agradecemos haber podido mejorarlo con los comentarios y sugerencias de los colegas que asistieron a esa sesión y de los evaluadores de este artículo.

1. Rubio-Varas y De la Torre (eds.) (2017).

Fecha de recepción: septiembre 2017

Versión definitiva: abril 2018

Revista de Historia Industrial

N.º 74. Año XXVII. 2018

El objetivo general de este trabajo es estudiar las estrategias utilizadas por los consorcios empresariales (privados y públicos) que convirtieron la oportunidad de la energía nuclear en una industria naciente. Para comprender por qué España logró, esta vez sí, situarse entre los *firstcomers* de la energía nuclear pacífica hay que centrarse en el estudio de los procesos de aprendizaje de un reto tecnológico que apenas acababa de arrancar en algunas de las grandes economías industriales y que se pretendía imitar en un país de un nivel fabril relativamente pobre. En cualquier caso, para resolver parte de este dilema, conviene no perder de vista tres consideraciones que se hizo la industria norteamericana a la hora de seleccionar los países a los que transferir esa tecnología: 1) si la opción nuclear tenía sentido en el sistema eléctrico nacional y en el panorama macroeconómico del país importador, 2) si la tecnología resultaba apropiada para su nivel de desarrollo, y 3) si disponía de capacidad financiera suficiente.²

En este artículo pretendemos indagar sobre cómo las grandes multinacionales norteamericanas transfirieron el *know how* nuclear para construir esas primeras centrales y en qué grado fue internalizado por las empresas españolas. Utilizando fuentes de archivo inéditas, o poco exploradas, este artículo se organiza en cuatro bloques. En el primero se ofrece un esquema elemental con las principales piezas que cabe considerar en un análisis teórico de los procesos de aprendizaje industrial, acompañado de una síntesis concisa de los determinantes básicos que permitieron alumbrar el Programa nuclear español. El segundo y el tercer apartado intentan contrastar las experiencias de las centrales nucleares de Zorita y Garoña y sus enseñanzas para los proyectos posteriores, atendiendo a los retos que asumieron los promotores construyendo unas instalaciones industriales inéditas en España y el aprendizaje operativo para su manejo una vez conectadas a la red eléctrica. La transferencia de conocimiento tecnológico se materializa en el análisis de los contratos de «llave en mano» y la entrada de las empresas españolas en la gestación de los dos proyectos. Finalmente, cerramos con unas breves conclusiones.

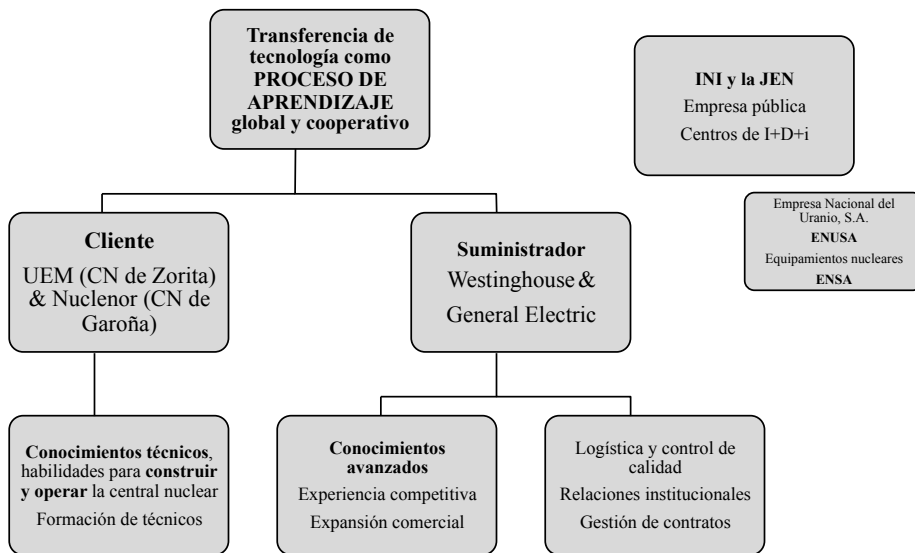
Los determinantes del proyecto nuclear español: *know how* importado, liderazgo empresarial e instituciones

Nuestro punto de partida trata de incorporar una aproximación microeconómica que detalle cómo las empresas acometieron el despliegue atómico español y cuál fue el impacto de las grandes firmas extranjeras sobre las ca-

2. Kaynak y Wells (1990:185). Inicialmente los expertos norteamericanos consideraban que esa tecnología solo podría ser exportada a países de un determinado tamaño, con capacidades industriales y de ingeniería avanzadas (Drogan, 2016).

pacidades organizativas de las firmas locales.³ Este enfoque intenta nutrirse de dos aproximaciones teóricas en las que los factores tecnológicos, económicos e institucionales son esenciales para definir la estrategia de las empresas. En primer lugar, desde la teoría económica entendemos la transferencia tecnológica como un proceso de aprendizaje global y cooperativo entre el cliente y el suministrador (figura 1). Este incluye, del lado del receptor, tanto la acumulación de conocimientos técnicos como de habilidades para construir la infraestructura industrial y, más tarde, hacerla operativa (sea una planta nuclear o una fábrica de enriquecimiento de uranio) por personal local, mejorando procesos y productos. Asimismo, del lado de la multinacional, el *learning process* proporcionaba conocimientos avanzados y experiencia competitiva para perfeccionar su estrategia de expansión en el mercado mundial, incluyendo desde la logística al control de calidad y la formación de técnicos, o las relaciones institucionales y la gestión de los contratos.⁴ Todos los actores, en definitiva, tenían que aprender y ganar.

FIGURA 1 • *Transferencia tecnológica como proceso de aprendizaje dentro del ecosistema empresarial nuclear*



Fuente: Elaboración propia.

3. Álvaro-Moya (2014) indaga en esa vía que va más allá del enfoque clásico de la inversión directa extranjera por medio de los sistemas de patentes, licencias y asistencia técnica.

4. Lamoreaux, Raff y Temin (1999). Niosi, Hanel y Fiset (1995). Un primer ensayo bajo ese marco teórico lo hemos realizado para el caso de la central nuclear de Zorita, en De la Torre y Rubio-Varas (2018).

En segundo lugar, la prolífica literatura sobre *entrepreneurship* ha acuñado recientemente el concepto «ecosistema empresarial», que se define como «un conjunto de actores y factores interdependientes coordinados de tal manera que permitan el emprendimiento productivo» de nuevos bienes y servicios. Instituciones y empresarios son identificados como los actores (que cooperan y compiten), cuyo éxito dependerá de la capacidad de liderazgo y organización, de la formación de capital humano y de un acceso favorable al crédito y la inversión, entre otros factores.⁵ Cada una de estas piezas permite articular un esquema explicativo de cómo se activó el programa nuclear español, si bien este debe incluir el contexto político nacional e internacional (la dictadura y la guerra fría) para explicar determinadas decisiones y la misma evolución del programa.

Así, las empresas de Estados Unidos ocuparon esa posición de casi monopolio en el mercado español y europeo tanto porque su sistema industrial fue el más avanzado entre 1960 y los primeros años setenta, como porque ofrecían unas ventajas financieras imbatibles frente a británicos, franceses y alemanes (cuyas industrias iban por detrás).⁶ En esa primera etapa, Westinghouse y General Electric buscaron crear un mercado exportador de centrales. El mecanismo de las multinacionales para lograr una entrada rápida en países de Europa y Asia fue la oferta de contratos «llave en mano», con un precio fijo.⁷ Los proveedores decidieron correr ese riesgo financiero que podía acarrear los retrasos de obra con incrementos de los costes en unas instalaciones industriales tan complejas como inéditas. Para ello dieron prioridad a aquellos países en los que existía una industria eléctrica y capacidades para producir bienes de equipo. La otra cara de esa expansión del negocio nuclear fue la entrada de empresarios españoles dispuestos a aprovechar e impulsar esa actividad. El modelo ISI de la España autárquica había contribuido a incrementar ese tejido fabril eléctrico y de bienes de equipo. Pero sobre todo fue esencial el liderazgo de algunos de los ingenieros responsables de los proyectos, ya que actuaron como auténticos promotores, desempeñando simultáneamente funciones propias de su formación técnica (diseño y dirección del proyecto), como otras (menos advertidas) de naturaleza político-institucional (negociador con gobiernos y organismos atómicos nacionales e internacionales), comercial y financiera (gestor de

5. Stam y Spigel (2016). En el fondo, el concepto de ecosistema empresarial hunde sus raíces en la economía evolutiva (López y Valdalisó, 1997) y, entre otros soportes teóricos, las funciones empresariales productivas de Baumol (1990). De hecho, la segunda acepción de ecosistema en inglés (*a complex network or interconnected system*, según el Oxford) cobra sentido en las relaciones empresariales.

6. Rubio-Varas y De la Torre (2016); Rubio-Varas y De la Torre (eds.) (2017).

7. En octubre de 1956, la USAEC y el Exim Bank acordaron una acción conjunta para apoyar la construcción de centrales nucleares en países aliados de Estados Unidos, aunque hasta 1962 no se firmó el primer *turnkey contract* (Kaynak y Wells, 1990).

compras de bienes de equipo y combustible nuclear y de créditos, dentro y fuera de España).⁸

Una de las claves a su favor fue el giro de política económica de 1959-1962. Una vez liquidado el proyecto del INI de Suanzes de que el sector público fuese el promotor de las centrales con tecnología española generada desde la JEN (Junta de Energía Nuclear), los ministros del desarrollismo apostaron por ceder la iniciativa al sector privado.⁹ Los consorcios eléctricos ganaban esa batalla y se lanzaban a la compra de los reactores y del resto de los componentes en los países líderes de esa tecnología compleja, cara y de alto riesgo para, de este modo, facilitar un rápido e intenso proceso de aprendizaje.¹⁰ Consideraban que así la primera generación de reactores favorecería el desarrollo de las industrias de bienes de equipo y de combustible irradiado, madurando un sector que garantizase una mayor participación nacional en la segunda generación de centrales. El papel de esos ingenieros-promotores salía muy reforzado por esa política económica. Y es que, por su propia naturaleza, la economía del átomo estuvo bajo el control de los Estados. El papel de los gobiernos se activó más allá de legislar y regular el sector, replicando la normativa internacional. La JEN, dependiente del Ministerio de Industria, actuó como centro de investigación, formación y entrenamiento de especialistas y transferencia de conocimiento a las empresas privadas, creando una red de contactos internacionales para los físicos, ingenieros y operadores españoles.¹¹ La diplomacia económica fue decisiva, ya que facilitó los contactos entre los promotores de uno y otro lado del Atlántico, el acceso a los organismos internacionales y a la financiación del Exim Bank.¹² Las ventajas arancelarias para importar equipamiento nuclear o las desgravaciones y ayudas fiscales reforzaron el interés de las empresas. Gobierno y compañías eléctricas compartían objetivos y afirmaban estar convencidos de que la opción nuclear acabaría siendo más barata que la electricidad producida por carbón o con petróleo importado (profecía cuestionable), aliviando la balanza de pagos y favoreciendo al consumidor doméstico e industrial.

Y lo hicieron en una coyuntura de incertidumbre respecto a cuál iba a ser la tecnología dominante en el mercado mundial. La industria nuclear en los

8. De la Torre, Rubio-Varas y Sanz Lafuente (2018).

9. De la Torre y Rubio-Varas (2015; 99-121).

10. Para fomentar el desarrollo de la energía nuclear en España, la JEN debía, «siguiendo las directrices» del «ministro de Industria», colaborar con «las empresas potencialmente productoras de equipo y componentes para centrales nucleares con objeto de conseguir [...] una participación cada vez mayor de la industria nacional». *Energía Nuclear*, 1965, n.º 36, p. 247.

11. El papel de la JEN y sus dirigentes en la difusión de la opción nuclear española, los contactos exteriores y la formación de sus cuadros se puede seguir en Romero de Pablo y Sánchez-Ron (2001). Véase Herranz y Roque (2012).

12. De la Torre y Rubio-Varas (2016) y Rubio-Varas y De la Torre (eds.) (2016).

países de vanguardia seguía ensayando diversas propuestas de reactor, combustible y refrigerante sin que estuviese claro cuál resultaba más eficiente. Quizá por ello la primera generación de centrales en España abrazó tres tecnologías diferentes de reacción en cadena —PWR, BWR y Gas-Cooled— y dos combustibles distintos —el uranio enriquecido frente al uranio natural—. ¹³ Esa apuesta propiciaría a medio y largo plazo que la industria española contase de manera inesperada con las ventajas de lo que calificaríamos de polivalencia tecnológica. Tampoco hay que descartar que en esa opción múltiple influyesen otros factores. Así, la existencia previa de relación entre promotores eléctricos y empresas suministradoras pudo determinar que los contratos se firmasen con una u otra multinacional. Del mismo modo, las decisiones de política económica afectaron a cómo se resolvió la disputa entre los distintos actores (sector público versus sector privado) y al entorno institucional en que se decidió la compra de cada reactor comercial. Una comparación con el caso de Italia es muy relevante. Algo más precoz que el español, entre 1956 y 1958 el programa nuclear italiano había optado también por tres proyectos de central con tecnologías disímiles (uno de origen británico de uranio natural y dos norteamericanos de combustible enriquecido). Lo que se dirimía en Italia, en realidad, era el debate político que culminó con la nacionalización del sector eléctrico en 1962, dos años antes de que esas tres plantas atómicas fuesen conectadas a la red. ¹⁴

Un modelo de *learning by doing*: las centrales nucleares de Zorita y Garoña

En realidad, los ingenieros que las promovieron admitían que la construcción de centrales electronucleares requería un amplio conjunto de actividades de ingeniería que ni siquiera estaban automáticamente disponibles en países muy industrializados. Al menos en las tareas más complejas (las de la ingeniería nuclear) había que partir prácticamente desde cero y, en consecuencia, estimaban una curva de aprendizaje no inferior a un plazo de entre diez y quince años. ¹⁵ De hecho, ese fue el tiempo que transcurrió entre el anuncio en 1957 de las intenciones de los dos consorcios creados por las grandes compa-

13. Desde la historia tecnológica, Romero de Pablos (2012).

14. Mientras la central nuclear de Trino fue promovida por el grupo Edison con importación de un reactor Westinghouse, las de Garigliano y Latina pertenecían al *holding* IRI (con equipamiento de General Electric) y al consorcio energético público del ENI (construido por la inglesa BNFL). Bini (2017) y Lavisca (2017: 49-52).

15. Frewer y Altvater (1977), ingenieros de la KWU, explicaban así su experiencia en la construcción de centrales atómicas en Argentina, Brasil e Irán.

ñas eléctricas —Nuclenor y Cenusa—¹⁶ de ser los pioneros de la electricidad nuclear y la conexión a la red de las centrales de Zorita y Garoña en 1968 y 1971, respectivamente. Más allá de los jefes de empresa que presidían las grandes eléctricas y observaron que la nuclear habría de ser una fuente de negocio, nos interesa subrayar el liderazgo que ejercieron los responsables de impulsar las dos plantas: Manuel Gutiérrez-Cortines, el hombre de Nuclenor en Garoña, y Jaime Mac Veigh, el de Tecnatom en Zorita. Ingenieros industriales de formación, su papel fue esencial para conseguir los contratos con los dos gigantes atómicos estadounidenses —General Electric y Westinghouse, respectivamente— y para firmar los créditos con la banca pública y privada norteamericana. De estas trayectorias profesionales se infiere que ambos tuvieron una visión de largo plazo en el que erigir esas centrales constituía el primer paso necesario hacia un programa más ambicioso que incluyese la industrialización de un sector nuevo y el ciclo integral del combustible.

Su presencia pública había sido constante, desde 1955, para difundir la idea de que España debía apostar por la economía del átomo. Sus contactos políticos y empresariales en el extranjero les proporcionó un conocimiento preciso de los avances tecnológicos que se estaban logrando en Estados Unidos y en Europa entre finales de los años cincuenta y los primeros sesenta. Su capacidad de influencia les hizo protagonistas de los proyectos de Zorita y Garoña y de la creación del *lobby* nuclear español a finales de 1961, al fundar el Foro Atómico Español, y sobre todo al contribuir indirectamente al giro de política industrial que dejó en mano de las firmas privadas el negocio de las centrales nucleares. En suma, se trata de dos perfiles que significaron un antes y un después en la apuesta por la alternativa energética nuclear y en la maduración de un sector industrial inédito en España.¹⁷ Quizá lo más relevante es que ejercieron de promotores institucionales y, al mismo tiempo, de jefes a pie de obra. Actuaron conscientes de que había que garantizarse el *know how* de ese gran reto tecnológico e importarlo desde los países de vanguardia. Así, Mac Veigh y Gutiérrez-Cortines fueron los jefes de ingeniería que dirigieron de manera integral la construcción de Zorita y Garoña, respectivamente.

Una visión comparada de cómo se acometieron las centrales de primera generación ilustrará los procesos de aprendizaje y de transferencia de conocimiento. Fueron dos plantas destinadas a abastecer de electricidad a dos mercados en pleno crecimiento, situadas en el interior peninsular, de diferen-

16. Nuclenor agrupaba a Iberduero y Electra de Viesgo, mientras Cenusa había establecido una alianza estratégica entre Hidroeléctrica Española, Unión Eléctrica Madrileña y Sevillana de Electricidad.

17. De la Torre, Rubio-Varas y Sanz-Lafuente (2018). Así, por ejemplo, Cortines y Mac Veigh coincidieron en la visita a la Agencia Atómica británica en 1957 (The National Archives of United Kingdom [NAUK], AB 61105).

tes tamaños, potencias y tecnologías (aunque alimentadas por uranio enriquecido), importadoras del equipo y el *know how* de los mayores competidores mundiales, y cuyas limitaciones financieras encontraron el auxilio de la gran banca norteamericana. Y, además, los promotores recibieron todo tipo de apoyo del Gobierno. En la tabla 1 se resumen las principales características de ambos proyectos.

El emplazamiento de las centrales respondía a factores de proximidad a dos de las regiones que estaban en plena explosión demográfica y económica a mediados del siglo xx, los entornos urbano e industrial de la capital de España (Madrid), en el centro del país, y el del Gran Bilbao, en la costa cantábrica (con ramificaciones hacia Santander y Guipúzcoa), necesitados de electricidad para sostener su crecimiento. Desde antes y sobre todo después de la Guerra Civil, la demanda de electricidad en esas regiones había crecido exponencialmente y, en consecuencia, las empresas habían invertido en una infraestructura de producción hidroeléctrica y de distribución de alta tensión¹⁸ que iba a resultar clave para una eficaz conexión a la red de la electricidad de origen nuclear. El tipo de reactores elegidos exigía unos consumos de agua regulares y elevados para garantizar su refrigeración, por lo que las centrales se instalaron junto a ríos de gran caudal —el Tajo y el Ebro, respectivamente—, y en la proximidad a embalses (explotados por las mismas compañías promotoras) que asegurasen esa reserva hídrica durante el estiaje. Asimismo hay que apuntar la existencia de una capacidad fabril en las dos regiones muy superior a la de la media del país, aspecto muy relevante para cumplir con los objetivos de participación de la industria nacional y por el que las empresas locales podrían acceder a algunos de los cientos de contratos inherentes a la ejecución de las centrales.

Desde sus orígenes hubo un rasgo que las diferenció. Garoña y Zorita optaron por modelos tecnológicos distintos. Mientras la primera seleccionó un reactor tipo BWR (el desarrollado por General Electric), la segunda eligió un PWR (el de Westinghouse). Y, además, la capacidad de producción de electricidad también difería. La potencia de Garoña triplicaba la de Zorita. Una posible explicación radica en el grado de maduración comercial de la industria en el momento de contratar la central. Los primeros años sesenta registraron avances muy rápidos en la capacidad de potencia de las instalaciones, en paralelo a fuertes incrementos de la demanda eléctrica de los mercados urbano e industrial.¹⁹ Así, el diseño de Zorita en 1960 revelaba un tamaño acor-

18. Gómez-Mendoza *et al.* (2007); Bartolomé (2011). Garoña se ubicó justamente en el punto geográfico en que se separaba la línea de alta tensión entre Iberduero (hacia el País Vasco) y Electra de Viesgo (el mercado de Cantabria, Asturias y Palencia). Gutiérrez-Cortines (1958) ya la denominaba central nuclear Ebro-Bilbao.

19. Así se indicaba en la Memoria de Nuclenor de 1965 (Archivo Histórico del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [AHBBVA]). Agradecemos a Josean Garrues que nos haya facilitado

TABLA 1 • Características básicas de las centrales nucleares de primera generación

Central	C. N. de Zorita	C. N. de Sta. M. ^a Garoña
Tipo de proyecto	<i>turnkey project</i>	<i>turnkey project</i>
Promotor	Unión Eléctrica Madrileña	Nuclenor
Empresa tecnológica	Westinghouse C ^o	General Electric C ^o
Potencia eléctrica	153 MW	460 MW
Reactor	PWR	BWR
Combustible	Uranio enriquecido	Uranio enriquecido
Emplazamiento	Guadalajara	Burgos
Río	Tajo	Ebro
Caudal de agua refrigeración	4 m3/seg.	11,6 m3/seg.
Pantano	Zorita y Bolarque	Sobrón y Cillaparleta
Centro Consumo Eléctrico	Madrid (urbano e industrial)	País Vasco / Cantabria (urbano e industrial)
Distancia a Centro Consumo	60 km	60 km
Financiación exterior principal	Exim Bank	Exim Bank
Secundaria	Chase Manhattan	Getsco
Financiación nacional	Banco Urquijo, Hispano-Americano	Vizcaya, Bilbao, Español De Crédito, Central y Santander
Garantía del Estado	Sí	Sí
Solicitud inicio proyecto	1/2/1962	1/11/1959
Autorización previa	1960	1958
Autorización del Estado	27/3/1963	9/8/1963
Fecha inicio obras	24/6/64	18/5/66
Fecha conexión red	6/1965	9/1967
Fecha operación comercial	12/12/1968	2/3/1971
	02/1969	5/1971

Fuente: De la Torre y Rubio-Varas (2015); Gutiérrez Bernal (1977); Nuclenor (VV. AA.), y Archivo Alfonso Álvarez-Miranda [AAAM].

de con lo que podía ser capaz de hacer la industria en ese preciso año, unos 60 MW. Se trataba de una potencia muy superior a la de los reactores que hasta entonces se habían instalado en los centros de investigación, y quizá más acorde con la idea de los promotores. Unión Eléctrica Madrileña seleccionó

tado su consulta. La capacidad de los reactores se multiplicó por 16 entre 1957 y 1973, pasando de 60 a 1.000 MW (Zorzoli, 2017: 91).

un reactor manejable que sirviese de ensayo comercial y de aprendizaje técnico para dar el salto a una escala superior, con la expectativa de aplicarlo al programa de sus socios en Cenusa. En su versión final Zorita llegó a los 150 MW.

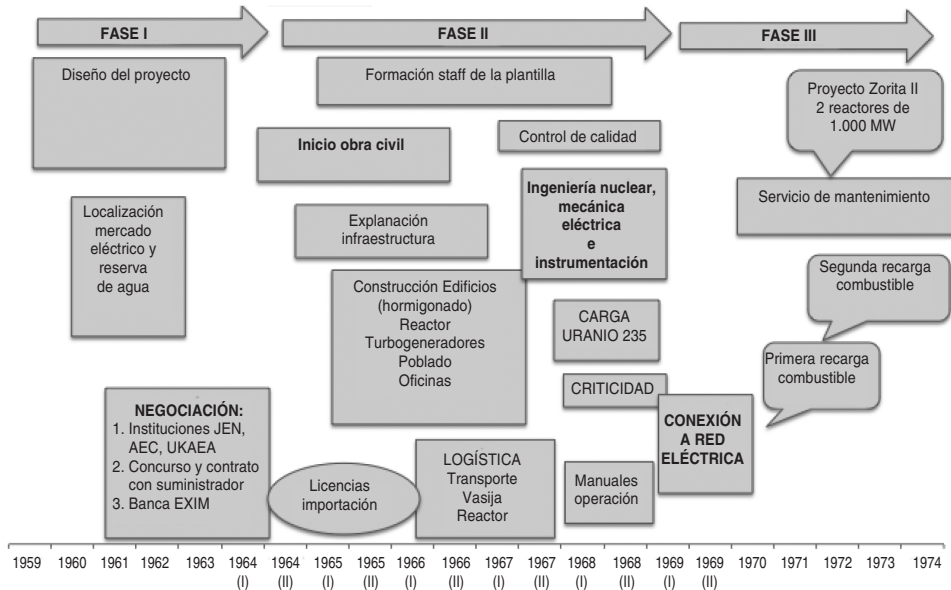
Por su parte, en 1958 el primer borrador de la llamada central Ebro-Bilbao buscaba ya la mayor potencia disponible, que se estimó entre 220 y 250 MW. La ingeniería consideraba, además, que las economías de escala funcionarían como en otras infraestructuras industriales y, en consecuencia, el futuro de la reducción de costes había de pasar por reactores de mayor capacidad. Cinco años más tarde, el proyecto de Garoña aspiraba a un reactor de 300 MW. Cuando este arrancó definitivamente, en 1966, las mejoras técnicas de General Electric hicieron que lograrse el tamaño máximo existente entonces en el mercado, los 460 MW, lo que la situó como «la mayor central nuclear de la Europa Continental»²⁰ el año de su inauguración. Cada una de esas dos tecnologías implicaba una curva de aprendizaje muy exigente al tratarse del primer ensayo a escala industrial de una actividad inédita. Cruzar sus respectivas historias de diseño, construcción y puesta en explotación comercial nos permitirá captar mejor la magnitud del reto nuclear y la capacidad de respuesta del ecosistema empresarial.

Primer reto: ¿cómo construir una central nuclear?

En la figura 2 hemos sintetizado las tres grandes etapas que debían recorrerse para erigir una central atómica. A partir de los informes intermedios de ejecución de la obra se puede trazar esa senda que va del diseño, localización, selección de la senda tecnológica de la planta y, en consecuencia, negociación con el suministrador y el financiador (fase I); construcción de las infraestructuras principales y auxiliares, logística de transporte de grandes equipos e ingeniería mecánica, eléctrica y nuclear (reactor y carga de combustible) hasta conectar el reactor a la red (fase II); y, finalmente, explotación industrial y

20. Esa fue la idea acuñada en la publicidad en los medios de comunicación social. *ABC* (29/9/1971). Solo dos años más tarde a la autorización de Garoña la industria norteamericana duplicaba la potencia de las centrales. Desde 1968 se aprueban los proyectos de reactores de 900 MW. *Energía Nuclear*, 1966: n.º 257 y 258; y Memoria de Nuclenor (1968). NAUK, AB 61105. *Notes for Chairman's visit to Spain* (abril de 1958). El BOE 118 de 18 de mayo de 1966 publica la resolución de la Dirección General de la Energía, por la que se autoriza a Nuclenor la construcción de la central nuclear. Amplía la capacidad respecto al proyecto de 1963 porque «los importantes avances logrados en la comercialización de la técnica nuclear han aconsejado aumentar la potencia de la instalación». Tras el informe de la JEN y los trámites de información pública y «analizadas las características técnicas del proyecto» y «la incidencia de la producción eléctrica de la central en el conjunto del mercado y los favorables costes de generación», se autoriza el proyecto de reactor de agua en ebullición y combustible de uranio enriquecido. *Energía Nuclear*, n.º 5-6, pp. 257-258.

FIGURA 2 • Principales pasos para el diseño, construcción y explotación comercial de la central nuclear de Zorita, c. 1959-1974



Fuente: Elaboración propia a partir de *Energía Nuclear* (1964-1969) y De la Torre y Rubio-Varas (2017).

comercial, garantizando la operatividad de la central en condiciones de seguridad y rendimiento sobre los que asentar los planes de futuro (fase III). Era necesario que se estableciese una relación fluida entre el suministrador de la estación nuclear, el financiador y el comprador. Dada la inexperiencia de la industria nuclear española, las empresas promotoras comenzaron por lo más básico: primero, integrarse en el marco institucional creado por el Estado y sus directrices (es decir, la JEN y la Dirección General de Energía Nuclear) y, de inmediato, buscar la asesoría internacional tanto de los organismos responsables del átomo como de las empresas pioneras y las instituciones financieras.

Así, desde 1956, ingenieros y directivos de firmas eléctricas y de bienes de equipo visitaron Estados Unidos y Gran Bretaña para conocer de primera mano la evolución del negocio nuclear. Mac Veigh y Gutiérrez-Cortines, por ejemplo, frecuentaban la asamblea anual del Atomic Industrial Forum, en Norteamérica, o mantenían reuniones periódicas con expertos de otros países que resultaban muy útiles en el diseño del programa industrial. En la visita a la Agencia Nuclear británica (junto a responsables de la JEN, del INI y de UNESA), en 1957, estos ingenieros-promotores recibieron información crucial para las decisiones estratégicas que fructificaron dos años más tarde. Por ejemplo, sobre cómo configurar un equipo y qué características formativas y directivas debía cumplir respecto a las exigencias de un proyecto empre-

sarial tan ambicioso y complejo.²¹ Los diseños iniciales llegaron a las oficinas de la JEN a comienzos de 1961. Para entonces se había intensificado el asesoramiento norteamericano y británico,²² mientras el esquema de actuación autárquica de la Junta llegaba a su final. Las conversaciones entre Mac Veigh con los ingleses dejaban muy claro que la opción estadounidense iba a ser la elegida porque nadie en Europa podía competir ni técnica ni financieramente con las ofertas del otro lado del Atlántico.²³ De hecho, el contrato de Zorita solo fue licitado por empresas norteamericanas que ofertaban reactores alimentados con uranio enriquecido, mientras Nuclenor al menos contó con una oferta británica.

¿Por qué los concursos los acabaron ganando Westinghouse y General Electric? *A priori* porque ambas representaban la vanguardia de la industria americana, y Babcock & Wilcox o Combustion Engineering estaban claramente en desventaja.²⁴ Para que la alianza se estableciese con esas dos multinacionales fue esencial la existencia de negocios previos con las empresas promotoras. Desde 1930 Westinghouse había entrado como proveedor tecnológico de CENEMESA, la fábrica de motores y transformadores eléctricos con sedes en Córdoba y Erandio (Vizcaya), y cuyo accionista mayoritario era el Banco Urquijo, a su vez propietario de la UEM. La ingeniería eléctrica y su equipa-

TABLA 2 - Empresas licitadoras en los contratos iniciales de Garoña y Zorita, 1963-1964

C. N. de Garoña			C. N. de Zorita		
Empresa	País	Tipo de reactor	Empresa	País	Tipo de reactor
The Nuclear Power Group TNPG	UK	Grafito-gas	Allis Chalmer	USA	n.s.
Babcock & Wilcox	USA	U enriquecido	Combustion Engineering	USA	U enriquecido
International General Electric	USA	U enriquecido	International General Electric	USA	U enriquecido
Westinghouse E. International	USA	U enriquecido	Westinghouse E.International	USA	U enriquecido

Fuente: Memoria de Nuclenor, 1963; NAUK, FO y elaboración propia.

21. Por la parte industrial destacaba la presencia de los consejeros-delegado de Babcock & Wilcox (Torrontegui) y de General Electric España (Gortázar Landecho, consejero del Banco de Vizcaya y de Iberduero, futuro presidente de Sevillana de Electricidad) (NAUK, Foreign Office [OF], 371.132737).

22. Con el objetivo de conocer «aquellos reactores nucleares suficientemente comprobados», fuesen de la tecnología que fuesen (Memoria de Nuclenor, 1963).

23. NAUK, OF, 371.132737. Report British Embassy in Madrid (diciembre de 1958).

24. WE y GE habían ido de la mano del Gobierno desde el Proyecto Manhattan y su ventaja comparativa con el resto de los competidores resultaba palmaria (Balogh, 2001).

miento resultaban esenciales en el proyecto nuclear. Asimismo, algunos norteamericanos de General Electric se sentaban en el Consejo de Administración de Iberduero desde antes de la Guerra Civil,²⁵ y los contratos de asistencia en la construcción de centrales térmicas en los años cincuenta con General Electric tuvieron que ser determinantes en la elección del responsable tecnológico de Garoña.²⁶ En otras palabras, además de la ventaja competitiva en materia nuclear, las redes de negocio establecidas con anterioridad reforzaron que la dirección global de ambos proyectos recayese en esas firmas norteamericanas.

De esta manera, los dos proyectos optaron por un modelo de garantía técnica y económica «bien probada» que evitase «gastos por investigación, desarrollo o ensayos». Ello significaba renunciar al uranio natural como combustible y asumir la opción tecnológica del uranio enriquecido, que era el empleado en los reactores norteamericanos y que, además, había que comprar en el exterior.²⁷ Eso sí, con el aval del Gobierno y de la JEN, que por razones de seguridad sería la responsable del envío del uranio natural español para su tratamiento en Estados Unidos.²⁸ En definitiva, antes de firmar los contratos tenía lugar un proceso negociador con los proveedores, los bancos y las instituciones gubernamentales.

Nuclenor había sido el primer consorcio en lanzar su proyecto.²⁹ Su Memoria anual no aclara por qué se retrasó y acabó solicitando una prórroga de casi dos años. Lo cierto es que la UEM aceleró el suyo, adquirió los terrenos y negoció el crédito exterior con antelación a la Ley de energía nuclear, de abril de 1964, y a la autorización de la central por el Ministerio de Industria, dos meses más tarde. Garoña superó ese trámite en agosto de 1965, aunque hasta mayo de 1966 no se aceptó que incrementase la potencia hasta los 460 MW. Lo cierto es que, más allá de las formalidades, los promotores de los dos proyectos habían recibido el visto bueno institucional con la anticipación suficiente como para iniciar las obras de inmediato. La explanación del terreno y sus elementos básicos (accesos, conducciones de agua y electricidad) daban

25. De la Torre y Rubio-Varas (2015; 55).

26. Así, General Electric había sido la constructora de la central térmica de Burceña y había participado en la de la hidroeléctrica de Aldeadavila, financiadas con recursos del Exim (*ABC*, 14/7/1959).

27. Archivo Histórico del Banco de España [AHBE], Instituto Español de Moneda Extranjera [IEME], Secretaría, C. 139.

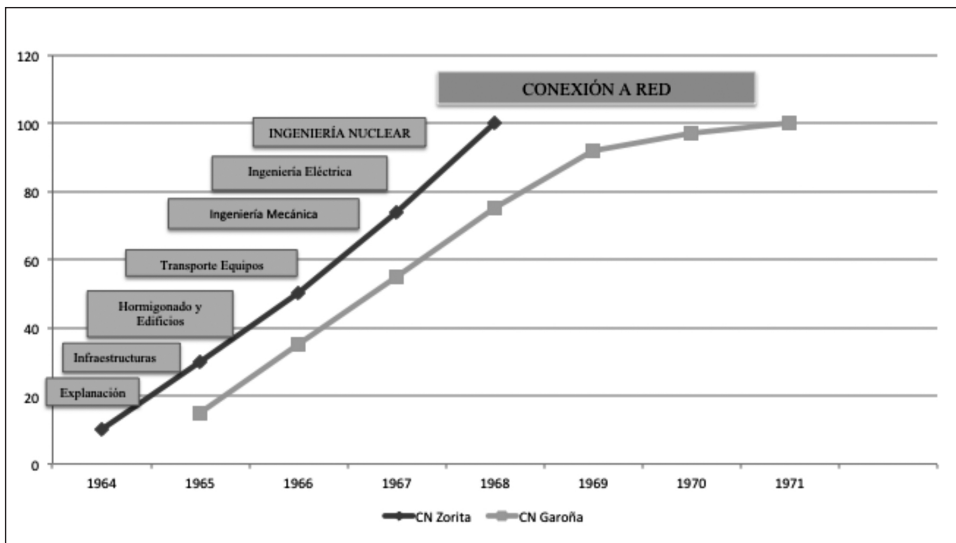
28. Fue uno de los puntos centrales de la negociación con el Gobierno. Había que conseguir el acceso al combustible nuclear «en las condiciones más económicas posibles» (incluido crédito por el plutonio producido) y «de la técnica más avanzada en el mercado internacional» sin pago de impuestos. *Ibidem*.

29. Según algunos testimonios orales, en 1957 comenzó la compra de terrenos en Santa María de Garoña y los estudios geológicos y en 1958 la delegación de Industria de Burgos recibió un primer proyecto. Véase

<http://www.diariovasco.com/20090703/al-dia-sociedad/historias-atmica-20090703.html> [consultado 15/6/2017]

paso a la construcción y hormigonado de los edificios que alojarían el reactor y vasija, el turbogenerador, las torres y los canales de carga y descarga de agua para la refrigeración y el almacén de residuos. La siguiente fase concentraba el montaje mecánico y eléctrico, la ingeniería nuclear y la puesta a punto de los manuales de operaciones y seguridad. Ambas centrales fueron erigidas y conectadas a la red en un tiempo relativamente breve. Mientras la central sobre el Tajo ejecutó el plan de manera integral en cincuenta y cuatro meses, la del Ebro necesitó de setenta meses³⁰ (figura 3). Ninguna otra nuclear española se construiría tan rápido. Las centrales posteriores exigieron un tiempo más prolongado de ejecución por razones de escala y tamaño creciente, junto al gradual incremento de las exigencias de seguridad de la propia industria y de los organismos internacionales. Ambos factores demoraron los plazos y encarecieron los costes.

FIGURA 3 ▪ Estado de las obras (en porcentajes) y tiempo transcurrido en la construcción de las dos centrales



Fuente: *Energía Nuclear* (VV. AA.), memorias de Nuclenor (VV. AA.) y elaboración propia.

30. Este cálculo es de elaboración propia a partir de diversas fuentes (la documentación del AHBE-IEME, la revista *Energía Nuclear*, las memorias de Nuclenor, la información de los periódicos *ABC* y *La Vanguardia*) y no coincide con lo que indica la literatura. Gutiérrez Bernal (1977) añade la cronología de la tercera central de primera generación, la de Vandellós. Según este ingeniero, los meses transcurridos entre el inicio de la obra civil y la conexión comercial fue de cuarenta y cuatro (Zorita), cincuenta y siete (Garoña) y sesenta y uno (Vandellós I). La historia oficial de los promotores omite que en los dos primeros casos las obras ya se habían iniciado un año antes de recibir la autorización definitiva, mientras que la JEN registraba la actividad en su órgano de difusión desde el primer minuto.

Una de las claves explicativas de esa rapidez quizá resida en que, en los dos casos, el promotor tomó la decisión estratégica de confiarlo todo a una figura contractual muy habitual en la dotación de grandes infraestructuras en países en vías de desarrollo, los conocidos como contratos de «llave en mano» —los *turnkey contracts*—, la pieza que contiene todos los ingredientes de la transferencia tecnológica. Del lado del exportador, esa fórmula facilitaba la rápida expansión del negocio nuclear estadounidense a comienzos de los años sesenta. El contratista asumía toda la responsabilidad y se comprometía a entregar la obra en una fecha fija y a un precio acordado. Para el promotor configuraba la palanca de un rápido aprendizaje y de poder cumplir con el compromiso estipulado por la Dirección General de la Energía de que alrededor del 40 % del contrato fuese ejecutado por empresas españolas, entendiéndose que este porcentaje recaería sobre «la ingeniería, equipos y maquinaria, montaje y obras». La Memoria de Nuclenor de 1964 resumía esta idea de «un contrato único que incluya todas las instalaciones completas y en servicio». Ese contratista global «deberá subcontratar en España las partes que nuestra industria pueda suministrar con los altos niveles de calidad» que requieren. Así, «conseguiremos una garantía sobre la totalidad de la central y de sus componentes», características, costes y plazos.³¹ En este sentido hay que indicar que la industria española no partía de cero. La experiencia adquirida en las centrales térmicas convencionales, al menos desde 1950, había permitido a los ingenieros dirigir grandes proyectos y desarrollar técnicas de montaje mecánico y eléctrico.

Además, las fábricas de maquinaria especializada y equipamiento auxiliar para generación y uso industrial de la electricidad, casi siempre con patente extranjera, se habían beneficiado del crecimiento manufacturero durante los años cincuenta.³² El programa atómico fue identificado muy pronto como una oportunidad. Esas empresas debían innovar en producto, técnicas, conocimientos y gestión. La fabricación de bienes de equipo y montajes industriales exigía asimismo servicios de ingeniería y asesoría a gran escala. Algunas de estas firmas nacieron entonces y otras ya existentes se adaptaron al nuevo reto mediante la diversificación de sus líneas de producción y las alianzas estratégicas con empresas extranjeras. Era la manera de resolver las dos grandes insuficiencias de la empresa española, capital y conocimiento. En palabras de MacVeigh, el reto nuclear habría de consistir en «mejorar, en general, sus *standards* de construcción y productividad».³³

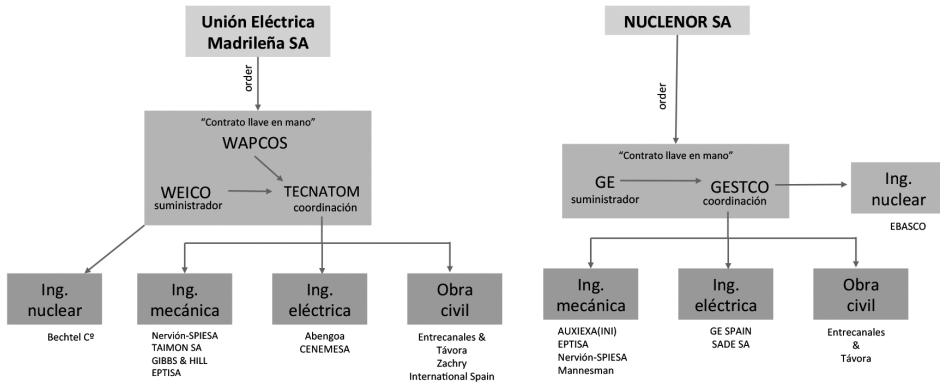
Sin embargo, la estrategia del contratista para llevar a cabo el contrato difirió en un aspecto relevante, el grado de protagonismo dado a las ingenierías

31. Memorias de Nuclenor (1964); *Energía Nuclear* (1966: 5-7 y 257-258).

32. Catalan (2003: 283-4).

33. MacVeigh (1960).

FIGURA 4 • Dos modalidades de turnkey contract: Westinghouse vs. General Electric



Fuente: Elaboración propia a partir de *Energía Nuclear* (VV. AA.).

y consultoras españolas. En el caso de Zorita, Unión Eléctrica Madrileña cerró dos contratos: el primero, con Westinghouse Electric International Cº [WEICO] como suministrador de todos los equipos y servicios de origen estadounidense y del primer núcleo de combustible; y, el segundo, con su filial Westinghouse Atomic Power Cº of Spain [WAPCOS] como responsable de «toda la obra civil, instalaciones auxiliares, eléctrica y mecánica, incluido el proyecto de ingeniería, erección e instalación del equipo y dirección de la obra».³⁴

Lo más significativo fue que los norteamericanos subcontratasen a la española Tecnatom, S.A., para que actuase como consultora supervisando la construcción y seguimiento de todas las fases de la central, auxiliada por Bechtel Cº, una de las grandes del sector a nivel mundial y que inspeccionaría el despliegue del contrato. El contratista de Garoña, al contrario, no confió ni en una consultora española ni en una externa al grupo General Electric, sino que coordinó, controló y subcontrató todas las fases del proyecto a través de su subsidiaria GE Technical Services Cº [GETSCO].³⁵

¿Por qué WEICO confirió tanta responsabilidad a una consultora local y no lo hizo General Electric con Nuclenor? En 1965 Tecnatom no dejaba de ser de una empresa pequeña, con una plantilla escasa aunque altamente cualificada, y con más conocimiento teórico que experiencia a pie de obra en tec-

34. Ambos fueron firmados, el 5 de febrero de 1965, por Félix Yagüe Moreno, consejero y director general de UEM, y Miguel Bejarano, director del Departamento WEICO, y Vincent Nulk, mánager de WAPCOS, en presidencia de José Cabrera, presidente de UEM y de Tecnatom. Cuatro días después, en Washington, Juan Lázaro Urrea, consejero y subdirector general de UEM, y Jaime Mac-Veigh contrataban el crédito de 24,5 millones de dólares con el Exim. Hacía medio año que había comenzado la obra civil (*Energía Nuclear*, 1965, n.º 33).

35. AHBE, IEME. Control de Datos, C. 1973. Ese fue el planteamiento de la multinacional desde el primer momento de las negociaciones (15/9/1966) y así se firmó un año después.

nología atómica. Nuestra hipótesis es que su principal intangible se encarnaba en la figura del consejero delegado Mac Veigh, el líder del proyecto que había trabajado en Pensilvania, comunicaba bien en inglés y conocía personalmente a los de WEICO y, además, poseía los conocimientos y los contactos para operar en un país como España. Con todo ello pudo convencerlos e imponer sus criterios. A través de los papeles del Instituto Español de Moneda Extranjera podemos afirmar que Mac Veigh llevó a la práctica una gestión muy personalista, negociando licencias de importación y dólares con las autoridades españolas, contratando logística en Europa o Estados Unidos para el transporte de la vasija y el reactor, supervisando la salida y retorno del uranio español enriquecido en América, liquidando en las distintas divisas cada una de las compras, acordando préstamos con la banca pública y privada en el exterior, fichando ingenieros extranjeros del sector, o estando presente en el tajo en las fases tecnológicas más delicadas de la obra.³⁶ En Nuclenor Gutiérrez-Cortines desempeñó parcialmente algunas de esas funciones, las más apropiadas a un consejero delegado que a un jefe de ingenieros. De esa parte se encargaron los de General Electric. La matriz norteamericana debió de considerar, con buen criterio, que el reto de construir una central que triplicaba la potencia de la de su competidora en el Tajo no estaba al alcance de las ingenierías y consultoras españolas, todavía en una fase embrionaria para un grado de especialización que requería asistencia técnica y aprendizaje. No olvidemos que ningún reactor comercial en Europa occidental alcanzaba aún los 460 MW de Garoña.

En cualquier caso, el recurso al contrato de «llave en mano» tuvo una vida efímera en la economía nuclear. La puesta en práctica reveló la imposibilidad de cumplir en tiempo y sobre todo en precio. Cualquier desvío presupuestario dañaba la factura del contratista. Pero también perjudicaba al promotor que debía comenzar a pagar la deuda con los bancos sin facturar la electricidad planeada. El sector exportador vivió una auténtica euforia en 1966 y 1967 en la mayoría de los países desarrollados, y se desaceleró en 1968 y, sobre todo, 1969 cuando las plantas estadounidenses sistemáticamente acumularon retrasos, «con los consiguientes perjuicios técnicos y económicos» y un incremento de los costes de entre un 30 y un 40% respecto a la etapa anterior.³⁷ Del mismo

36. De la Torre y Rubio (2015); Tecnatom (2007). De hecho, los contratistas principales no se hacían cargo de gastos que sufragaba directamente la UEM y dirigía Tecnatom a través de su ingeniero jefe, es decir, «los gastos administrativos, de coordinación, inspección y consulta, compra de terrenos, entrenamiento y preparación del personal, impuestos españoles y aduanas, intereses durante construcción, ayuda en el transporte de piezas pesadas porque de intemperie, compra de los concentrados de uranio a la JEN y su enriquecimiento por la AEC en USA» (*Energía Nuclear*, 1965, n.º 33).

37. Las memorias de Nuclenor de esos años se hacían eco de esa situación que conocían de primera mano, dada su presencia activa en las reuniones anuales del Atomic Industrial Forum, en San Francisco.

modo, tras los tres ensayos de Zorita, Garoña y Vandellós, hacia 1972, los promotores en España renunciaron a los contratos «llave en mano» tanto porque la política nuclear posterior a López Bravo así lo aconsejaba, como porque se sentían capaces de acometer cada vez más responsabilidades en los proyectos. En suma, las multinacionales norteamericanas y los promotores españoles acabarían renunciado al sistema de contratación y ejecución de las obras.

Lo que estuvo claro desde el principio es que los contratos estaban ligados a la financiación americana. Ese fue el protocolo obligado de todos los países que estaban comprando reactores atómicos, plantas industriales de diversa naturaleza o aviones comerciales fabricados en Estados Unidos.³⁸ Los créditos de la banca pública norteamericana resultaban muy ventajosos en esos años: intereses y amortización se reembolsaban con una carencia de cinco años, es decir, cuando la planta nuclear teóricamente entrase a producir y facturar electricidad con la que devolver los préstamos. Además, el precio del dinero resultaba más barato que en el mercado de capitales. Sin embargo, el EXIM solo cubría el endeudamiento para la compra bienes de equipo norteamericanos. Esta partida podía incluir la inversión en obra civil (edificios de reactor, turbogenerador, bombeo de aguas), el montaje mecánico y eléctrico, los servicios de asistencia técnica y formación de personal y la carga de combustible que viniese de un país europeo, siempre que fuese con licencia norteamericana. Financiar los equipos e instalaciones de origen no americano fue posible bien dando entrada a los grandes bancos privados con sede en Nueva York, bien negociando directamente con las empresas proveedoras y los bancos del propio país en que se construían las instalaciones atómicas.

TABLA 3 • Financiación exterior inicial de las centrales nucleares de primera generación

Bancos	C. N. de Zorita (1964)			C. N. de Garoña (1967)		
	Mill. \$ USA	Interés	Reembolso	Mill. \$ USA	Interés	Reembolso
Exim Bank	24,5	5,5	1968-83	43,7	6	1970-84
Otros*	6,0	6,5	1967-82	8,7	6	1970-75
A. Financiación inicial	30,5			52,4		
B. Financiación final	41,0			90,0		
(A) en mill. € 2010	267			436		

*Otros: Chase Manhattan Bank y GETSCO.

Fuente: AHBE, IEME, Operaciones financieras, Cj.1885 y 1973. EXIM

38. AHBE, IEME, Control de Datos, C. 1973. De la Torre y Rubio-Varas (2015).

Sin acceder a las fuentes de los bancos españoles resulta complicado calcular el coste final de estas primeras centrales. Los créditos estadounidenses dan una idea aproximada del esfuerzo de las compañías promotoras. Aunque ambas plantas se ajustaron razonablemente bien a los plazos de ejecución, lo cierto es que la financiación final desbordó las previsiones iniciales (tabla 3). Mientras que la del Tajo experimentó un encarecimiento del 26%, la del Ebro debió de incurrir en mayores problemas en la fase final de las obras, dado que excedió nada menos que en un 42% lo presupuestado en el arranque. Así, comparar la financiación exterior de Zorita y Garoña arroja algo más de luz sobre los costes de acceso a la tecnología y su aprendizaje. En apariencia, las economías de escala deberían haber funcionado, como indica la ratio coste/MW, el doble de cara para la UEM que para Nuclenor con los datos iniciales (tabla 4). Con la inversión final reconocida las economías de escala resultan menos apabullantes.

Y cada una estableció una estrategia de sus finanzas diferenciada. Mientras en la central nuclear de Zorita la propia Westinghouse International logró el apoyo del Chase Manhattan Bank, en la de Garoña fue directamente General Electric la que facilitó el crédito secundario para completar la compra de uranio enriquecido y de algunos servicios por medio de su matriz americana y su filial en Alemania (GE Technical Services). De hecho, la firma del contrato con GE a finales de 1965 implicó que Nuclenor extendiese pagarés por una cifra inusual en España y equivalente a lo que acabaría proporcionando el Exim. Quizá por eso se recurrió a un consorcio de cinco de los más importantes bancos privados (Bilbao, Vizcaya, Santander, Español de Crédito y Central) con los que estaban relacionados históricamente Iberduero y

TABLA 4 • *Tamaño, coste por MW y distribución de la inversión en las centrales nucleares de Zorita y Garoña (en millones de \$ USA y porcentajes)*

	C.N. de Zorita (1964-1968)		C.N. de Garoña (1967-1971)	
	Mill. \$ USA	%	Mill. \$ USA	%
Potencia	150 MW		460 MW	
Coste/MW	0,20 (0,27)		0,11 (0,20)	
Financiación inicial				
Equipo USA	19,0	62,3	26,2	50,1
Combustible	5,5	18,0	18,7	35,7
Servicios	6,0	19,7	7,4	14,2
Total	30,5	100,0	52,4	100,0

Fuente: AHBE, IEME, Operaciones financieras, Cj.1885 y 1973. Entre paréntesis el coste por megavatio de la inversión final reconocida.

Electra de Viesgo (tabla 1). Por su parte, las garantías y los préstamos domésticos de Zorita correspondieron a la agrupación de los bancos Urquijo e Hispano-Americano, accionistas de Unión Eléctrica Madrileña. El oligopolio electrofinanciero funcionaba a pleno rendimiento.³⁹

Segundo reto: ¿cómo conseguir que una central atómica sea operativa? La formación de capital humano

El propósito del Gobierno y de los promotores —en palabras de los gerentes de la UEM— consistía en «adquirir una experiencia práctica antes de iniciar una producción masiva de energía nuclear», de la que se beneficiarían el Estado y las empresas privadas puesto que así «se difundirían los conocimientos». Bajo estas premisas, entre 1956 y 1962, desde la Junta de Energía Nuclear se articuló y maduró un esquema para la formación de personal muy cualificado.⁴⁰ La agencia estatal coordinó acciones formativas entre las instalaciones de Moncloa y las escuelas de ingeniería industrial de Madrid, Bilbao y Barcelona (ya que contaron con reactores de ensayo desde 1962), los laboratorios de diversas industrias (metalmecánicas, químicas y electrónica) y las centrales térmicas convencionales de las grandes eléctricas. Varios años antes de que comenzaran las obras de Guadalajara y Burgos, ingenieros y físicos españoles fueron adiestrados para afrontar el montaje y explotación de las centrales en Estados Unidos y Europa. En un segundo rango de formación se situaban los supervisores, operadores y técnicos de mantenimiento de la planta, cuyo aprendizaje arrancó prácticamente desde que se puso la primera piedra en Zorita y Garoña. Los contratistas norteamericanos brindaron entonces la asistencia técnica, que se desarrolló en los centros de entrenamiento y centrales que operaban a un lado y otro del Atlántico y, finalmente, *in situ*, en la propia planta.

Y es que, una vez culminado el reto arquitectónico e industrial de erigir una central, llegaba otro más trascendente: conseguir que funcionase. El aprendizaje de las operaciones de gestión y control de una planta electronuclear para su explotación comercial resultaba igualmente inexplorado para los técnicos españoles antes de 1969 o 1971. Se trataba, en primer lugar, de un conjunto de tareas rutinarias para mantener permanentemente, y en condiciones de seguridad y fiabilidad, el funcionamiento de los equipos de generación de electricidad, los sistemas y componentes, y su conexión a la red comercial (es decir, control de la energía, enfriamiento del combustible y confinamiento del ma-

39. Garrués y Rubio Mondejar (2017).

40. Es lo que Hetch (2009: 17) identifica como característico de los programas nucleares impulsados por el Estado, un sistema tecnopolítico en el que resulta clave la formación.

terial radioactivo). Los procesos de interrupción del servicio del reactor y las recargas de combustible, en segundo lugar, significaban picos de gran intensidad laboral para la plantilla. Esta inspección sistemática exigía, en consecuencia, invertir en la especialización y entrenamiento de los equipos directivos y operativos de la sala de control y de los de mantenimiento químico, radiológico y técnico de toda la instalación. Había que estar preparado para dar una respuesta eficaz a cualquier contingencia en una etapa muy experimental.⁴¹ Situarse como pioneros de una tecnología nueva y potencialmente arriesgada exigía adquirir métodos y conocimientos de procedimientos que estuvieran sometidos a la incertidumbre de ensayo y error.

En Garoña, a partir de recibir la autorización previa en 1963, se intensificó la colaboración con los especialistas en seguridad de la JEN y se formó el equipo inicial de técnicos con la asesoría de empresas norteamericanas y británicas. Conforme se firmaron los contratos de suministro y construcción en 1966, se aceleró la selección y reclutamiento de personal para crear «un equipo competente, eficaz y entusiasta» de operación y mantenimiento, entrenado por Nuclenor en los reactores Arbi de la Escuela de Ingenieros de Bilbao y en los JEN-1 y JEN-2 en los laboratorios de Madrid. El grupo de ingenieros realizó prácticas en la central nuclear que operaba General Electric, desde 1964, en Garigliano (Italia), en diversas térmicas españolas y atómicas estadounidenses. El plan de formación incluía participaciones en congresos y reuniones nacionales e internacionales, de la mano de UNESA y del Foro Atómico y con «un constante estímulo y apoyo» de la Dirección General de la Energía. Y culminó en las propias instalaciones de Garoña, integrándose en las tareas de montaje y arranque del reactor «en estrecha colaboración con el constructor principal y sus subcontratistas». En la planta actuaba un Comité de Coordinación con la JEN con el objetivo de «avanzar con la mayor efectividad y rapidez en la resolución de los problemas planteados».⁴²

El programa de reclutamiento y formación para operar en Zorita corrió a cargo de Tecnomat. A comienzos de 1966 la consultora había configurado un equipo de once jefes de turno y operadores que se aleccionaba en las instalaciones de la Junta, mientras un grupo de tres ingenieros, que formaría el equipo directivo, se desplazaban a la central nuclear de Saxton (Pensilvania), una estación experimental de pequeño tamaño (23,5 MW) y concebida para

41. Desde sus orígenes la OIEA se encargó de elaborar la normativa de gestión de las centrales atómicas. La evidencia empírica contribuyó a crear un proceso de mejora permanente (OIEA, 2012). Una de las primeras tareas del equipo de operadores de Zorita fue traducir al castellano el manual de instrucciones americano y adaptarlo a los procesos de aprendizaje de la plantilla.

42. La senda de aprendizaje la hemos reconstruido a partir de *Energía Nuclear* (1966, 44: 437 y ss.; 1967, 47: 239; 50; 56: 518) y las memorias de actividad de Nuclenor (VV. AA).

«generar conocimiento» sobre manejo de la reacción en cadena.⁴³ Su idea fue impulsar una escuela de formación en las inmediaciones de la central bajo la dirección de científicos de la Junta y la asistencia extranjera de los ingenieros de Betchel y WAPSCO. A finales de 1967 ya funcionaba a pleno rendimiento la llamada Escuela de Jefes de Turno y Operadores.⁴⁴ Entre titulados superiores, especialistas y auxiliares, una planta del tamaño de Zorita requeriría en teoría de unas 55 personas una vez conectada. No obstante, en la fase de culminación de las obras, es decir, cuando más personal especializado hacía falta, hubo 89 técnicos españoles (de la JEN, UEM y Tecnatom) y 49 norteamericanos (de Westinghouse y Zachry). ¿Cuánto costó formar al equipo de operaciones? Una parte de la financiación exterior se había contratado a tal efecto. Había que pagar por el entrenamiento «en el montaje y explotación de la Central», «una necesidad absoluta», reconocían, «debido a la inexperiencia en España» del funcionamiento de centrales «en régimen comercial».⁴⁵ Las cuentas liquidadas por la promotora no especificaban la parte de «los trabajos de asistencia técnica, supervisión de montaje, gestiones de embarque, informes, asesoramientos y garantías» abonada en forma de salarios, aunque esas dos partidas (Servicios y Asistencia técnica) absorbieron el 18,6% de los 24 millones de dólares prestados por el Exim Bank, tal como se desglosa en la tabla 5.⁴⁶

Del mismo modo, la senda de aprendizaje resultaba esencial para los expertos atómicos de Estados Unidos. Las centrales españolas se encontraban entre las primeras de uso comercial que exportaban WESCO y GE y el grado de participación de las empresas locales de ingeniería, industria, logística y

TABLA 5 - Desglose del préstamo 2.197 para construcción de la central nuclear de Zorita

Concepto	Importe 000 \$USA	Porcentaje
Equipo Westinghouse Electric International	14.453	59,5
Servicios Westinghouse Electric International	542	2,2
Asistencia técnica y montaje	3.980	16,4
Combustible primer núcleo	5.309	21,9
Total	24.284	100,0

Fuente: AHBE, IEME, Control de Datos, c. 1885.

43. <http://33011.activeboard.com/t4697058/saxton-nuclear-power-plant/> [consultado 21/6/2017].

44. *Energía Nuclear* (1967), n.º 50.

45. AHBE, IEME, Control de Datos, C. 1885. Carta del director financiero de la UEM (4/7/1969). *ABC* (6/11/1965).

46. Al menos sabemos que los sueldos de los técnicos de Betchel Cº, como «pago de los gastos de especialización y entrenamiento de personal en cuestiones nucleares» sumó algo más de 123.000 dólares, que se abonaron a cargo del crédito del Chase, es decir, poco más del 2% del total de ese préstamo. *Ibidem*.

servicios exigía cooperación por ambas partes. El ingeniero jefe de Nuclenor, Miguel Barandiarán, lo explicaba en plena ejecución de la obra de Garoña: «...por la novedad que presenta, es lógico esperar un número relativamente grande de revisiones en el diseño de detalle de una central». ⁴⁷ En realidad, la industria norteamericana seguía en un proceso de experimentación y mejora continua que pasaba de los planos a las obras sin apenas intervalos y de lo más complejo a lo aparentemente más sencillo. ⁴⁸

Toda precaución era poca y el proceso de aprendizaje de operarios y obreros no se podía demorar. En 1975 el ministro de Industria solicitó varios informes sobre «accidentes relevantes» en las centrales españolas (para entonces se había conectado también Vandellós I) en los que se concluía que «el gran número de fallos en componentes mecánicos» respondía «a problemas de diseño, a falta de Garantía de Calidad en la construcción y puesta en marcha» y «a un defectuoso mantenimiento durante la operación». Que no hubiesen «dado lugar a escapes de radioactividad al exterior», ni producido «sobrexposiciones graves del personal operario, salvo en contadísimas ocasiones», fue gracias «a la redundancia de los sistemas de control y seguridad de los reactores». ⁴⁹ Es decir, al adiestramiento de las tareas de rutina y control de la central. Lo cierto es que hasta 1972 no se legisó en estas materias de supervisión y seguridad que recaía en los ingenieros y operadores. ⁵⁰ Todo ello exigió un permanente ejercicio de *learning by error* y el contacto continuo con los suministradores norteamericanos, al tiempo que las consultoras españolas generaban sus propios protocolos y procedimientos para entrenar a las plantillas de operadores y técnicos auxiliares que manejarían la segunda y tercera generación de plantas atómicas con garantías.

Un modo de averiguar si las empresas, una vez culminada esa transferencia de procesos y conocimiento, habían alcanzado un óptimo conocimiento de esa tecnología nos lo ofrece el grado de presencia de las firmas españolas en los siguientes proyectos. Según la literatura de la época, la participación local en la obra de Zorita fue del 36% (es decir, el 64% fue ejecutado por em-

47. *Energía Nuclear* (1968), n.º 52.

48. Baste señalar, por ejemplo, cómo la revista *Energía Nuclear* se hacía eco de la Conferencia de Londres, en marzo de 1967, en la que se presentó lo último en investigación y desarrollo del empleo de hormigón prensado en vasijas para reactores de todo tipo. Su aplicación a edificios de contención se estaba teniendo en cuenta en la planta de Guadalajara (*Energía Nuclear*, 1967, n.º 46: 172-173). España parecía un ensayo clave para el futuro de los PWR.

49. La estadística que manejaba el ministro Álvarez Miranda ofrece datos de interés para esa primera fase del aprendizaje en operaciones. Las causas de accidente por fallos mecánicos (40%), eléctricos (13%), mantenimiento defectuoso (36%), pobreza de diseño (8%) y otras distintas (3%) alertaban del grado de exigencia en seguridad y de su impacto en los costes finales. De hecho, los fallos humanos se reiteraban en determinadas operaciones, «lo que indica falta de preparación y adiestramiento del personal» (AAAM. Estadística de Accidentes, mayo 1975).

50. Reglamento sobre instalaciones nucleares y radioactivas, 21 de julio de 1972 (Alonso, 2011; Ferrari, 2017).

presas extranjeras), mientras que la de Garoña avanzó hasta un 39% y la del consorcio hispano-francés en Vandellós se esperaba que lograra un 41%.⁵¹ Para interpretar correctamente esos porcentajes convendría desglosar el protagonismo de las firmas españolas en cada uno de los procesos de ejecución de los contratos, atendiendo a la complejidad técnica de cada uno de ellos y a su peso relativo en términos de costes.

Los datos de la tabla 6 muestran que las empresas españolas internalizaron gradualmente las capacidades requeridas para construir una central nuclear. Es lógico que en la primera fase (1964-1972) la principal fortaleza estuviese en la obra civil, el montaje y la ingeniería, y la debilidad en los componentes de mayor exigencia tecnológica, el equipamiento nuclear, si bien las tareas de montaje mecánico, electrónico e instrumentación lograsen un buen rendimiento en una economía con un rodaje industrial en esos campos ya más maduro. El aprendizaje permitió que el porcentaje de participación nacional mejorase en todos los epígrafes entre 1972 y 1988. La consolidación nuclear, sin embargo, quedó por debajo del resto en aquellos componentes esenciales, más caros y más complejos de producir en el país, el reactor y el turboalternador.⁵²

TABLA 6 - *Participación industrial española en la construcción de centrales nucleares (en porcentajes), 1964-1988*

Conceptos	1. ^a generación	2. ^a generación	3. ^a generación
	1964-1972	1972-1982	1977-1988
1. Obra civil	70	100	100
2. Bienes de equipo nuclear	25	50	71
2.1. Sistema reactor	0	33	60
2.2. Turbogenerador	15	35	45
2.3. Mecánica	42	74	90
2.4. Electrónica e instrumentación	45	78	93
3. Montaje	83	100	100
4. Ingeniería	60	80	90
5. Formación personal		80	100
6. Otros servicios		80	90
Total	43	67	81

Fuente: Energía Nuclear (VV. AA.); Pascual (1980) y elaboración propia.

51. Pascual (1967).

52. La imagen de la participación queda muy matizada cuando se expresa en valor monetario. En las centrales de primera generación la obra civil representó como promedio un 16% del coste total, frente al 61% que exigía el equipamiento nuclear. Mientras, ingeniería y montaje absorbían cada una un 8% y formación y servicios el 7% restante (Pascual, 1980).

Conclusiones

Habitualmente la historia de la empresa multinacional apenas presta atención al modo en que se resuelve la relación tecnológica entre la matriz, la filial receptora y la economía de acogida. El ejemplo de cómo Westinghouse y General Electric lograron hacerse con la mayor parte del mercado español de centrales nucleares muestra algunos aspectos poco explorados sobre los procesos de transferencia tecnológica, adiestramiento del capital humano e internalización de esas prácticas por las empresas locales. Observado cuál fue el punto de partida y el hecho de haber logrado conectar a la red eléctrica en un tiempo récord una tecnología tan compleja como desconocida, debe ser calificado como un éxito industrial y de gerencia. Una economía en vías de desarrollo había sido capaz de situarse entre la vanguardia nuclear occidental, trazar una estrategia que pretendía reducir la dependencia energética del petróleo y la escasez de carbón y saltos hidráulicos, quemar etapas y situarse entre los pioneros. La alianza forjada entre el Gobierno, los expertos y los empresarios, a mediados de los años cincuenta, se culminó en cuanto la política económica del desarrollismo otorgó el protagonismo a los promotores privados —las grandes compañías eléctricas— y facilitó la entrada del capital de las multinacionales norteamericanas. De la historia de Zorita y Garoña se deduce que la experiencia fue útil para unos y otros. Del lado español, una industria naciente pudo iniciar su primera fase de expansión, con efectos multiplicadores en la manufactura de bienes de equipo y sus auxiliares. El ministro de Industria, en 1965, sintetizaba algunos de estos rasgos. Un incremento de la producción eléctrica actuaría de «motor vital de las actividades productivas de riqueza y bienestar» en condiciones de libre mercado y competencia. Ello significaba «una nueva etapa de posibilidades» para las empresas eléctricas, para «desarrollar nuestra industria de bienes de equipo» y para «crear puestos de trabajo».⁵³ Por eso el Gobierno puso como condición que la participación nacional en las centrales no fuese inferior al 40%, a la vez que se recomendaba la alianza entre grupos españoles y firmas extranjeras para abordar con garantías proyectos de tecnología punta. Ese era el modo de acelerar el *learning by doing*. El marco institucional alumbrado daba prioridad a la empresa privada y esta debería incrementar la inversión, coordinar el plan energético, formar especialistas y explotar la red eléctrica. Esa política industrial tuvo continuidad entre el mandato de López Bravo y su sucesor, López de Letona. Mientras, la empresa privada se hizo con el negocio, lo que siempre implica la búsqueda del equilibrio entre expectativas de beneficio y asunción de riesgos.

Y, aunque esto sea menos advertido por la literatura, del lado estadounidense el esquema también rindió réditos. A mediados de los años sesenta, Es-

53. *ABC* (7/7/1965), p.60 y (6/7/1968), p. 50.

pañá actuó como un laboratorio de ensayo de una tecnología que estaba en fase de maduración y que perseguía ocupar el mercado occidental de reactores nucleares. Todos los países que habían sido capaces de poner en funcionamiento plantas atómicas se hallaban en la encrucijada de hacer viable unas instalaciones industriales sin apenas ensayo real. Para las multinacionales americanas se trataba, en consecuencia, de aprender cómo acometer tanto un proceso de transferencia industrial (un reactor atómico conectado a la red de alta tensión), como de gestión de lo que hoy calificaríamos de megaproyecto en su vertiente empresarial, logística, económica y financiera, y en el que intervenían actores públicos y privados. Fue un excelente aprendizaje para el Departamento de Estado, los organismos responsables de la energía nuclear, el Exim Bank, la banca de Nueva York, los centros de investigación y formación, las fábricas de reactores, turbinas, equipamiento nuclear, instrumentación y de uranio enriquecido, y las consultoras de ingeniería. Esa experiencia tuvo que resultar muy eficaz para el despliegue norteamericano en los programas nucleares en los países del sudeste de Asia y América Latina.

Sin embargo, conviene seguir investigando en qué medida España cumplió con los criterios que la industria norteamericana sopesaba para seleccionarla entre el reducido grupo de países a los que transferir esa tecnología: la evolución macroeconómica, el marco institucional del sistema eléctrico, la capacidad financiera y el nivel de desarrollo tecnológico previo (Drogan, 2016). En el medio plazo, el ritmo del crecimiento económico español, la posición dominante de los grandes promotores privados en el programa nuclear y la confluencia de intereses con los grandes bancos avalarían en apariencia lo acertado de la elección estadounidense. Las estimaciones de la demanda futura de electricidad hicieron que en muchos países la opción nuclear fuese considerada la palanca del desarrollo. Aunque en el largo plazo la inversión en plantas atómicas derivase en un sobreendeudamiento de las empresas propietarias y su rescate por el Estado en 1984. El factor más débil siguió siendo, no obstante, el de la capacidad tecnológica. El modelo de central fue íntegramente importado. La industria de bienes de equipo y algunas auxiliares de electrónica e instrumentación nacieron y maduraron en producto y organización empresarial, pero en innovación, patentes y conocimiento reforzaron su dependencia del exterior.

Sin embargo, a lo largo del desarrollismo industrializador de los sesenta, hay que destacar que las consultoras de ingeniería españolas aprovecharon muy bien esa dinámica de formación de la mano de los equipos de asistencia técnica estadounidense. Para adoptar ese *know how*, los ingenieros y físicos locales, primero, y el personal que iba a manejar las centrales, directivos y operarios, poco después, se sometieron a un aprendizaje continuo e introdujeron nuevas reglas y fórmulas organizativas. Bajo la supervisión y autorizaciones de la Junta de Energía Nuclear, la segunda fase de adiestramiento se

centraba en el control del reactor y de los sistemas de refrigeración y mantenimiento para garantizar la explotación comercial de la central (es decir, el negocio de vender electricidad a la industria, los hogares y las empresas de servicios). En definitiva, Zorita y Garoña (junto a Vandellós I) marcaron la senda de aprendizaje de la primera generación de centrales nucleares y sirvió de referente al gigantesco programa de segunda y tercera generación. El contacto con los líderes nucleares de Europa y América y la generosa financiación de la banca pública y privada tuvieron continuidad. La industria nuclear del país fue desplegándose sin que todavía surgiese en el horizonte ninguna amenaza sobre el sector.

Fuentes de archivo y publicaciones periódicas

Archivo Alfonso Álvarez-Miranda [AAAM]
 Archivo Histórico del Banco de Bilbao Vizcaya Argentaria [AHBBVA]
 Archivo Histórico del Banco de España [AHBE]
 The National Archives of United Kingdom [NAUK]

ABC de Madrid [ABC]
 Boletín Oficial del Estado [BOE]
Energía Nuclear [EN]

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, A. (2011). *Inicios del Programa Nuclear Español*. Conferencia pronunciada en la Sociedad Nuclear Española. Madrid: Mimeo.
- ÁLVARO MOYA, A. (2014). «The globalization of knowledge-based services: Engineering consulting in Spain, 1953-1975». *Business History Review*, invierno, pp. 681-707.
- BARTOLOMÉ, I. (2011). «¿Fue el sector eléctrico un gran beneficiario de la “política hidráulica” anterior a la guerra civil? (1911-1936)». *Hispania*, vol. 71, n.º 219, pp. 789-818.
- BAUMOL, W. J. (1990). «Entrepreneurship: Productive, unproductive, and destructive». *Journal of Political Economy*, vol. 98, n.º 5, pp. 893-921.
- BINI, E. (2017). «Atoms for peace (and war): US forms of influence on Italy's civilian nuclear energy programs (1946-1964)». En BINI, E.; LONDERO, I. (eds.), pp. 23-39.
- BINI, E.; LONDERO, I. (2017). *Nuclear Italy. An international history of Italian nuclear policies during the Cold War*. Trieste: Edizioni Università de Trieste.
- CATALÁN, J. (2003). «La ruptura de la posguerra y la industrialización, 1939-1975». En *Atlas de la industrialización de España*. Crítica: Barcelona, pp. 233-288.

- DE LA TORRE, J.; RUBIO-VARAS, M. (2015). «La financiación exterior del desarrollo industrial español a través del IEME, c. 1950-1985». *Estudios de Historia Económica*, n.º 69, Madrid: Banco de España.
- (2016). «Nuclear power for a dictatorship: State and business involvement in the Spanish atomic program, 1950-85». *Journal of Contemporary History*, vol. 51, n.º 2, pp. 385-411.
- (2018). «Learning by doing: The first Spanish nuclear plant». *Business History Review*, primavera, 9, pp. 29-55.
- DE LA TORRE, J.; RUBIO-VARAS, M.; SANZ-LAFUENTE, G. (2018), «Engineers and scientist as commercial agents of the Spanish nuclear program». En: PRETEL, D.; CAMPRUBÍ, L. (eds.), *Technology and economic globalisation: Networks of experts in world history*. Springer Nature-Palgrave Macmillan, pp. 313-340.
- DROGAN, M. (2016). «The nuclear imperative: Atoms for peace and the development of US policy on exporting nuclear power, 1953-1955». *Diplomatic History*, vol. 40, n.º 5, pp. 948-974.
- FERRARI RUFFINO, G. (2017). «A particular experience: How a nuclear expert became an antinuke». En: BINI, E.; LONDERO, I. (eds.), *Nuclear Italy. An international history of Italian nuclear policies during the Cold War*. Trieste: Edizioni Università de Trieste, pp. 271-285.
- FREWER, H.; ALTVATER, W. (1977). «Technology transfer by industry for the construction of nuclear power plants». *Annals of Nuclear Energy*, vol. 4, pp. 235-248.
- GARRUÉS, J.; RUBIO MONDÉJAR, J. A. «The nuclear business and the Spanish electric-banking oligopoly: The first steps». En: RUBIO-VARAS; DE LA TORRE (eds.), *The economic history of nuclear energy in Spain: Governance, business and finance*. Palgrave Macmillan.
- GÓMEZ MENDOZA, A.; PUEYO, J.; SUDRIÀ, C. (2007). *Electra y el Estado: la intervención pública en la industria eléctrica bajo el franquismo*. Cizur Menor: Thomson-Civitas.
- GUTIÉRREZ BERNAL, R. (1977). *Inspection during operation of a nuclear plant in Spain*. Mimeo.
- GUTIÉRREZ-CORTINES, M. (1958). *Las centrales atómicas en los programas de construcción de las empresas eléctricas*. Madrid: Círculo de la Unión Mercantil e Industrial de Madrid.
- HERRANZ, N.; ROQUE, X. (eds.) (2012). *La física en la dictadura. Físicos, cultura y poder en España, 1935-1975*. Barcelona, Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- HETCH, G. (2009). *The radiance of France: Nuclear power and national identity after World War II*. Boston: MIT Press.
- KAYNAK, E.; WELLS, R. D. (1990). «Exporting large capital equipment: A case study of nuclear technology transfer». *International Marketing Management*, n.º 19, pp. 173-190.
- LAMOREAUX, N.; RAFF, D. M. G.; TEMIN, P. (eds.) (1999). *Learning by doing in markets, firms and countries*. Chicago: University of Chicago Press.
- LAVISTA, F. (2017). «Political uncertainty and technological development: The controversial case of AGIP Nucleare (1956-1962)». En: BINI, E.; LONDERO, I. (eds.), pp. 41-55.

- LÓPEZ, S.; VALDALISO, J. M. (eds.) (1997). *¿Qué inventen ellos? Tecnología, empresa y cambio económico en la España contemporánea*. Madrid: Alianza.
- MACVEIGH, J. (1960). «Posibilidades de la industria española en la construcción de centrales nucleares». Conferencia Mundial de la Energía, Madrid, 5-9 de junio de 1960.
- NIOSI, J.; HANEL, P.; Fiset, L. (1995). «Technology transfer to developing countries through engineering firms: the Canadian experience». *World Development*, vol. 23, n.º 10, pp. 1815-1824.
- OIEA (2012). *Realización de operaciones en centrales nucleares*. Guía de Seguridad n.º NS-G-2.14.
- PASCUAL, F. (1967). «Programa Nuclear Español». *Energía Nuclear*, n.º 56, pp. 544-555.
- (1980). «La energía nuclear y su futuro». *Boletín Informativo de la Fundación Juan March*, n.º 90, pp. 3-22.
- ROMERO DE PABLO, A. (2012). «Energía nuclear e industria en la España de mediados del siglo xx. Zorita, Santa María de Garoña y Vandellòs 1». En: HERRANZ, N.; ROQUE, X. (eds.), pp. 45-63.
- ROMERO DE PABLO, A.; SÁNCHEZ-RON, J. M. (2001). *Energía nuclear en España. De la JEN al CIEMAT*. Madrid: Doce Calles/Ciemat.
- RUBIO-VARAS, M.; DE LA TORRE, J. (2016). «Spain – Eximbank’s billion dollar client. The role of the US financing the Spanish nuclear program». En: BELTRAN, A.; LABORIE, L.; Lanthier, P.; Le Gallic, S. (eds.), *Electric Worlds / Mondes électriques: Creations, Circulations, Tensions, Transitions (19th-21st C)*. Bruselas: Peter Lang, pp. 245-270.
- (eds.) (2017). *The economic history of nuclear energy in Spain: Governance, business and finance*. Palgrave Macmillan.
- STAM, E.; SPIGEL, B. (2016). «Entrepreneurial ecosystems». *Utrecht School of Economics, Discussion Paper series*, n.º 16-13.
- TECNATOM (2007). *Tecnatom, 1957-2007. Medio siglo de tecnología nuclear en España*. Madrid: Divulga.
- ZORZOLI, G. B. (2017). «Did the Italian decision makers understand that nuclear is not business as usual?». En: BINI, E.; LONDERO, I. (eds.), pp. 91-101.



Nuclear power and learning processes: the role of Westinghouse and General Electric in the Spanish experience (c. 1955-1973)

ABSTRACT

This article explores the learning and technology transfer processes that placed Spain among the firstcomers of nuclear energy in the late 1960s. It is an example of a infantindustry that, under the protection of the State and the action of the business consortiums and of the North American multinationals, was able to replicate a complex technological challenge. We analyzed how an entrepreneurial ecosystem was created in which the leadership of some engineers and the cooperation and competition between industries, engineering and consultants were key. The business history of the Zorita and Garoña nuclear power plants exemplifies a model of learning by doing that, through turnkey contracts, allowed a rapid growth of the sector, convincing the dictatorship government and the electric promoters that it was possible to carry out one of the most ambitious nuclear programs in Western Europe.

KEY WORDS: nuclear energy, know-how, technology transfer, learning process

JEL CODES: N24, N64, N74, N84



Electricidad nuclear y procesos de aprendizaje: el papel de Westinghouse y de General Electric en la experiencia española (c. 1955-1973)

RESUMEN

Este artículo explora los procesos de aprendizaje y de transferencia tecnológica que situaron a España entre los *firstcomers* de la energía nuclear a finales de los años sesenta. Se trata de un ejemplo de industria naciente que, bajo la protección del Estado y la acción de los consorcios empresariales y de las multinacionales norteamericanas, fue capaz de replicar un reto tecnológico complejo. Analizamos cómo se fue creando un ecosistema empresarial en el que fue clave el liderazgo de algunos ingenieros y la cooperación y competencia entre industrias, ingenierías y consultoras. La historia empresarial de las centrales nucleares de Zorita y Garoña ejemplifica un modelo de *learning by doing* que, a través de los contratos «llave en mano», permitieron un rápido crecimiento del sector, convenciendo al gobierno de la dictadura y a los promotores eléctricos de que era posible llevar a cabo uno de los programas nucleares más ambiciosos de la Europa occidental.

PALABRAS CLAVE: energía nuclear, saber hacer, transferencia tecnológica, procesos de aprendizaje

CÓDIGOS JEL: N24, N64, N74, N84