

ARGOS. LA PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR NUCLEAR EXPERIMENTAL EN BARCELONA

Argos. Start-up of an experimental nuclear reactor in Barcelona

FAUSTINO ACOSTA ORTEGA
ORCID: 0000-0003-3629-4218

Resumen

El presente artículo proporciona información sobre la construcción y desarrollo de un reactor nuclear experimental en Barcelona, su operación y posterior desmantelamiento. Se destaca la influencia que, las conferencias de Ginebra de 1955 y 1958 y los reactores experimentales que allí se presentaron tuvieron en la elección del reactor de tipo Argonaut. Se mencionan y describen artículos publicados entre 1958 y 1962, que brindan detalles técnicos sobre el proceso de construcción del reactor. También se incide sobre el proceso de desmantelamiento del reactor, así como sobre la participación de diferentes instituciones y personas en el desarrollo del reactor y sobre la formación de los técnicos que participaron en su construcción.

Abstract

The article provides information about the construction and development of an experimental nuclear reactor in Barcelona, its operation, and subsequent dismantling. The influence that the conferences in Geneva in 1955 and 1958 and the experimental reactors presented there had on the selection of the Argonaut-type reactor is highlighted. Articles published between 1958 and 1962 that provide technical details about the reactor's construction process are mentioned and described. The reactor's dismantling process is also discussed. Additionally, the involvement of institutions and persons in the reactor's development, as well as the training of technicians who participated in its construction, are also cited.

Palabras clave: Argos, reactor nuclear experimental, reactor tipo Argonaut

Keywords: Argos, experimental nuclear reactor, Argonaut reactor type.

Recibido: 15/08/2023 – *Aceptado:* 14/01/2024
<https://doi.org/10.47101/llull.2024.47.94.acosta>

1. INTRODUCCIÓN

Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, muchos países manifestaron interés por las tecnologías relacionadas con la energía atómica. Interés reforzado tras el ofrecimiento americano de compartir su tecnología nuclear, ratificada con la aprobación de la *Atomic Energy Act* de 1954, que permitía la posibilidad de abrir la tecnología a aplicaciones comerciales¹.

España no fue una excepción. Aunque los primeros pasos, ya en 1948, fueron de carácter secreto, en 1951 se fundó la Junta de Energía Nuclear con el declarado propósito de concentrar las actividades encaminadas al desarrollo de la energía nuclear. Tras el discurso de Eisenhower, el interés por el tema se hizo manifiesto también en medios académicos y empresariales.

La Comisión Asesora de Reactores Industriales (CADRI), creada en 1955, ya contaba en sus órganos directivos con destacados académicos y empresarios. Entre sus vocales se encontraba Felipe Lafita, director general adjunto de FECSA y miembro de la Cámara Oficial de Industria de Barcelona (COI), organismo que por las mismas fechas buscaba atraer a Cataluña el conocimiento sobre las aplicaciones comerciales de la energía nuclear.

También en 1955, la firma de un acuerdo con EE.UU. en materia nuclear permitió plantear la construcción de un reactor experimental en las instalaciones de la JEN en Madrid. Así mismo, ese año se fundaba la cátedra de Física Nuclear y el Instituto anejo de Investigaciones y Aplicaciones Técnicas en la Universidad de Barcelona (UB), así como se iniciaban los cursos sobre ingeniería nuclear en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB).

Toda esta actividad llevó a proponer la construcción de un reactor nuclear experimental en la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Barcelona. El reactor, de tipo Argonaut, se construyó y montó en Madrid, para posteriormente ser transportado e instalado en el nuevo edificio de la ETSEIB, donde se hizo crítico en 1961. Estuvo funcionando hasta 1975, un total de trece cursos académicos durante los que pasaron por sus instalaciones unos quinientos estudiantes. Tras varios años de inactividad, en 1992 se retiró el uranio del reactor y se desmanteló en 2001.

A pesar del interés que suscitó desde finales de la década de 1950 y la primera mitad de la de 1960, no es fácil encontrar trabajos que ofrezcan una visión global sobre este reactor. Por ello, este relato tiene la ambición de ofrecer una panorámica holística de su historia. Desde las razones que llevaron a la construcción del Argos, hasta las características técnicas del reactor y de su desempeño, finalizando con su posterior desmantelamiento.

De entre los trabajos existentes, es preciso destacar los de Francisco X. Barca Salom², que han utilizado como fuente principal los archivos de la Cámara Oficial de Industria de Barce-

-
1. *Atoms for Peace Speech*. Discurso de Dwight D. Eisenhower ante la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York, el 08/12/1953. Disponible en: <<https://www.iaea.org/about/history/atoms-for-peace-speech>> [Consulta: 10/04/2022].
 2. BARCA SALOM [2000, 2002].

lona y de la cátedra Ferrán Tallada. También merece ser destacado el trabajo recopilatorio de la historia de la energía nuclear en España coordinado por Rafael Caro³. Ambos trabajos de referencia están centrados en los procesos de decisión sobre la construcción del reactor. Se ha procurado aquí complementar estos trabajos con la adición de detalles constructivos y esquemas del reactor aportados por algunos de los técnicos que participaron directamente en el proyecto y que fueron publicados en fechas coetáneas en la revista *Energía Nuclear*⁴ y, posteriormente, en la revista *Nuclear España*.

Durante ese periodo merece también destacarse el papel divulgativo que ejerció el diario *La Vanguardia* (entonces denominado *Vanguardia Española*), de cuya hemeroteca se han empleado artículos utilizados como material de apoyo al relato.

Para obtener una visión específica sobre las características técnicas y sobre los procesos que permitieron la construcción de cada una de las partes del reactor, así como el diseño del combustible resultan de especial utilidad los artículos publicados, entre 1958 y 1962, por la revista *Energía Nuclear* antes mencionada. Los trabajos de Xavier Ortega⁵ y Javier Ortiz Gutiérrez⁶ abordan el proceso de desmantelamiento del reactor.

Este trabajo está estructurado en cinco apartados, tras esta introducción, y se cierra con un apartado de conclusiones. En los dos siguientes apartados se exponen los antecedentes, tanto los generales, como los relativos al desarrollo de reactores experimentales tras la primera conferencia de Ginebra de 1955. En el tercero y cuarto se aborda el proceso de decisión para la construcción del Argos y su construcción. El quinto está dedicado al periodo de operación y su desmantelamiento.

2. ANTECEDENTES

A finales de la década de 1940 eran numerosos los países interesados en las posibilidades que ofrecía la energía nuclear. El descubrimiento en 1938 de la fisión nuclear a partir de trabajos previos de Lise Meitner y Otto Hahn (por el que este último recibiría el Premio Nobel en 1944), la consecución de la primera reacción nuclear autosostenida en 1942 en el reactor experimental CP-1 del laboratorio metalúrgico de la universidad de Chicago⁷ y el lanzamiento sobre Japón de las bombas nucleares fruto del proyecto Manhattan habían despertado el interés en los estudios sobre la física atómica y sus aplicaciones. España no era una excepción.

3. CARO *et al.* [1995].

4. BERGUA *et al.* [1962] y FERNÁNDEZ PALOMERO *et al.* [1959], entre otros.

5. ORTEGA *et al.* [2002].

6. ORTIZ GUTIÉRREZ [1997].

7. El CP1 (Chicago Pile nº 1) funcionó, bajo la dirección de Enrico Fermi, desde su primera criticidad el dos de diciembre de 1942 hasta febrero de 1943, cuando fue desmantelado y reconstruido, con el añadido de unas mayores protecciones, por el CP-2 en el Laboratorio Nacional Argonne (entonces llamado Laboratorio Metalúrgico de la Universidad de Chicago).

Se sabía desde unas décadas antes de la existencia en España de reservas de uranio y se habían iniciado estudios para su delimitación, así como realizado las oportunas reservas legales sobre los yacimientos. Poco más se había podido hacer en un país aislado internacionalmente y empobrecido tras la Guerra Civil.

Fruto de ese interés se reunieron el ocho de octubre de 1948 en el Laboratorio y Talleres de Investigación del Estado Mayor de la Armada (LTIEMA), bajo la presidencia José María Otero Navascués (teniente coronel de Armas Navales y prestigioso científico), los catedráticos Manuel Lora Tamayo, Armando Durán Miranda y el diplomático e intendente de la Armada José Ramón Sobredo. Se trataba de la primera reunión de la Junta de Investigaciones Atómicas (JIA)⁸, creada con carácter confidencial con el objetivo de abordar tres líneas de trabajo: el estudio de la explotación de los yacimientos españoles de uranio, la formación de técnicos y la aplicación y desarrollo de técnicas relacionadas con la física del uranio. En enero de 1950 se nombró presidente de esta Junta al profesor barcelonés Esteban Terradas e Illa⁹, que ya era presidente desde 1942 del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, instituto que había contribuido a crear. Simultaneó ambos cargos hasta su fallecimiento en el siguiente mes de mayo.

Para dar cobertura a los trabajos de esta Junta, se creó la Sociedad para el Estudio y Proyectos de Aleaciones Especiales (EPALE) que canalizó los trabajos de la JIA hasta la creación de la Junta de Energía Nuclear (JEN), por Decreto-Ley de 22 de octubre de 1951. En la exposición de motivos del mencionado Decreto-Ley se destacaba el papel del nuevo organismo en el estudio de la física nuclear y su ánimo centralizador de toda la actividad nacional en ese campo:

Desde que se tuvo conocimiento de las posibilidades de la física nuclear como nueva fuente de energía, el Estado español, dentro de sus posibilidades, adoptó las medidas conducentes a capacitar personal para la labor de investigación científica en esta moderna técnica, a la que todas las naciones vienen concediendo la más alta atención.

Superada ya la primera fase de esta actividad, que puede considerarse como de ensayo, y logrado un núcleo inicial de científicos y técnicos especializados en esta materia, es aconsejable la continuación de tales trabajos en mayor escala, creando un organismo competente que asuma la dirección y coordinación de tan varias actividades.

8. Creada por Decreto Reservado de 6 de septiembre de 1948.

9. Esteban Terradas e Illa (Barcelona, 1883-Madrid, 1950) obtuvo los grados de doctor en Ciencias Exactas y en Ciencias Físicas, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniero Industrial; ejerció como catedrático de Física Matemática y, anteriormente, de Análisis Matemático en la Universidad Central de Madrid, así como de Acústica y Óptica, Electricidad y Magnetismo y Mecánica Racional en la Universidad de Barcelona, y de la última asignatura en la Universidad de Zaragoza y de las Universidades de Buenos Aires y La Plata (Argentina) y Montevideo (Uruguay). Fue Miembro de la Real Academia Española, Individuo de Número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. También fue miembro de la *National Geographic Society* y de la Academia de Ciencias de Baviera. Para una completa información puede consultarse: SÁNCHEZ RON, José Manuel, "Esteban Terradas e Illa", en Real Academia de la Historia, Diccionario Biográfico electrónico (en red, <<http://dbe.rah.es/>>).

La experiencia de otros países, incluso los de menor potencialidad, enseña que organismos de esta clase abarcan y centralizan el conjunto de las actividades antes expuestas, moviéndose con base Jurídica y económica tan amplia como excepcional¹⁰.

En particular, el mencionado Decreto-Ley atribuía en exclusiva a la JEN las relaciones que pudieran mantenerse con organismos similares en el extranjero (artículo 2º-f), así como la obtención, distribución e intervención de uso de los isótopos radiactivos (artículo 2º-d).

Las expectativas para el desarrollo de la energía nuclear en España se vieron reforzadas un par de años más tarde. Tras una ardua negociación, en septiembre de 1953 se firmaba entre España y Estados Unidos un acuerdo de defensa mutua por el que, a cambio del uso de bases militares, España recibió una sustancial ayuda económica y se formalizaban unas relaciones que abrían la posibilidad de inversiones y programas de transferencia tecnológica por parte de empresas americanas.

En diciembre de ese mismo año, en la Asamblea General de la ONU, el presidente americano Dwight D. Eisenhower pronunció su famoso discurso “Átomos para la Paz”. En él se comprometía a remitir al Congreso americano una disposición que permitiera promover en todo el mundo la investigación para los usos pacíficos de material fisible, facilitando a los investigadores el material necesario para sus experimentos. Esta propuesta se concretó en la aprobación de la *Atomic Energy Act* de 1954, que habilitaba a su agencia nacional, la *Atomic Energy Commission* (AEC), para la promoción de aplicaciones comerciales en generación eléctrica nuclear.

Fruto de la propuesta presidencial y de los posteriores cambios legislativos, Lewis L. Strauss, presidente de la AEC, anunció la convocatoria de un congreso internacional de ingeniería nuclear, en la Universidad de Michigan, para la difusión de conocimientos nucleares. Unos meses más tarde el embajador de Estados Unidos ante Naciones Unidas anunció la disponibilidad de un depósito de 100 kg de material fisiónable para formación de investigadores, trabajos de investigación o producción de radioisótopos.

A finales de 1954, la prensa informaba de la reunión de la Comisión Política Principal de la Asamblea General de las Naciones Unidas¹¹. En ella, el delegado norteamericano, Cabot Lodge, informó de los planes para constituir un organismo internacional encargado de controlar el programa de Eisenhower “Átomos para la Paz” (el futuro OIEA). El organismo en cuestión tendría como objetivo alentar y fomentar la investigación en todas las aplicaciones civiles de la energía atómica, anticipando que EE.UU. tenía intención, entre otras actividades, de crear una escuela de formación sobre reactores a la que serían invitados de 30 a 50 ingenieros y científicos extranjeros.

Se comprometía también a suministrar una biblioteca de temas relacionados con la energía atómica a los países participantes en el plan. Esta documentación incluiría revistas técnicas publicadas sobre la materia en los últimos siete años, extractos de 50.000 monografías científicas y libros, y más de 200.000 tarjetas-índice sobre el tema.

10. Decreto-Ley de 22 de octubre de 1951 por el que se crea la Junta de Energía Nuclear. *BOE*, de 24/10/1951, pp. 4.778-4.779.

11. “Cabot Lodge expone: el plan Átomos para la Paz”. *La Vanguardia Española*, 06/11/1954, p. 12.

3. LAS CONFERENCIAS DE GINEBRA Y LOS REACTORES EXPERIMENTALES

La prensa española informaba hacia finales de 1954 que la Junta de Energía Nuclear se encontraba en condiciones de iniciar un proyecto para la construcción de un reactor de baja potencia, paso imprescindible para un intento más amplio: la realización de otro reactor mayor, capaz de suministrar energía con fines industriales¹².

El desarrollo del proyecto precisaba de la ayuda que EE.UU. estaba dispuesto a prestar. A principio de diciembre de 1954, el presidente de la JEN, José María Otero Navascués, escribía al embajador español en Washington, José María de Areilza, para comunicarle el interés de que España se incorporase a las iniciativas que estaban surgiendo tras la propuesta de Eisenhower¹³.

José María Otero de Navascués y Antonio Colino viajaron a Estados Unidos buscando el apoyo de este país para la formación de técnicos y el acceso a documentación técnica. Entre sus interlocutores, según relata Colino¹⁴, se encontraban el presidente de la AEC (almirante Strauss) y Von Neumann¹⁵, con los que se estableció una relación cordial y de los que se obtuvo el compromiso de ayuda para la instalación de un reactor nuclear experimental en España.

Fruto de la disposición americana y de las iniciativas llevadas a cabo por la JEN, el diecinueve de julio de 1955 se alcanzó un acuerdo de cooperación entre España y EE.UU. para usos civiles de la energía atómica¹⁶. Por este acuerdo, EE.UU. se comprometía al intercambio de información no clasificada relativa a la aplicación de la energía atómica para usos pacíficos, incluyendo el desarrollo, proyecto, construcción, manejo y uso de reactores de investigación, así como al alquiler de material fisible para su operación (hasta 6 kg, de los 100 kg ofrecidos en el OIEA por el embajador americano para todos los aliados).

También en julio de 1955, se creó la Comisión Asesora de Reactores Industriales (CADRI). En la exposición de motivos de la Orden de creación se declara que:

12. "La fabricación en España de energía nuclear". *La Vanguardia Española*, 08/01/1955, p. 4.

13. Archivo General de la Administración-Industria 71/8471, citado en SOLER FERRÁN [2017, p. 109].

14. COLINO LÓPEZ [1998, p. 4].

15. John von Neumann (Budapest, 1903-Washington, 1957). Matemático que realizó contribuciones fundamentales en física cuántica, análisis funcional, teoría de conjuntos, teoría de juegos, ciencias de la computación, entre otros. Participó en el proyecto Manhattan. En 1955 era uno de los cinco comisarios de la AEC. Para una más completa información puede consultarse: FERNÁNDEZ, Tomás y TAMARO, Elena, "Biografía de John von Neumann". *Biografías y Vidas*. La enciclopedia biográfica en línea, Barcelona, 2004. Disponible en: <<https://www.biografiasyvidas.com/biografia/n/neumann.htm>> [Consulta: 14/12/2023].

16. Orden de 19 de noviembre de 1955 por la que se distribuye el crédito de 61.000 pesetas para los encargados de las enseñanzas que se citan del Instituto de Ampliación de Estudios e Investigación Industrial. *BOE*, 06/02/1955, pp. 180-181. Dos años más tarde se extendió el acuerdo a los reactores de producción de energía, el "Instrumento de Ratificación del Convenio de Cooperación entre el Gobierno de España y el Gobierno de los Estados Unidos de América relativo a los usos civiles de la energía atómica", incluyendo la ampliación del acuerdo a reactores productores de energía, se firmó en Washington el dieciséis de agosto de 1957, fue publicado en el *BOE* de 12/02/1958, pp. 215-218.

El grado de conocimiento alcanzado actualmente en los estudios y ensayos sobre la posibilidad de obtención de energía eléctrica partiendo de la reacción en cadena de reactores nucleares indica claramente la conveniencia de que nuestro país se encuentre preparado para llevar a cabo el estudio de los proyectos, y en su día, aunque éste no sea exactamente previsible, la construcción y manejo de las centrales productoras de energía¹⁷.

Felipe Lafita, director general adjunto de FECSA y miembro de la Cámara de Industria de Barcelona, y Leandro de Torrontegui, vicepresidente y director gerente de Babcock & Wilcox española y catedrático de la escuela de ingenieros de Bilbao¹⁸, que jugarían un papel importante en el lanzamiento de los proyectos de reactores experimentales en las escuelas de ingenieros de Barcelona y Bilbao, eran dos de los vocales de esta comisión.

Durante ese mismo año se realizaron los primeros contactos para la adquisición de un reactor experimental para la JEN. Aunque General Electric terminaría siendo la adjudicataria para el suministro del reactor, también se exploraron las posibilidades de las americanas Babcock & Wilcox y Westinghouse¹⁹. Así mismo, se evaluaron otras posibilidades, como las que ofrecía la industria inglesa. Muestra de esto último es el registro en España por la británica *United Kingdom Atomic Energy Authority*, entre 1956 y 1957, de diecisiete patentes sobre perfeccionamiento en reactores nucleares, moderadores de grafito y elementos combustibles²⁰.

En ese contexto, la convocatoria de la Primera Conferencia Internacional sobre usos pacíficos de la energía atómica, que debía celebrarse en Ginebra entre los días ocho y veinte de agosto de 1955, despertó un gran interés en los círculos técnicos y académicos españoles. Por parte de la JEN acudieron como participantes a la conferencia numerosos representantes bajo el liderazgo de su presidente, Otero Navascués. Fueron invitados también directivos del INI, como Victoriano Muñoz Oms, director de la Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana (ENHER), y de la industria privada, como Leandro José de Torrónategui (Babcock & Wilcox española). Como representante del mundo académico de Barcelona acudió, en calidad de observador, el profesor de la Escuela de Ingenieros de Barcelona Joaquín Ortega Costa y el corresponsal científico Miguel Masriera, quien tuvo un papel muy activo en la construcción de lo que él mismo llamó “cultura atómica” en España, a través de sus artículos en *La Vanguardia*.

17. Orden de 19 de julio de 1955 por la que se crea la Comisión Asesora de Reactores Industriales. *BOE*, 24/07/1955, p. 4.545.

18. Tras su jubilación, por Orden de 18 de febrero de 1959, se dispuso que la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Bilbao, que había dirigido, así como los laboratorios anejos a la misma, se denominasen “Leandro José de Torrónategui Ibarra”.

19. Según consta en nota del Ministerio de Asuntos Exteriores de veintidós de julio de 1955 citada en SOLER FERRÁN [2017, p. 110].

20. Relación publicada en HIDALGO, Antonio (dir.) (2003) *Base de datos de patentes concedidas y publicadas (España 1830-1966)*. Madrid, OEPM-UPM, disponible en: <<http://historico.oepm.es>> [Consulta: 01/05/2022].

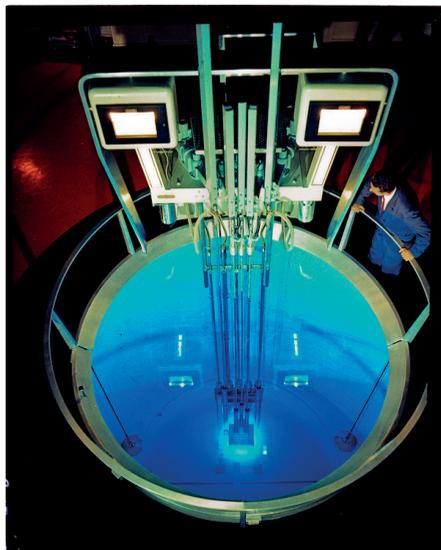


Figura 1. Vista superior del reactor Saphir (Geneve Conference Reactor).
Fuente: Oak Ridge National Laboratory (ORNL).

Paralelamente a las conferencias y comunicaciones presentadas hubo dos exposiciones, una de carácter científico-técnico y otra comercial. En la primera se expuso un reactor experimental de 100 kVA que funcionaba con uranio enriquecido y era moderado y refrigerado por agua (Fig. 1). Se trataba de un reactor de piscina diseñado por el Oak Ridge National Laboratory (ORNL) que se hizo crítico²¹ al inicio de la conferencia y tras la exposición fue transferido a Suiza, donde recibió el nombre de Saphir, por el color azul visible en la superficie del agua fruto del efecto Cherenkov²².

Este reactor sirvió de referencia para el reactor de la JEN, al que se denominó JEN-1. También era heterogéneo de tipo piscina, moderado y refrigerado por agua ligera y reflector de grafito. La piscina que contenía al reactor estaba dividida en dos zonas, quedando el reactor suspendido en un puente que permitía el traslado de una a otra, lo que hacía posible trabajar a potencias bajas (del orden de 100 kW) o altas (hasta 3 MW). Utilizaba combustible de tipo MTR con uranio enriquecido al 20%. Aunque General Electric se encargó del suministro de todos los componentes nucleares, la propia JEN se hizo cargo de los elementos convencionales, el montaje y su puesta a punto [CREPI GONZÁLEZ *et al.*, 1958, pp. 32-51].

21. “En física nuclear, dicese del medio multiplicativo en el que tiene lugar una reacción de fisión en cadena con un factor de multiplicación efectivo igual a la unidad” (Diccionario Nuclear, SNE).

22. La radiación de Cherenkov es una radiación de tipo electromagnético en forma de onda de choque que produce un brillo azulado característico.

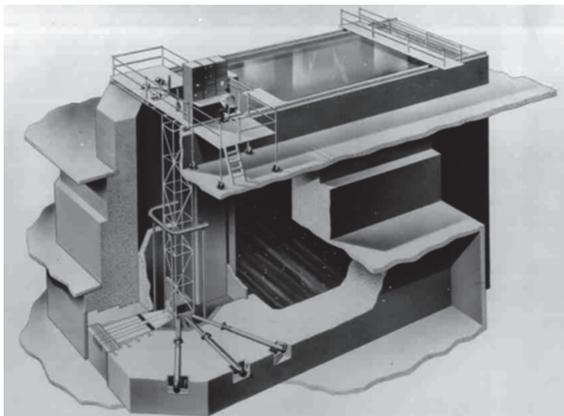


Figura 2. Infografía de una maqueta del reactor JEN-1.

Fuente: Archivo fotográfico de la Biblioteca Hispánica (MH 121/5-50), citado en SOLER [2017, p. 118].

El contrato para la adquisición del reactor se firmó en diciembre de 1956 por un importe de quinientos diecinueve mil novecientos noventa dólares con setenta centavos, contando con una subvención por parte de EE.UU. de trescientos cincuenta mil dólares. Para la financiación del contrato, en abril del siguiente año, se autorizó a la JEN a concertar un préstamo con el Export-Import Bank de Washington por importe de trescientos ochenta y cinco mil dólares²³.

El reactor, instalado en los edificios de la JEN en la Ciudad Universitaria de Madrid (Fig. 2), se hizo crítico por primera vez el ocho de octubre de 1958.

Antes de que JEN-1 alcanzase la criticidad ya se encontraban técnicos españoles en EE.UU. capacitándose en física nuclear. Helios Bergua asistió al cuarto curso de la *International School of Nuclear Science and Engineering*. Al quinto asistieron Luis Palacios, Guillermo Velarde, así como Carlos Fernández Palomero, que concluía su estancia en EE.UU. en noviembre de 1957²⁴, después de haber seguido el curso, cuando fue requerido para incorporarse al grupo de investigación y desarrollo de Argonne²⁵.

A principios de febrero de 1958, la prensa recogía la recepción ofrecida por el presidente de la Comisión Atómica del Congreso el cuatro de febrero a cincuenta y un extranjeros llegados para incorporarse al *Argonne National Laboratory*. Entre ellos, nueve eran españoles y dos de ellos, el propio Carlos Fernández Palomero y Luis Palacios, de la JEN²⁶. Allí participó el primero de ellos en el grupo de desarrollo del Argonaut.

23. Decreto-Ley de 4 de abril de 1957 por el que se autoriza a la Junta de Energía Nuclear para concertar un préstamo con el Export-Import Bank de Washington. *BOE*, de 8/04/1957, p. 60.

24. CARO *et al.* [1995, p. 65] corregido por los comentarios de Luis Palacios

25. *Op. cit.*, p. 161.

26. "Varios españoles harán estudios atómicos en América". *ABC*, 05/02/1958, p. 34.



Figura 3. Entrega de diplomas en la Escuela de Argonne. A la izquierda de la imagen, Helios Bergua y Carlos Fernández Palomero.

Fuente: CARO *et al.* [1995, p. 161].

Del uno al trece de septiembre de 1958 se celebró la Segunda Conferencia de Ginebra sobre los usos pacíficos de la energía atómica. La conferencia se volvía a celebrar en el Palais des Nations, un año después del inicio de actividades del OIEA, con una participación en asistentes y ponencias que doblaba los de la reunión de tres años antes. El número de países participantes pasaba de los treinta y seis de la primera a cuarenta y seis en la segunda y se sumaban seis agencias internacionales. A la conferencia asistió una nutrida representación de la JEN, de la que formaba parte Carlos Sánchez del Río quien actuó como secretario técnico en la reunión de clausura.

Para esta conferencia, la comisión de energía atómica americana (AEC) solicitó al *Argonne National Laboratory* (ANL) que preparase una exposición del nivel adecuado para eclipsar el reciente éxito en el lanzamiento de dos satélites Sputnik por la Unión Soviética. ANL respondió con la construcción de un segundo reactor experimental de tipo Argonaut²⁷. Este reactor, construido en las instalaciones de ANL en Chicago, se transportó y se volvió a ensamblar en Ginebra durante los cuatro primeros días de la conferencia, lo que permitió a los asistentes ver la maniobra de montaje. Al sexto día de la conferencia el reactor fue llevado a criticidad. Durante los días finales de la conferencia, el reactor fue desmantelado y retornó a Chicago. Carlos Fernández Palomero asistió a la reunión formando parte del equipo de Argonaut [CARO, 1995, p. 162].

Paralelamente a estos eventos internacionales, se organizaron exposiciones divulgativas de “Átomos para la Paz”, igual que en otras ciudades europeas, en Madrid, Bilbao y Barcelona. Esta última tuvo lugar en la escuela de ingenieros industriales entre el veinticuatro de noviembre y el catorce de diciembre de 1958. La exposición incluía la exhibición de maquetas de reactores, cursos y conferencias y otras actividades divulgativas.

27. “Argonaut”, cuyo nombre deriva de *ARGONNE Nuclear Assembly for University Training*, era un pequeño reactor de 10 kW, empleado para investigación y entrenamiento. El primero de estos reactores se construyó en las instalaciones de ANL, por un coste reportado de alrededor de 100.000 dólares y se hizo crítico por primera vez el nueve de febrero de 1957.

4. HACIA UN REACTOR EXPERIMENTAL EN BARCELONA

Los círculos empresariales y académicos en Barcelona no eran ajenos a los movimientos que se estaban produciendo entorno a la física nuclear y las posibilidades que con ésta se abrían. Ya en 1950, Francisco Rivière Manen²⁸ había presentado en el pleno de la Cámara de Industria de Barcelona (COI)²⁹ una iniciativa para promover la creación de un patronato con el objeto de que los ingenieros industriales catalanes se especializasen en las materias que interesaban a esa industria. Paralelamente, el interés por el tema llevaba a que se impartiesen conferencias sobre la materia, como las tres organizada por la Academia de Doctores en febrero de 1954 y leídas por el doctor ingeniero y colaborador científico habitual de *La Vanguardia*, Miguel Masiera, de títulos: “El átomo”, “Pilas y bombas atómicas” y “Aplicaciones de la energía atómica”³⁰.

En octubre de ese año, se produjo una remodelación del pleno de la Cámara Oficial de Industria de Barcelona, con la que se buscó que todos los sectores industriales estuviesen representados. Si bien el pleno quedó compuesto por cuarenta y seis delegados de todos los sectores, la suma de aquellos que se caracterizaban por ser intensivos en consumo energético (metalúrgicas, químicas y cementeras) y los productores y distribuidores de energía (gasistas y eléctricas)³¹ suponían alrededor de una tercera parte del total, contando además con una influencia significativa en alguna de las comisiones creadas, como la de enseñanzas técnicas, que desempeñaría un papel destacado en el fomento de la tecnología nuclear.

Esta remodelación se anticipó en unos meses a la que se estaba llevando a cabo para la modernización de los planes de estudio de las tres escuelas de ingeniería industrial existentes entonces en España (Madrid, Barcelona y Bilbao) y a la celebración de la primera conferencia de Ginebra. A la vuelta de ésta última, Torrontegui anunció que el curso siguiente se crearía en la escuela de Bilbao una cátedra de física nuclear, haciendo énfasis en la necesidad de personal especializado en esta materia. Ortega Costa también se expresaba en Barcelona de forma similar en relación a la necesidad de técnicos especializados.

Las primeras iniciativas en Barcelona en esta línea se formalizaron en la facultad de Ciencias. El tres de octubre de 1955 se aprobó la creación de la cátedra de Física Nuclear y el Instituto anejo de Investigaciones y Aplicaciones Técnicas en la Universidad de Barcelona³². Paralelamente, iniciaban ese mismo curso su andadura los estudios atómicos en la Escuela

28. Presidente de la metalúrgica Riviere S.A., y presidente de la comisión de estudios técnicos de la Cámara de Industria de Barcelona.

29. Acta del pleno del COI de veintiocho de febrero de 1950. Citado en BARCA SALOM [2002, pp. 201-203].

30. “Conferencias atómicas”. *La Vanguardia Española*, 20/02/1955, p. 12.

31. Eran tres los delegados del sector en el pleno del COI: Ricardo Margarit (Catalana de Gas y Electricidad), Francisco Montagut (Compañía de Fluido Eléctrico) y Felipe Lafita (FECSA) que ejercía también como vicepresidente de la comisión de estudios técnicos.

32. Decreto de 3 de octubre de 1955 por el que se crea una cátedra de Física Nuclear y un Instituto anejo de Investigaciones y Aplicaciones Técnicas en la Universidad de Barcelona. *BOE*, de 01/11/1955, p. 6.613.

Especial de Ingenieros Industriales, con una conferencia de apertura a cargo de Joaquín Ortega Costa de título “Ciencia de ingeniería nuclear”³³.

Este primer año se impartieron exclusivamente clases teóricas en dos materias: introducción a la ingeniería nuclear, impartida por Ramón Simón Arias, mientras que Joaquín Ortega Costa se hacía cargo de la cátedra (aún sin refrendo oficial) e impartía teoría elemental de reactores. El Instituto de Ampliación de Estudios e Investigación Industrial le otorgaba a Ortega Costa, como encargado de estos estudios, un crédito de 13.000 pesetas³⁴. Estos estudios tuvieron su refrendo oficial el curso siguiente, cuando se concedió carácter oficial a las cátedras de Tecnología nuclear de Bilbao³⁵ y, en la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Barcelona, a las cátedras especiales “Esteban Terradas”, dedicada a la ampliación de estudios sobre mecánica fundamental y sus aplicaciones, “Fernando Tallada”, dedicada a la enseñanza de los problemas de Ingeniería nuclear y bases científicas en que se apoya, y “Paulino Castells”, dedicada a la enseñanza de las matemáticas, todo ello a propuesta del Patronato de las Escuelas de Ingenieros Industriales³⁶.

Del decidido apoyo de la Cámara Oficial de Industria a la recién creada cátedra “Fernando Tallada” sirve de muestra el montante de las subvenciones que le fueron concedidas. En el año 1956, la cátedra recibió subvenciones de la COI por importe de 105.070 pesetas, un tercio del total de las concedidas ese año por la Cámara. A partir del año siguiente la subvención alcanzó las 200.000 pesetas y se mantuvo en esos niveles hasta 1965, año en el que la subvención se triplicó, siendo ese año una cuarta parte del total de las subvenciones concedidas. A estos importes hay que sumar el correspondiente a las becas, por unas 120.000 pesetas adicionales, concedidas a partir del año 1960 [BARCA SALOM, 2002, pp. 215-217].

El interés último de la COI se centraba en la exploración de las posibilidades que la energía nuclear ofrecía a la industria catalana. Es por ello por lo que en marzo de 1957 se decidió la constitución de una comisión para el estudio de esta cuestión. La comisión se dividió en dos ponencias, una económica y otra técnica. De la primera formaron parte Felipe Lafita (FECSA), Victoriano Muñoz (ENHER), Ricardo Margarit (Catalana de Gas y Electricidad) y Manuel Taboada. En la ponencia técnica participaron Damián Aragónés (director de la

33. “Inauguración de las cátedras de estudios atómicos en la Escuela de Ingenieros Industriales”. *La Vanguardia Española*, 26/11/1955, p. 18.

34. Orden de 19 de noviembre de 1955 por la que se distribuye el crédito de 61.000 pesetas para los encargados de las enseñanzas que se citan del Instituto de Ampliación de Estudios e Investigación Industrial. *BOE*, de 02/12/1955, p. 7.286.

35. Orden de 20 de octubre de 1956 por la que se crean en la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Bilbao las cátedras especiales de “Tecnología nuclear” y “Ampliación de fundición y forja de metales y aleaciones”. *BOE*, de 02/11/1956, p. 6.951.

36. Orden de 20 de octubre de 1956 por la que se crean las cátedras especiales “Esteban Terradas”, “Fernando Tallada” y “Paulino Castells” en la Escuela Especial de Ingenieros Industriales de Barcelona. *BOE*, de 03/11/1956, p. 6.958.

Escuela Especial de Ingenieros), Joaquín Ortega Costa y José Capmany [BARCA SALOM, 2000, pp. 27-28].

En diciembre de ese año la ponencia técnica concluyó sus trabajos con la recomendación de solicitar a la COI una contribución para la instalación de un laboratorio de física nuclear en la escuela. En febrero del año siguiente la COI tomaba la decisión de contribuir con cinco millones de pesetas al proyecto.

Para la elección del reactor se consideraron tres alternativas, un reactor homogéneo, uno de piscina (similar al que la JEN estaba a punto de hacer crítico) y uno de tipo Argonaut, reactor de 10 kW cuyo primer prototipo se había hecho crítico en Chicago en febrero de 1957 y había supuesto un coste de unos 100.000 dólares³⁷. La exposición en la segunda conferencia de Ginebra acabó por decantar la decisión en favor de este último modelo.

Las actividades emprendidas para la adquisición del reactor por la COI pronto se vieron suspendidas ante la oposición de la JEN a autorizar esta decisión de la Cámara y la poca disposición por parte americana que se había detectado en la entrevista en Madrid entre Capmany y John Robinson, presidente de la americana *International Cooperation Administration* [BARCA SALOM, 2002, p. 246]. Es preciso recordar que la legislación española en vigor hacía recaer en la JEN la responsabilidad de cualquier relación que pudiera mantenerse, en relación a esta materia, con organizaciones extranjeras, así como la obtención, distribución e intervención del uso de isótopos radiactivos³⁸.

Por otra parte, la JEN había establecido la estrategia de que estos proyectos se realizasen con tanta contribución española como fuese posible. Además, ya había firmado un preacuerdo con la escuela de Bilbao para la construcción de un reactor experimental. No sólo la insistencia en el desarrollo autónomo del proyecto, manteniendo al margen a la JEN, ponía en riesgo su viabilidad, también se comprometía el prestigio de la escuela de Barcelona frente a la de Bilbao.

En ese contexto, con el pretexto de acordar el tipo de prácticas que debían ser desarrolladas en la cátedra “Fernando Tallada”, se organizó una reunión en las oficinas de la JEN, a principios de 1959 entre Otero Navascués y Sánchez del Río, por parte de la JEN, y Ortega Costa y Simón Arias, en representación de la escuela de ingenieros, en la que fue tratado el tema. Como resultado de las conversaciones se desbloqueó del proyecto, mostrando la JEN su mejor predisposición a ofrecer su experiencia y trabajo, renunciado a cualquier beneficio económico y acordando que la JEN se haría cargo de la construcción en Madrid para posteriormente trasladar el reactor a Barcelona. La COI financiaría los materiales y los gastos de fabricación³⁹.

37. El tipo de cambio en 1957 se situaba en el entorno de las 54 pesetas/dólar.

38. Decreto Ley de veintidós de octubre de 1951, de creación de la JEN.

39. “Visita de los señores Ortega y Simón a la Junta de Energía Nuclear”. Archivo de la ETSEIB, Barcelona. AEI-FT. Caja 00355.

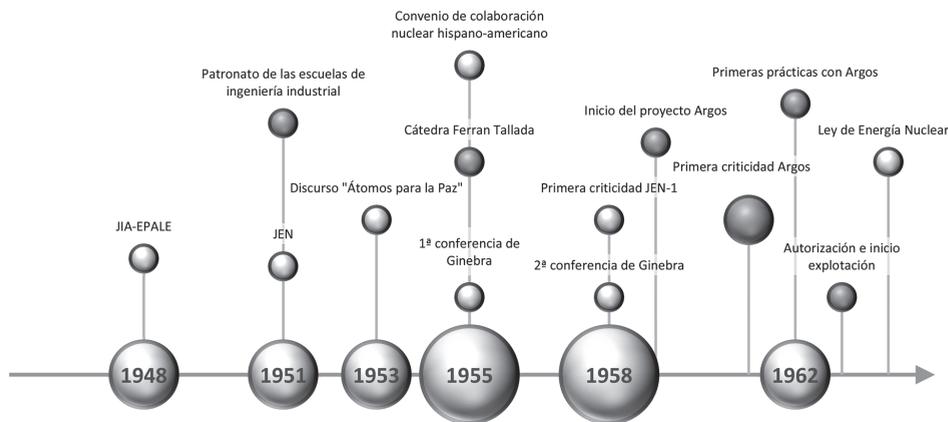


Figura 4. Hitos en la construcción del reactor experimental Argos.

5. EL REACTOR ARGOS SE HACE REALIDAD

El primer reactor de tipo Argonaut fue diseñado en el *Argonne National Laboratory* para que pudiera cumplir con los requerimientos de laboratorios de física nuclear universitarios. El primer prototipo se hizo crítico el nueve de febrero de 1957 en las instalaciones del laboratorio en Chicago. Posteriormente, llegaron a operar en el mundo hasta veintisiete de estos reactores.

Se trataba de un reactor heterogéneo con un núcleo anular y reflectores de grafito externos e internos, empleando agua ligera, a presión y temperatura ambiente, como moderador. El máximo flujo neutrónico del reactor era de 5×10^{11} neutrones por centímetro cuadrado y por segundo a un nivel de potencia de 10 kW. Geométricamente, su configuración era la de un cubo de grafito de alrededor de 1,5 metros de largo por 1,5 de ancho y 1,2 de alto (5 ft x 5 ft x 4 ft) conteniendo dos tanques concéntricos de aluminio. Los dos cilindros, de unos 0,6 y 0,9 metros de diámetro respectivamente (2 y 3 ft) configuraban un anillo repleto de agua, rodeado por grafito, en el que unas cuñas, también de grafito, dejaban espacios libres para ubicar los elementos combustibles. Como combustible utilizaba una masa crítica de U235 (con un enriquecimiento del 20%) de 4 kg⁴⁰.

Ese reactor, como ha quedado dicho, sirvió de prototipo para el presentado en la exposición de la segunda Conferencia de Ginebra, a cuyo equipo de investigación y desarrollo se incorporó Carlos Fernández Palomero, una vez concluida su formación en física nuclear a finales de 1957, con vistas al desarrollo posterior de los reactores españoles. Paralelamente, Helios Bergua estaba trabajando, también en EE.UU., sobre el diseño de elementos combustibles.

40. Para una detallada descripción del proyecto Argonaut puede consultarse LENNOX y SPINGRAD [1956] y ARMSTRONG *et al.* [1957], escritos por los técnicos responsables de su desarrollo.



Figura 5. Reactor Argonaut (1957).
Fuente: Argonne National Laboratory.

En consecuencia, una vez acordado el inicio del proyecto, Carlos Fernández Palomero fue encargado de su ejecución, bajo la dirección de Carlos Sánchez del Río, responsable de la sección de física de la JEN. Helios Bergua se hizo cargo de la fabricación del combustible.

Como enlace entre la escuela de ingenieros y la JEN se designó a José Javier Clúa, un joven ingeniero que en aquel momento se encontraba realizando el servicio militar en Madrid, actividad que compatibilizaba con su trabajo en Aucona S.A., una empresa del ámbito de FECSA. Su experiencia nuclear se limitaba a los cursos recibidos durante la carrera. Como retribución la COI acordó la concesión de una beca, hecho del que daba cuenta la prensa barcelonesa⁴¹. Paralelamente, para la función equivalente en la escuela de Bilbao había sido seleccionado Francisco Albisu⁴², ambos respondían ante los directores de sus respectivas escuelas, Aragonés y Torrontegui.

La incorporación de José Javier Clúa al proyecto se produjo en julio de 1959, para entonces ya había una especificación previa del proyecto [FERNÁNDEZ PALOMERO *et al.*, 1959]. El presupuesto estimado se situaba en unos 5,8 millones de pesetas, considerando una participación nacional próxima al millón de pesetas.

Aún no se disponía de nombre para los reactores. Se barajó como nombre el de los “divinos mellizos” de la mitología griega, Castor y Pólux (dos de los argonautas), pero estos nombres no gustaron en Bilbao, que optó por ARBI (acrónimo de ARGonaut de BILLbao). En Barcelona se mantuvo la referencia mitológica y se optó por Argos (en referencia al constructor de Argo, barco de los Argonautas).

41. “Sesión plenaria de la Cámara Oficial de la Industria”. *La Vanguardia Española*, 04/11/1960, p. 20.

42. Francisco Albisu se había formado en el MIT y había seguido el primer curso de energía nuclear impartido por la JEN.

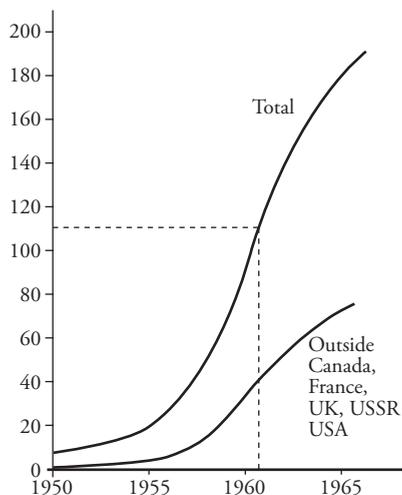


Figura 6. Número de reactores experimentales en el mundo.

Fuente: OIEA (1966) *Annual Report of The Board of Governors to the General Conference*.

La JEN pretendía lograr un alto grado de desarrollo nacional en el proyecto, pero esto no resultaba sencillo. Para cuando estos reactores se hicieron críticos, en el mundo había menos de cuarenta reactores en operación, aparte de los construidos en las potencias pioneras (la inmensa mayoría en EE.UU.), España contaría con tres, el JEN-1 y los dos Argonaut. Para conseguirlo se hubo de afrontar problemas hasta entonces no resueltos en España: por una parte, la producción de grafito de la calidad necesaria, por otra la producción de los elementos combustibles.

El grafito es una particular cristalización del carbono, del cual existen yacimientos en estado natural. No obstante, lo habitual en la industria es su fabricación a través de la aplicación de altas temperaturas al coque de petróleo. Su dureza permite que pueda ser mecanizado como si se tratase de un metal.

El proyecto necesitaba una importante cantidad de grafito, en torno a las quince toneladas, que debía ser mecanizado hasta conseguir piezas de alta precisión y pureza. Las opciones que se plantearon fueron bien la compra del grafito ya mecanizado, bien adquirir la materia prima para su mecanización en las instalaciones de la JEN [MÉNDEZ PEÑALOSA *et al.*, 1960]. La diferencia en precio resultaba importante, pudiendo llegar a representar el diez por ciento del montante total del proyecto, por lo que se optó por su mecanizado en España. La materia prima se importó de Alemania.

Las dificultades de esta operación eran importantes debido a los problemas de control de la contaminación en el proceso de fabricación como, de forma anecdótica, relataba en prensa el anteriormente mencionado Miguel Masrera, que citaba los problemas que causaban

cantidades mínimas de detergentes en ropa o, incluso, dentífricos de los operarios por su contenido en perborato⁴³. Los resultados, no obstante, fueron satisfactorios, superando en calidad incluso a los suministrados por General Electric para el JEN-1.

En lo que se refiere al combustible, España no tenía capacidad de enriquecimiento que le permitiese disponer del uranio enriquecido al 20%. La cuestión estribaba en si hacer el acopio directamente en forma de óxido de uranio (U_3O_8) o de hexafluoruro de uranio (UF_6). Interesados en realizar la mayor parte del proceso en España cara a futuros proyectos, la JEN optó por acopiar el uranio en forma de hexafluoruro para hacer la transformación a óxido en España.

A pesar de las dificultades iniciales, las investigaciones que se llevaron a cabo por la JEN desde 1959, utilizando tetra-fluoruro de uranio no enriquecido, permitieron lograr la conversión del hexafluoruro en febrero de 1960⁴⁴. El combustible enriquecido no llegó hasta mediados de ese año debido a las retenciones americanas que veían riesgo de proliferación por ser la cantidad demandada superior a sus previsiones. El exceso de uranio solicitado, que llegaba en régimen de alquiler, lo justificaba la JEN por el bajo rendimiento del proceso de transformación del hexafluoruro.

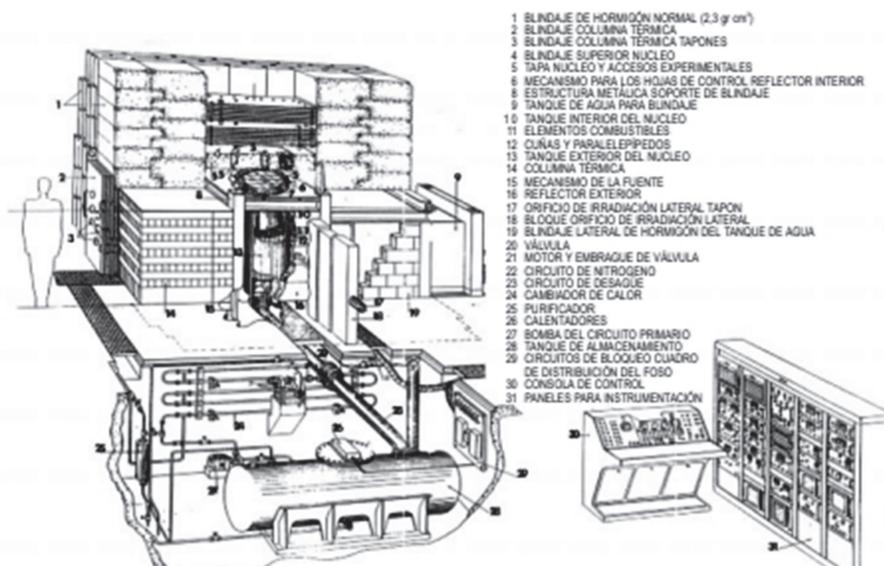


Figura 7. Sección vertical del reactor y sistema de refrigeración.

Fuente: ORTIZ GUTIÉRREZ [1997, p. 18].

43. MASRIERA (1961) "La primera pila atómica barcelonesa". *La Vanguardia Española*, 19/07/1961, p. 9.

44. La revista trimestral de la JEN, *Energía Nuclear*, documentó en alguno de sus números estos trabajos de investigación. Véase GUILLÉN GALBAN y DARNAUDE ROJAS-MARCOS [1961] y DEL VAL CID *et al.* [1962].

Los elementos combustibles consistían en cajas, cada una de las cuales estaba compuesta por un conjunto de diecisiete placas, formadas por una mezcla de polvo de aluminio y óxido de uranio (U_3O_8), unidas por un pasador y colocadas entre cuñas de grafito. Dentro del revestimiento de aluminio de las placas había unos veinte gramos de U-235 en forma de dióxido en dispersión de aluminio [BERGUA *et al.*, 1962]. De los tres métodos explorados para la fabricación de los elementos –colada y laminación, enmarcación y extrusión– se optó finalmente por el de enmarcación.

Adicionalmente a la decisión sobre mecanizado del grafito y la transformación del hexafluoruro en España, la opción de maximización de la parte española en el proyecto incluía también el acopio nacional de una parte importante de la instrumentación electrónica y de los cableados, consola de control y paneles para instrumentos. La factura en dólares se reducía con esta opción en un 55% [FERNÁNDEZ PALOMERO *et al.*, 1959, p. 37].

El reactor se montó en los laboratorios de Moncloa de la JEN, con un blindaje exterior constituido por 40 toneladas de hormigón en bloques (frente a las 120 que debería tener en su instalación definitiva) y se llevó a criticidad el lunes diecisiete de julio de 1961 en Barcelona, un par de meses antes de lo previsto.



Figura 8. Montaje previo de un reactor tipo Argonaut en las instalaciones de la JEN hacia 1960.
Fuente: CARO *et al.* [1995, p. 155].

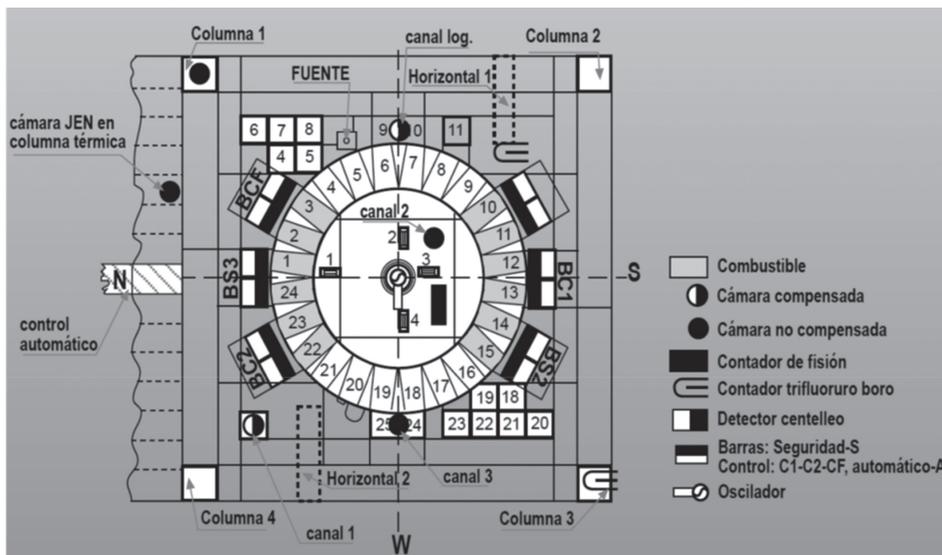


Figura 9. Sección horizontal de la parte superior del núcleo del reactor con doble carga de combustible. Fuente: ORTIZ GUTIÉRREZ [1997, p. 17].

Listo para su traslado a Barcelona, adquirió relevancia el problema de la ubicación. El edificio donde estaba previsto que se alojase el reactor no estaba concluido, por ello hubo de retrasarse el traslado hasta el día siete de mayo de 1961. Dos días después se iniciaban los trabajos de montaje con la presión de conseguir que este reactor fuese inaugurado en Barcelona antes que su gemelo en Bilbao. La prensa local daba cuenta de los trabajos de montaje, insistiendo en que era el segundo reactor nuclear en entrar en funcionamiento en España (después del JEN-1) y el interés de la Escuela de Ingenieros por “emprender un vasto plan de colaboración con la industria catalana”⁴⁵.

Constructivamente, el reactor se instaló en el pabellón C del nuevo edificio de la Escuela de Ingenieros Industriales, edificado en terrenos cedidos por la Universidad de Barcelona en la avenida Diagonal de esa ciudad. El reactor se encontraba situado en tres zonas diferenciadas situadas en un área común. Los bloques y placas de hormigón de diferente tamaño que configuraban el blindaje, así como el blindaje especial de la tapa del núcleo, se situaban a nivel de suelo. También a ese nivel se encontraba el reactor (núcleo y reflectores) y los diferentes elementos para control y experimentación, así como sus blindajes. Finalmente, a un nivel inferior se encontraba el circuito de refrigeración, incluyendo tanques y sistema de purificación del agua de refrigeración.

45. “Instalación del reactor atómico experimental en la Escuela de Ingenieros Industriales”. *La Vanguardia Española*, 17/05/1962, p. 65.

La inauguración, el lunes once de julio de 1961, fue presidida por el ministro de Industria, Joaquín Planell, con la presencia de numerosas autoridades y miembros de la JEN⁴⁶. En el discurso inaugural del director de la escuela, Damián Aragonés, se destacó que contadas universidades en Europa disponían de un reactor similar: dos en Inglaterra y en Alemania, uno en Francia, uno en Italia y dos en España (Argos y ARBI)⁴⁷.

El coste del proyecto, que la JEN facturó a la COI fue de algo más de 4,5 millones de pesetas, a lo que hay que añadir otros costes derivados de la instalación del reactor en Barcelona, sufragados directamente por la Cámara de Industria. La cifra total superaba los cinco millones presupuestados, por lo que la Cámara hubo de dotar una ampliación al presupuesto inicial de un millón de pesetas adicionales [BARCA SALOM, 2002, pp. 294-296], alcanzando un coste total de alrededor de 6 millones de pesetas [ORTIZ GUTIÉRREZ, 1997, p. 17].

6. OPERACIÓN Y CLAUSURA

A pesar de su inauguración unos meses antes, Argos no contó con el preceptivo permiso provisional de la JEN hasta el dieciséis de enero de 1963, una vez concluido el necesario informe de seguridad el mes de diciembre anterior. En enero de 1964 todavía se autorizaban obras en los pabellones A y B del edificio, cuyas aulas no quedarían operativas hasta el curso 1964-65. No obstante, las prácticas en el reactor comenzaron en el segundo semestre del curso 1962-63.

El seis de marzo de 1964, el reactor obtuvo una prórroga del permiso de explotación mientras que continuaba con su actividad docente y experimental. En sus primeros cinco cursos, desde el inicio de su actividad hasta el curso 1966-67, funcionó un total de 145 días y, aunque la potencia de diseño era de 10 kW térmicos, operó a una potencia de 100 W, con máximos de 1 kW, debido a las características del blindaje del reactor y a los niveles de flujo neutrónico permitidos en la sala de control [ORTIZ GUTIÉRREZ, 1997, p. 17].

La autorización previa para la construcción de Vandellós I en abril de 1967 y la necesidad aparejada de formación de técnicos supuso un incremento de la actividad del reactor en el curso 1967/68, en el que el reactor operó durante 117 días, y en los inmediatamente posteriores, años en que a la actividad normal del reactor se añadieron las tareas formativas para los trabajadores contratados por HIFRENSA para la explotación de Vandellós I. No obstante, esta actividad fue decayendo los años siguiente hasta el curso 1974-75, el último de su actividad formativa.

En total, se mantuvo en operación durante trece cursos académicos (desde el 1962-63 al 1974-75) funcionando un total de 477 días, alcanzando 696 criticidades y un grado de quemado de 2,7 kWh⁴⁸. Permitió la formación de unos quinientos estudiantes.

46. "Inauguración del reactor 'Argos' de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales". *La Vanguardia Española*, 12/06/1962, p. 25.

47. "Discurso leído por el Sr. Director en el acto de inauguración del reactor". AEI-FT, Caja 00355.

48. ORTEGA *et al.* [2002, p. 8].

Las razones para el desigual rendimiento del reactor Argos, a pesar del entusiasmo en su construcción y de las expectativas que había despertado, hay que buscarla en el sistema de gestión basado en subvenciones hasta fecha muy tardía –la escuela, concebida en sus inicios principalmente como centro de formación, no disponía de presupuesto necesario para investigación, no incluyó desde el principio el reactor en su patrimonio y no se hizo cargo del coste de su mantenimiento–. Por otra parte, las nuevas exigencias de cobertura de riesgos, le obligaban a cubrir la responsabilidad civil al mismo nivel que un reactor de potencia, debido a que la ley de energía nuclear no incluyó cláusulas específicas para los reactores de investigación.

El profesor Xavier Ortega, director del Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Barcelona, declaraba a la prensa en junio de 1984⁴⁹, tras nueve años de inactividad del reactor, que para la continuidad del reactor se precisaba una financiación de 60 millones de pesetas⁵⁰.

En 1987, siguiendo las recomendaciones del Consejo de Seguridad Nuclear, se iniciaron los estudios para proceder a la clausura de la instalación. En 1992 se retiró el combustible del reactor y fue enviado a Gran Bretaña para su reprocesamiento⁵¹. En enero de 1996 la británica UKAEA reprocesó el combustible, notificando la recuperación de 18.297 gramos de uranio de los cuales 3.949 gramos eran del isótopo U-235. El uranio recuperado en forma de óxido no era aprovechable salvo para la fabricación de elementos combustibles destinados a reactores experimentales de baja potencia, en esas fechas ya inexistentes en España, por lo que se acordó su venta, junto al uranio recuperado del ARBI, a la empresa NUKEM al precio total de 15.000 \$⁵².

En 1998 el Consejo de Seguridad Nuclear aprobó el plan de desmantelamiento presentado por la universidad, institución que sería la responsable de las actividades de desmantelamiento⁵³.

Las actividades de desmantelamiento se iniciaron el treinta de noviembre de 2001. Supusieron la retirada de 153,5 toneladas, de las cuales 133,6 t eran de cemento y 8,8 t de grafito. Los trabajos duraron un total de veinticinco días y supusieron un coste directo de unos 80.000 € [ORTEGA *et al.*, 2002]. Los equipos de control del reactor se donaron al museo de la ciencia y la técnica de Tarrasa, el cemento, una vez comprobada su inocuidad, se utilizó en el espigón del puerto de Barcelona. El bajo nivel de quemado del núcleo había

49. MILAGRO, José María “El reactor nuclear Argos en parada indefinida desde hace ya nueve años”. *La Vanguardia*, 30/06/1984, p. 21.

50. Importe próximo, en pesetas constantes, al coste de construcción inicial.

51. Resoluciones de la Dirección General de la Energía de 18 de febrero y 12 de mayo de 1992 autorizaban a ENRESA a la firma de un contrato con la *United Kingdom Atomic Energy Authority* para reprocesar el combustible del reactor y transportarlo al Reino Unido.

52. Del ARBI se recuperaron en total 8.322 gramos de uranio, 2.078 de ellos U-235.

53. Orden de 20 de abril de 1998 por la que se otorga a la Universidad Politécnica de Cataluña autorización para la ejecución de las actividades de desmantelamiento del reactor experimental “Argos”. *BOE*, de 13/05/1998, p. 16.010.

tenido como consecuencia que la carga radiológica de los materiales fuese mínima. La clausura definitiva del reactor fue declarada por el Ministerio de Economía, previo informe favorable del CSN, el veintitrés de diciembre de 2003⁵⁴, quedando la ubicación disponible sin restricciones de uso.

El Laboratorios de Ensayos e Investigaciones Industriales (LABEIN) de la Universidad de Bilbao, titular de su reactor gemelo, ARBI, que había estado operando también entre los años 1962 y 1974, presentó el proyecto de desmantelamiento en julio de 2000. El desmantelamiento fue autorizado en mayo del 2002⁵⁵ y autorizada su clausura tres años más tarde.

7. CONCLUSIONES

La construcción del reactor nuclear Argos en Barcelona fue el resultado de un interés creciente en la energía nuclear por parte de la comunidad académica y empresarial de Barcelona, especialmente después del discurso de Dwight D. Eisenhower sobre “Átomos para la Paz” en 1953.

El esfuerzo en la formación de técnicos por parte de la JEN y el apoyo financiero (y social) de la Cámara Oficial de Industria de Barcelona permitieron dotar a la escuela de ingenieros de un prototipo de reactor experimental que jugó un importante papel en la formación de los ingenieros que participaron en el posterior proyecto de Vandellós I.

Los artículos publicados en la revista de la JEN, *Energía Nuclear*, en los meses posteriores a la realización del proyecto, algunos de cuyos análisis se han recuperado en este trabajo, así como esquemas publicados en la revista *Nuclear España*, permiten comprender la naturaleza y dificultad de la tarea que se acometió.

Su construcción permitió también una participación nacional importante (en aquellas fechas), tomando parte directa en la mecanización del grafito, en el diseño y manufactura del combustible y en la fabricación de equipos de control.

El bajo nivel de quemado del núcleo en el momento de su clausura supuso una muy baja carga radiológica en los materiales, lo que permitió un rápido desmantelamiento y una pronta liberación del espacio que ocupó.

FUENTES ARCHIVÍSTICAS

Archivo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB), Cátedra “Ferrán Tallada” (AEI-FT).

Hemeroteca *Boletín Oficial del Estado*.

Hemeroteca diario *La Vanguardia*.

54. Orden ECO/3864/2003, de 23 de diciembre, por la que se declara la clausura del reactor nuclear experimental ARGOS de la Universidad Politécnica de Cataluña. *BOE*, de 22/01/2004, pp. 2.791-2.792.

55. Orden ECO/1312/2002, de 14 de mayo, por la que se otorga a los Laboratorios de Ensayos e Investigaciones Industriales (LABEIN) autorización de desmantelamiento del reactor experimental ARBI. *BOE*, de 5/06/2002, pp. 20.228-20.229.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMSTRONG, R.H.; KOLB, W.L. y LENNOX, D.H. (1957) *Engineering, Construction and Cost of the Argonaut Reactor*. Chicago. Report from Argonne National Laboratory (ANL-5704).
- BARCA SALOM, FRANCISCO XAVIER (2000) "La política nuclear espanyola: el caso del reactor nuclear Argos". *Quaderns d'història de l'enginyeria*, 4, 12-44.
- BARCA SALOM, FRANCISCO XAVIER (2002) *Els inicis de l'enginyeria nuclear a Barcelona*. [Tesis Doctoral]. Director: Guillermo Lusa Monforte. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- BERGUA, Helios; FORNÉS, A.; GERBOLÉS, G.; REDONDO, J. y DE LAS RIVAS, A. (1962) "Fabricación de los elementos combustibles del reactor Argos I y II". *Energía Nuclear*, 21, 95-104.
- CARO, Rafael; LÓPEZ RODRÍGUEZ, Manuel y VIGHI, Francisco (coords.) (1995) *Historia nuclear de España*. Madrid, Sociedad Nuclear Española.
- COLINO LÓPEZ, ANTONIO (1998) "Entrevista". *Nuclear España*, 176, 3-4.
- CREPI GONZÁLEZ, Alicia; ALONSO SANTOS, Agustín; FAURE BENITO, R. y ROCHER VACA, R. (1958) "Instalaciones del reactor". *Energía Nuclear*, 8, 32-51.
- DEL VAL CID, J.L.; RENGIFE VEGA, J.M. y CLEMENTE CASADO, J.M. (1962) "Descripción y funcionamiento de una instalación de obtención de U₃O₈ a partir de hexafluoruro de uranio enriquecido al 20%". *Energía Nuclear*, 21, 71-78.
- DÍAZ DÍAZ, J. y MAROTO MUÑOZ, J. (1962) "Instalaciones para para la fabricación de elementos combustibles de los reactores Argos I y II". *Energía Nuclear*, 21, 113-122.
- FERNÁNDEZ PALOMERO, Carlos; ÁLVAREZ DEL BUERGO, Luis y SOSTOA ESQUIROZ, Fernando (1959) "Descripción y coste de construcción en España de un reactor tipo Argonaut". *Energía Nuclear*, 10, 18-37.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, Adolfo (2021) "Condiciones técnicas que definen el desarrollo de un proyecto nuclear". En: Faustino Acosta Ortega (coord.) *Desarrollo de la industria nuclear en España. Contexto y retos empresariales*. Madrid, Sociedad Nuclear Española, 15-38.
- GUILLÉN GALBAN, J.M. y DARNAUDE ROJAS-MARCOS, N. (1961) "Obtención de hexafluoruro de uranio a partir de tetrafluoruro utilizando flúor como agente de fluoración". *Energía Nuclear*, 19, 4-11.
- JIMÉNEZ REYNALDO, Óscar (1958) "El reactor". *Energía Nuclear*, 8, 21-31.
- LENNOX, D.H. y SPINGRAD, B.I. (1956) *A Generalized Reactor Facility for Nuclear Technology Training and Research*. Chicago, Report from Argonne National Laboratory (ANL-5552).
- LÓPEZ RODRÍGUEZ, Manuel (1962) "Etapa de investigación y desarrollo en la fabricación de los elementos de combustible para los reactores Argos I y II". *Energía Nuclear*, 21, 87-94.
- MÉNDEZ, Rodrigo; ORTIZ DE LA TORRE, Jaime Luis y OTERO DE LA GÁNDARA, José Luis (1960) "Grafito para reactores". *Energía Nuclear*, 15, 44-62.
- ORTEGA, Xavier; TAPIA, Carlos y DUCH, María Amor (2002) "Decommissioning of an Argonaut Type Reactor at the Technical University of Catalonia in Barcelona (Spain)". En: *Towards harmonization of radiation protection in Europe*. European IRPA Congress 2002, Florence, Italy, October 2002: proceedings, 8-11
- ORTIZ GUTIÉRREZ, S. Javier (1997) "Desmantelamiento de reactores de investigación. El reactor Argos". *Nuclear España*, 165, 16-19.
- SOLER FERRAN, Pablo (2017) *El inicio de la ciencia nuclear en España*. Madrid, Sociedad Nuclear Española.