

# Historia de la evolución técnica de los reactores nucleares de agua a presión

## *History of the technical evolution of pressurized water nuclear reactors*

**Pablo Fernández Arias<sup>(1)</sup>, Ana Cuevas<sup>(1)</sup> y Diego Vergara<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad de Salamanca, <sup>(2)</sup> Universidad Católica de Ávila  
pablofernarias@usal.es

Fecha de aceptación definitiva: 09-03-2015

### **Resumen**

El complejo sistema técnico que forma un reactor nuclear es un interesante caso desde la perspectiva de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Dentro de las diferentes variantes que han sido diseñadas a lo largo de la historia, la variante *pressurized water reactor* (PWR) ha sido la más implantada alrededor del mundo. Para acometer el estudio de su evolución técnica se

### **Abstract**

*The complex technical system forming a nuclear reactor is an interesting case from the perspective of Studies Science, Technology and Society. Among the different variants that were designed along the history, the most implemented variant has been the pressurized water reactor (PWR). To undertake the study of its technical evolution, an evolutionary perspective*

desarrolla una perspectiva «combinada» de los enfoques utilizados tradicionalmente en la Historia y la Sociología de la Tecnología: (i) el *determinismo tecnológico*, para estudiar la evolución autónoma de la tecnología en su etapa de desarrollo (en la década de los cincuenta); (ii) el *constructivismo social*, para una etapa posterior de influencia social (en la década de los setenta); y (iii) el *enfoque de sistemas*, en una etapa de transición entre las dos anteriores, para analizar factores políticos, económicos y también para abrir la caja negra del diseño PWR.

**Palabras claves:** Historia y Sociología de la Tecnología; artefacto; reactor de agua a presión.

*approach is developed within the History and Sociology of Technology: (i) the technological determinism, to study the autonomous evolution of technology in its development stage (in the fifties); (ii) the social constructivism, to study the later stage of social influence (in the seventies); and (iii) the systems approach, in a stage of transition between the two previous stages, to analyze political and economic factors, as well as to open the black box of PWR design.*

**Key words:** *History and Sociology of Technology; artefact; pressurized water reactor.*

## 1. Introducción

En el momento actual, donde la tecnología evoluciona de una forma tan rápida que el impacto que ésta tiene en la sociedad es efímero; y donde existe tal multitud de *artefactos* que provoca que el que hoy aparece como el más avanzado del mercado mañana pase a ser sencillamente chatarra tecnológica, resulta ser el marco perfecto para echar la vista atrás y analizar, desde los Estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad, cómo surgieron y evolucionaron la técnica y el conocimiento científico para dar lugar a los principales desarrollos tecnológicos a lo largo de la historia en áreas técnicas como la generación de energía eléctrica, las telecomunicaciones o la informática, entre muchas otras.

En la primera de estas áreas (tecnología de generación de energía eléctrica), el cambio está siendo radical, las energías renovables -eólica, solar, biomasa, etc.- se posicionan como una opción ya no de futuro, sino de presente, mientras que las energías tradicionales procedentes de combustibles

fósiles pierden su papel principal en los sistemas energéticos de los países más industrializados. Por otro lado, la energía nuclear, fundamental en los sistemas energéticos de países como Francia, Alemania o Estados Unidos, frena su desarrollo y explotación, salvo en países como Brasil, China, Argentina, etc. En palabras del economista y sociólogo alemán Herman Scheer: «nos encontramos actualmente en una fase híbrida de convivencia, no pacífica, entre las energías convencionales mayoritarias (como son las procedentes de los combustibles fósiles y la energía nuclear) y las energías renovables emergentes» (Cornejo, 2011, 55).

La energía nuclear se ha visto desplazada de su posición preferente en el sistema energético de varios países debido a la influencia de factores políticos, económicos, incluso técnicos, pero hay un factor diferenciador con respecto al resto de fuentes de generación eléctrica que ha podido jugar un papel fundamental en este desplazamiento: la elevada controversia social que ha existido y existe alrededor de su desarrollo y explotación. Un ejemplo reciente de esta controversia social surgió en Alemania tras el accidente de la central nuclear japonesa de Fukushima, en marzo de 2011. Alrededor del país se reavivó el debate nuclear y se revivió la era de las protestas antinucleares. En las elecciones electorales tras el accidente, el partido verde arrebató a los demócrata-cristianos el bastión de Baden-Württemberg. Finalmente, el gobierno alemán cerró este debate -abierto con anterioridad al accidente- tomando la decisión de cerrar sus centrales nucleares antes del año 2022.

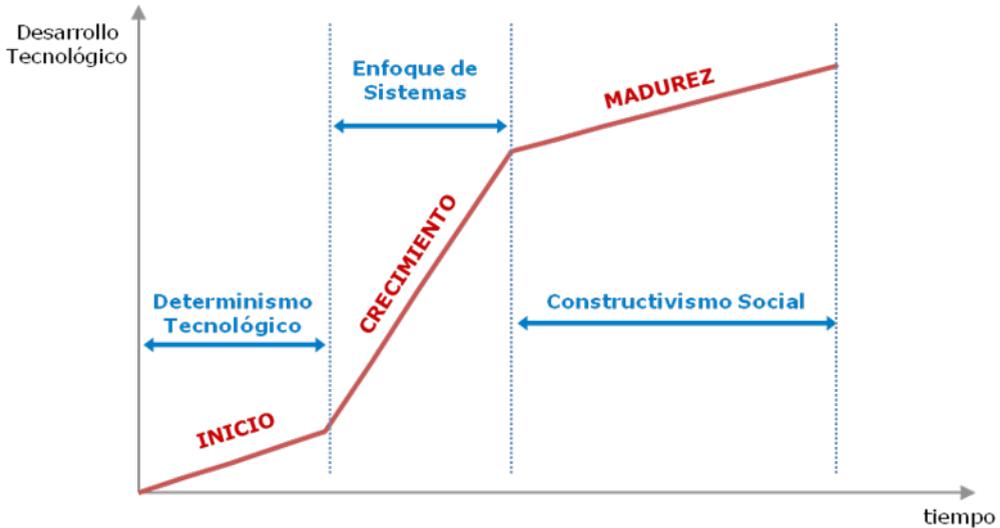
La controversia social alrededor de la energía nuclear data de la segunda mitad del pasado siglo y fue consecuencia de diversos factores y momentos históricos, entre los cuales se encuentran: (i) el lanzamiento de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki en 1945; (ii) el apoyo gubernamental con el que temporalmente contó la energía nuclear; (iii) el desarrollo de una gran industria además de multitud de organismos reguladores cuyos objetivos eran fomentar la investigación y el desarrollo de la energía nuclear; (iv) la gestación y posterior crecimiento de un movimiento social a favor de la protección del medio ambiente y del ecologismo antinuclear; (v) la aparición de una sociedad de riesgo, debido al aumento de la preocupación social en cuanto al riesgo, la incertidumbre y el desconocimiento que suponía cualquier sistema técnico relacionado con la energía nuclear, o lo que en un palabra se denominó como *radiofobia*; (vi) la crisis del petróleo de 1973, y (vii) el accidente de la central nuclear de Three Mile Island en 1979.

Dejando a un lado la controversia social alrededor de la energía nuclear en la segunda mitad del pasado siglo, si se tienen en cuenta factores técnicos, políticos, militares, estratégicos, económicos, etc., aparece una estructura perfecta para poder estudiar la evolución histórica de la energía nuclear como tecnología de generación de energía eléctrica desde la perspectiva de la historia de la tecnología. Sin embargo, en este momento en el que es necesario precisar el enfoque con el que estudiar la evolución técnica de los reactores nucleares de agua a presión en el período comprendido entre su gestación, en las décadas de los cuarenta y cincuenta, hasta el comienzo de una etapa de estancamiento en su desarrollo, en la década de los ochenta, aparecen las siguientes hipótesis: (i) en este período histórico hubo un punto de inflexión en la evolución técnica de dicho diseño de reactor nuclear en el que la influencia social adquirió un rol tan determinante que llegó a influir en su diseño y construcción; y (ii) el estudio de la evolución técnica de este diseño necesita la utilización de varios enfoques dentro de la perspectiva de los Estudios CTS.

Expresado de otra forma, ha podido existir un periodo de construcción social de la aplicación tecnológica de la energía nuclear como fuente de generación eléctrica, en la que diversos grupos sociales relevantes han podido influir en su desarrollo, encontrando problemas y aceptando soluciones, hasta desarrollar diferentes mecanismos de estabilización del sistema técnico. ¿Por qué no se pueden aplicar varios enfoques para estudiar la evolución histórica de una tecnología, si esta pudo evolucionar en paralelo a los mismos?

Haciendo un pequeño símil con la gráfica del ciclo de vida de un producto en el mercado económico –el cual se introduce, crece, madura e incluso sufre un declive–, el desarrollo tecnológico puede iniciarse sin tener influencia de factores que no sean el conocimiento científico y la técnica, como un proceso autónomo, lo cual encajaría dentro del clásico enfoque del determinismo tecnológico (*Etapa de Inicio*, Gráfico 1). Posteriormente, comienzan a influir factores políticos y económicos en el desarrollo tecnológico, sin dejar de lado los factores técnicos, situación que podría ser estudiada desde la perspectiva del enfoque de sistemas (*Etapa de Crecimiento*, Gráfico 1). Y por último, la tecnología comienza a recibir influencia de la sociedad, y a la inversa, esta comienza a influir en la sociedad (*Etapa de Madurez*, Gráfico 1), lo que encajaría con la nueva sociología de la tecnología, en la que tecnología y sociedad se *co-producen* continuamente (Aibar, 1996, 163). Por ello, en esta última etapa puede existir un proceso de influencia social de la tecnología a estudiar desde la perspectiva del constructivismo social.

Gráfico 1.  
Evolución del desarrollo tecnológico frente al enfoque a utilizar para su estudio



Además de esta evolución en paralelo de la tecnología y de los enfoques utilizados dentro de la historia y la sociología de la tecnología, pueden incluso existir casos en los que a la hora de estudiar un momento concreto de la evolución técnica de una tecnológica sea difícil hacerlo con un único enfoque, ya que puede ser necesario aplicar temporalmente varios al mismo tiempo. Por ejemplo, el constructivismo social puede ser el mejor enfoque para estudiar la influencia social de la tecnología, y así ha quedado de manifiesto en varios estudios como el de la evolución técnica de las bicicletas (Pinch y Bijker, 1987), pero si se trata de un artefacto mucho más complejo, de nada sirve si no se utiliza la perspectiva del enfoque de sistemas para abrir *la caja negra* que el mismo supone.

De igual modo puede ocurrir con el determinismo tecnológico, que en algún momento del estudio desde esta perspectiva exista una influencia social y sea necesario aplicar temporalmente la sociología de la tecnología. También puede darse que utilizando el determinismo tecnológico el artefacto sea tan complejo que fuese necesario utilizar momentáneamente la perspectiva del enfoque de sistemas para entender su evolución autónoma y alejada de la sociedad.

## 2. Factores determinantes para estudiar los reactores nucleares de agua a presión

La investigación y desarrollo de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica conllevó en la década de los cincuenta la aparición de los primeros prototipos de reactores nucleares, denominados reactores de Primera Generación, y posteriormente la aparición de los diseños de reactores nucleares de Segunda Generación, denominados también reactores comerciales, cuyos sistemas técnicos variaban para conseguir el mismo objetivo: la obtención de energía eléctrica a partir del proceso de fisión de los neutrones. Dentro de esta amplia flexibilidad interpretativa –característica del constructivismo social– del diseño del reactor nuclear, existían evidentes diferencias técnicas. Entre los diseños de reactores nucleares que utilizaban agua ligera tanto de moderador –encargado de reducir la energía de los neutrones que surgen tras el proceso de fisión– como de refrigerante –cuya función es refrigerar los elementos combustibles–, se encuentran el reactor de agua de ebullición, conocido habitualmente como BWR, del término inglés *Boiling Water Reactor* y el reactor estudiado en este artículo, el reactor de agua a presión, del término inglés *Pressurized Water Reactor*, conocido habitualmente como PWR. Por otro lado está el diseño de reactor que utiliza el grafito como moderador y el gas como refrigerante, desarrollado en diferentes diseños en función del gas que utiliza y que se conoce como GCR, del término en inglés *Gas Cooled Reactor*. Más aún no hay que dejar de lado variantes de los diseños originales, como fueron la variación del diseño PWR en la que se incorporó agua pesada –dióxido de deuterio,  $D_2O$ – como moderador y refrigerante, y que dio lugar al diseño de reactor de agua pesada a presión, en inglés *Pressurized Heavy Water Reactor*, también conocido por sus siglas PHWR o CANDU, por tratarse de un diseño de reactor nuclear desarrollado en Canadá y que utiliza Deuterio. Y el reactor RBMK, reactor ruso conocido por ser el diseño del fatídico accidente de Chernobyl, en 1986, que a diferencia de los reactores GCR, utilizaba agua ligera como refrigerante.

Sin embargo, dentro de esta flexibilidad interpretativa del sistema técnico reactor nuclear, existe una variante dominante por diversos motivos. Y es que en la historia de la evolución técnica del reactor nuclear ha existido un proceso de selección desde su origen, en el proyecto de construcción del primer submarino nuclear a cargo del Almirante Rickover, que eligió para el

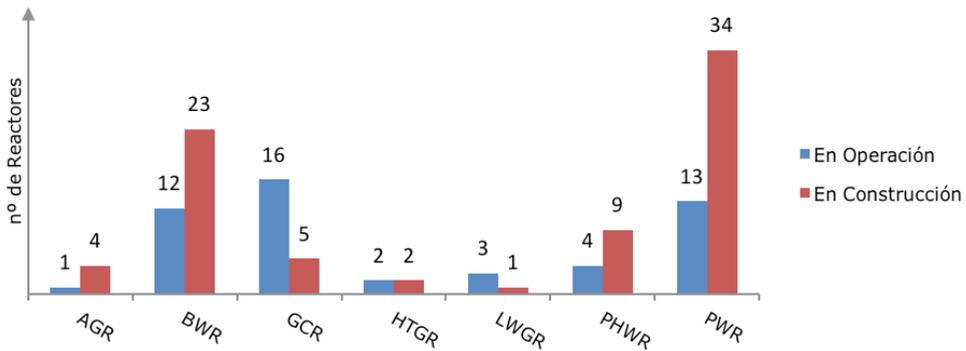
submarino Nautilus el diseño de reactor PWR, descartando así la otra opción, el reactor BWR de General Electric. Años más tarde, en 1957, se suministraban a la red eléctrica estadounidense los primeros megavatios de origen nuclear. Provenían de la central nuclear de Shippingport, cuyo reactor era también diseño PWR. Este reactor, más que por su capacidad de generación eléctrica será recordado por ser la demostración de que la aplicación tecnológica de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica era una opción real y no el sueño de unos cuantos. Este momento sería el que Thomas Hughes –el cual desarrolla el enfoque de sistemas en obras de referencia como *Networks of Power* (Hughes, 1983)– definiría como el *momentum tecnológico* del sistema sociotécnico, ya que surge a partir de la inversión de recursos económicos, habilidades prácticas y formas organizativas. Por tanto, no puede entenderse como un proceso natural o necesario (Aibar, 1996, 149).

Posteriormente, en el año 1968, en plena expansión del mercado nuclear, existían 61 reactores nucleares en operación (Gráfico 2) de los cuales 13 eran reactores PWR, lo que suponía aproximadamente el 20% de los reactores nucleares operativos. Otros diseños destacados eran los reactores de agua de ebullición BWR, con un total de 12 en operación y los reactores refrigerados por gas GCR construidos ya en 16 centrales nucleares. Estas tres tecnologías agrupaban en ese momento el 67% de los reactores nucleares operativos en el mundo (IAEA, 1968, 28-35).

En ese mismo año, 1968, el número de reactores nucleares que se encontraban en fase de construcción alrededor del mundo –ya fuera licenciamiento, construcción, pruebas nucleares o puesta en servicio– ascendía a 88 reactores y el diseño del reactor nuclear de agua a presión PWR sumaba 34 reactores en construcción (Gráfico 2). Este número era aproximadamente tres veces superior al número de reactores operativos de este diseño en ese año y aproximadamente el 40% de los reactores nucleares en construcción. Merece la pena destacar que de los 34 reactores PWR en construcción alrededor del mundo, 26 estaban siendo construidos en los Estados Unidos.

## Gráfico 2.

### Reactores nucleares en operación y construcción en 1968. (IAEA, 1968)



El diseño BWR de General Electric había aumentado su mercado, con 23 reactores en construcción alrededor del mundo –16 de ellos en los Estados Unidos– mientras que los reactores GCR habían sufrido una reducción en la fase de diseño y construcción si se compara con el número de reactores que tenían operativos en ese mismo año. Sólo se encontraban en fase de construcción 5 reactores GCR en Europa: 3 de ellos en Francia, 1 en España y el último en el Reino Unido. Este descenso en la construcción de reactores refrigerados por gas GCR pudo ser debido a la evolución técnica del diseño original, que fue el reactor avanzado refrigerado por gas, en inglés *advanced gas cooled reactor*, cuyas siglas son ACR, el cual sí había sufrido un pequeño aumento en su implantación, con 4 reactores en fase de construcción, todos ellos en el Reino Unido. El tercer diseño en incrementar su capacidad de construcción fue el diseño canadiense de reactor de agua pesada a presión PHWR, del cual se estaban construyendo 9 reactores en el mundo: 1 en Argentina, 3 en India, 1 en Pakistán y 4 en su país de origen, Canadá.

En plena expansión comercial de los reactores nucleares para la generación de energía eléctrica no existía por tanto una tecnología con una posición aventajada dentro de la carrera nuclear, ya que existían más de diez diseños diferentes de reactores nucleares. Sin embargo, comienza a existir un pequeño grupo de variantes de reactor nuclear con un mayor grado de implantación. Por un lado, en una posición más aventajada se encontraban el diseño de reactor de agua a presión PWR y el reactor de agua en ebullición BWR, mientras que el diseño de reactor PHWR de agua pesada presurizada

comenzaba a alcanzar una posición aventajada ante tanta variedad. Mientras, el diseño de reactor refrigerado por gas GCR luchaba por no descolgarse del grupo de diseños más implantados en el mundo con el desarrollo de un nuevo diseño.

Esa posición más aventajada de los diseños BWR y PWR en 1968 se ha mantenido en el tiempo si se compara con el número de reactores nucleares en operación en el mundo en el año 2010, incluso ha aumentado considerablemente para el diseño PWR, ya que el 66% de los reactores nucleares operativos –más de 260 reactores– tenían este diseño, el diseño BWR se posiciona en segundo lugar con más de 90 reactores, lo que suponía el 22% de los 440 en operación, mientras que el diseño PHWR mantenía la tercera posición con el 6% de los reactores nucleares operativos y el resto de diseños –entre ellos el GCR– sólo alcanzaban el 6% de los reactores nucleares operativos (WNA, 2011; IAEA, 2011, 76-77), lo que mantiene la tendencia descendente que ya se apreciaba en el año 1968. A la vista de estos datos, resulta interesante analizar qué factores técnicos, políticos, económicos, sociales, etc., pudieron influir en esta posición aventajada a lo largo de la historia del diseño PWR.

Dejando a un lado los diferentes grados de implantación de las variantes de reactor nuclear y realizando un estudio más exhaustivo del diseño más implantado en el mundo, el reactor nuclear PWR, aparece un segundo nivel de variantes técnicas, debido en parte a la aparición a lo largo de la historia de varios suministradores, que incluso se podían denominar competidores comerciales –Westinghouse, Combustion Engineering, Babcock & Wilcox, etc.– pero también debido a un proceso de variación, donde los diferentes componentes del sistema técnico tomaron distintas formas influenciados por factores técnicos (rendimiento, seguridad, disponibilidad), sociales (seguridad, impacto social y ambiental, riesgo), económicos (amortización y rentabilidad de la inversión), etc., con el objetivo de diseñar y seleccionar el reactor PWR más eficiente y seguro.

La segunda mitad del pasado Siglo es una etapa en la que los países industrializados invirtieron multitud de recursos humanos y económicos con el objetivo de conseguir el diseño PWR más eficiente y seguro. Aparecen variantes novedosas que rompen con todo lo anterior, como fue el diseño alemán de Kraftwerk Union, que rompió con la licencia original de Westinghouse y desarrolló en 1969 un diseño impresionante, el primer reactor nuclear del mundo que generó 1200 MWe, construido en 1975 en la central nuclear

de Biblis, Alemania (Rippon, 1984, 264). Pero en este proceso, aparece un factor interesante de analizar para comprender la técnica y el conocimiento científico que hay detrás de esta tecnología, y es el fallo o el fracaso de varias variantes técnicas del diseño original, que por diferentes factores, ya sean técnicos, sociales, normativos, económicos, etc., no consiguieron el grado de implantación deseado y fracasaron.

Los factores que hacen determinante el diseño del reactor nuclear PWR son los siguientes: (i) ser el diseño elegido en 1955 para la primera aplicación tecnológica de la energía nuclear, el submarino nuclear Nautilus; (ii) ser el diseño utilizado para el primer reactor nuclear de generación eléctrica; (iii) ser el diseño de reactor nuclear más utilizado en la historia; (iv) dar lugar a una industria con diversos competidores y diferentes diseños que competían por ser el diseño más eficiente y seguro del mercado; (v) generar diferentes procesos de variación y selección entre sus diseños; (vi) dar lugar a modelos novedosos, que rompían con el diseño original, así como fracasos técnicos de los cuales aprender.

Por todo esto el reactor de agua a presión, PWR, será estudiado desde la perspectiva histórica de la tecnología y se comprobará si en su diseño en la segunda mitad del pasado Siglo hubo influencia social desde la perspectiva del constructivismo social.

### 3. Identificar los componentes del sistema técnico PWR

Llega el momento de identificar los componentes del sistema técnico que constituye el diseño PWR a estudiar. En primer lugar es necesario identificar los componentes que lo hacen diferente al resto, ya que teniendo en cuenta la magnitud y complejidad del artefacto, así como la elevada diversidad de variantes técnicas del diseño PWR, no es relevante estudiar los componentes del sistema técnico que son similares al que forman el resto de variantes.

En segundo lugar, tomando como referencia a uno de los autores fundamentales de la historia de la tecnología, Walter G. Vincenti, en su estudio de la evolución técnica del diseño de los trenes de aterrizaje para las aeronaves estadounidenses de la década de los treinta (Vincenti, 2000), como ejemplo de variación-selección de un diseño dentro de un colectivo o comunidad, el autor señala y estudia esta parte del sistema técnico que forma el avión argumentando que en otras el resultado de variación-selección técnica no

es tan evidente, como por ejemplo en el caso de las hélices, los flaps y las estructuras metálicas.

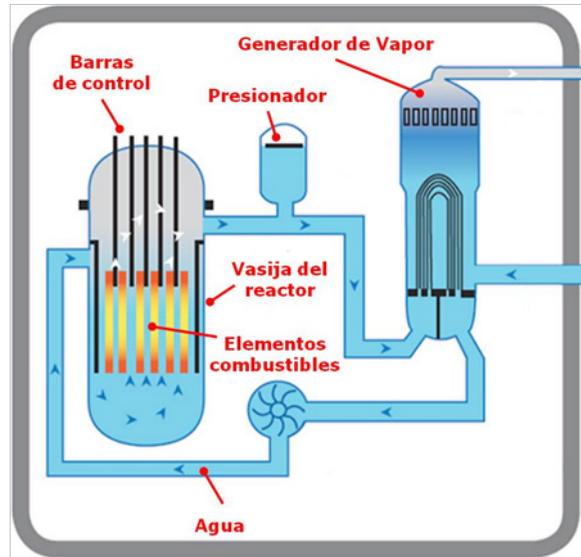
Por último, Vincenti relaciona la evolución creciente de la velocidad alcanzada por los posteriores diseños de aeronaves con el aumento de la preocupación de los ingenieros por la resistencia aerodinámica del tren de aterrizaje, lo que hizo que el tren retráctil –una de las dos variantes técnicas posibles– prevaleciera en el tiempo como solución. Así, teniendo en cuenta factores técnicos como la velocidad y la resistencia aerodinámica, el autor visualiza un caso de determinismo tecnológico (Vincenti, 2000, 186).

Con estos argumentos, se desarrollan a continuación tres criterios para identificar los componentes del sistema técnico PWR a estudiar: (i) que sean diferentes al resto de variantes; (ii) que hayan sufrido un proceso destacable de variación y selección; (iii) que *a priori* parezca más evidente que hayan generado casos de determinismo tecnológico y constructivismo social.

Siguiendo estos criterios, se identifican los siguientes componentes del sistema técnico PWR a estudiar (Gráfico 3): (i) el *agua*: por su utilización como refrigerante y moderador, desde la perspectiva combinada de los enfoques desarrollada anteriormente –primero determinismo tecnológico, a continuación enfoque de sistemas y finalmente constructivismo social–, porque únicamente los reactores BWR utilizan este recurso, pero con otras condiciones operacionales; (ii) la *vasija del reactor*: ningún otro diseño de la Segunda Generación cuenta con un diseño similar de vasija cilíndrica a presión, desde la misma perspectiva combinada de los enfoques; (iii) los *componentes internos*: diseñados en el interior de la vasija del reactor –elementos combustibles, sistemas de control e instrumentación, etc.–, porque *a priori* se puede identificar un caso de determinismo tecnológico; (iv) los *generadores de vapor*: porque salvo los reactores PHWR ningún otro diseño cuenta con una barrera de separación entre el circuito primario y el vapor que es enviado a la turbina, en cuyo diseño ha podido existir una influencia social a estudiar desde la perspectiva del constructivismo social; (v) el *presionador*: por su diseño como sistema para controlar la presión y la temperatura del sistema refrigerante del reactor, porque ninguna otra variante de reactor nuclear cuenta con este componente y además porque al igual que ocurre con el generador de vapor, su evolución técnica ha podido conllevar un proceso de co-producción con la sociedad.

### Gráfico 3.

*Diagrama simplificado de un reactor PWR, en el que se identifican las partes a estudiar*



## 4. El origen del reactor PWR

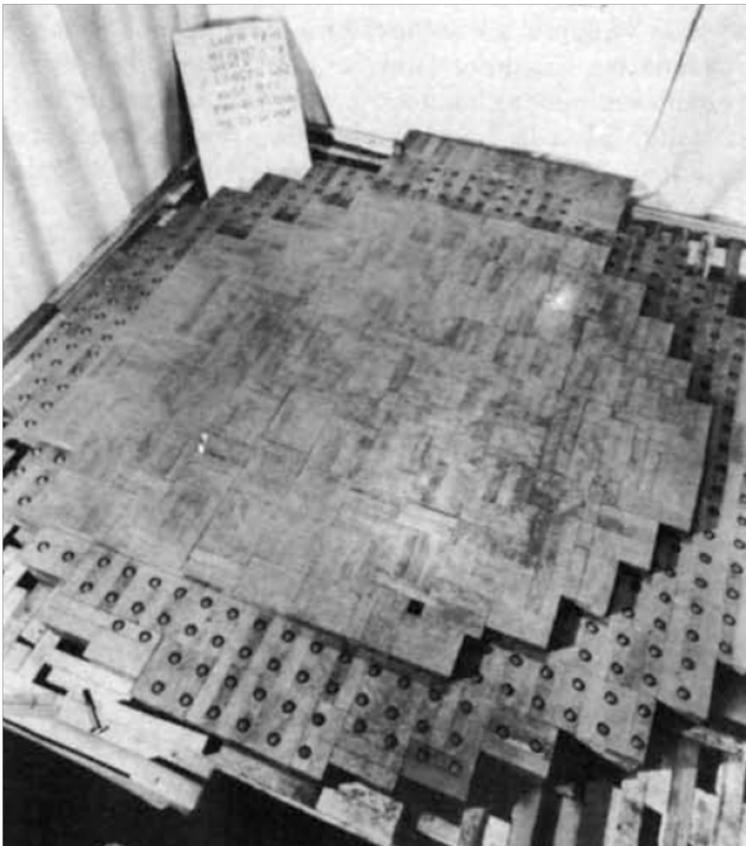
### 4.1. Los comienzos del reactor nuclear

El primer reactor nuclear del mundo fue la pila CP-1 de grafito y uranio (Gráfico 4), que construyó Enrico Fermi en la Universidad de Chicago en 1942, bajo el patrocinio del Proyecto Manhattan. Aún cuando la producción de energía no era la única razón de existencia de estos reactores, el conocimiento obtenido en su diseño, construcción y funcionamiento resultó útil para la industria de la energía nuclear (Basalla, 2011, 198). Su construcción comenzó en Chicago en noviembre del mismo año. Los cálculos iniciales acerca del tamaño crítico de la pila fueron muy prudentes. Como medida complementaria de precaución se decidió encerrar el reactor en una envoltura de tela de globo en la que pudiera hacerse el vacío, para evitar así

que el aire capturara neutrones. La envoltura fue fabricada por la *Goodyear Tire and Rubber Company*. Las normas de seguridad prohibían informar a la compañía del objeto al que se destinaba la envoltura, por lo que el globo cuadrado del ejército fue el tema de múltiples comentarios (Allardice y Trapnell, 1946, 48).

#### Gráfico 4.

*Fotografía donde se aprecian las características básicas de la construcción de la pila CP-1, consistente en capas alternadas de grafito con uranio metálico o con óxido de uranio, separadas por capas de grafito puro. (Allardice y Trapnell, 1946, 46)*



En los años siguientes al lanzamiento de la bomba atómica sobre Hiroshima, los divulgadores científicos escribieron con anhelo acerca de un paraíso atómico libre de enfermedades, pobreza y malestar. Periodistas y portavoces gubernamentales prometían la posibilidad de conseguir todo esto si la humanidad abandonaba los usos militares de la energía nuclear y se aplicaba al uso pacífico de esta energía. Contrariamente a los sueños populares, la situación política de posguerra exigió que el uso militar de la energía atómica gobernase en solitario, una situación que transcurrió paralela a los comienzos de la guerra fría. Sin embargo, no puede atribuirse sólo a las tensiones Este-Oeste la postergación del paraíso atómico. Los reactores no habían avanzado hasta el punto de poder producir de forma segura y eficaz energía eléctrica. Además, había dudas de que se dispusiese de suficientes cantidades de uranio para alimentar grandes reactores (Basalla, 2011, 199).

## 4.2. *El diseño militar del reactor nuclear*

La solución a este problema vino, y sólo podía venir, de un proyecto militar en marcha. En este caso, se trataba de un programa bajo el patrocinio de la armada norteamericana. Mientras que el ejército gastaba millones de dólares en la producción de armas nucleares, la armada no había tenido la oportunidad de entrar en la era atómica. Tan pronto se declaró la paz, la armada, decidida a no ser superada por una armada rival, volvió su atención a la energía nuclear como medio de propulsión de naves de superficie y submarinas. Al oficial de ingeniería Rickover que en 1947 puso en marcha el programa de submarino nuclear de la armada, se le pidió que adoptase una decisión crítica en 1950 (Basalla, 2011, 200).

Westinghouse y General Electric desarrollaron sistemas rivales, aunque ambos utilizaban uranio altamente enriquecido para lograr una mayor eficiencia del ciclo, pero General Electric adoptó el sodio como refrigerante, en lugar de agua ligera, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en el ciclo. Ambos reactores funcionaban perfectamente en los dos primeros submarinos nucleares, Nautilus y Sea Wolf (Rippon, 1984, 259). Cada uno de los sistemas tenía sus ventajas e inconvenientes y ninguno de ellos se había probado ampliamente. Después de todo, la tecnología del reactor tenía tan sólo unos pocos años de vida (Basalla, 2011, 200). Tras investigar

minuciosamente las opciones disponibles, Rickover seleccionó un reactor que utilizaba agua convencional como refrigerante y moderador. La responsabilidad de su construcción se asignó a la Westinghouse Corporation de Pittsburgh, Pennsylvania.

La elección era conservadora y fue adoptada por un ingeniero que sabía que se disponía de más datos técnicos sobre el agua que sobre algunos de los refrigerantes más exóticos y de mayores conocimientos tecnológicos de transferencia hidráulica para calderas de vapor, turbinas, etc. La decisión de Rickover tuvo un éxito espectacular. El 17 de enero de 1955 se ponía en funcionamiento el Nautilus, que superó todos los récords de navegación submarina (Basalla, 2011, 201). El reactor nuclear del Nautilus era el más simple de la época, lo cual favoreció la construcción de una gran flota de submarinos de propulsión nuclear por parte de Westinghouse, General Electric y otros dos contratistas: Babcock & Wilcox y Combustion Engineering (Rippon, 1984, 259).

### 4.3. Shippingport: ¿el primer pwr de uso civil?

Una vez superada la fase de desarrollo de una flota de submarinos de propulsión nuclear, parecía más fácil aumentar esta flota con el desarrollo de multitud de embarcaciones con propulsión nuclear. La propulsión nuclear de grandes barcos de superficie, especialmente portaaviones, también pasó a ser una prioridad de la armada. La armada eligió un reactor de agua ligera para su futuro portaaviones nuclear y Rickover, en colaboración con Westinghouse, como fabricante del reactor y la Duquesne Light Company de Pittsburgh, diseñó los planos para el primer reactor nuclear comercial de Norteamérica. La Duquesne Light Company fue elegida debido a la oferta que realizó incluyendo el terreno para construir el reactor -en el río Ohio, en Shippingport, Pennsylvania-, la turbina y cinco millones de dólares para la investigación y desarrollo de la tecnología (Pope *et al*, 1980).

La central nuclear de Shippingport tuvo una importancia decisiva en la configuración de la industria de energía nuclear en las décadas venideras. Su reactor sirvió de prototipo a los posteriores construidos y utilizados en los Estados Unidos y a los exportados por compañías norteamericanas. Shippingport utilizó un reactor de agua ligera, como también lo hicieron la

mayoría de las plantas a partir de entonces (Basalla, 2011, 202). Aunque el reactor fue construido por Westinghouse, en realidad no se trataba de un prototipo del posterior reactor PWR, ya que bajo la dirección del Almirante Rickover, el reactor había sido convertido en una demostración de reactor rápido de torio, en inglés *light wáter reactor breeder*, denominado LWRB (Rippon, 1984, 260). Por tanto, se trata de una modificación del diseño original pero que después fue utilizado como ejemplo de implantación del mismo, ya que diferentes intereses -económicos, políticos, etc.- podían estar detrás de su éxito.

Debido a que la tecnología era nueva y poco conocida por el público, algunas personas temían la energía atómica. Las tres importantes empresas que participaban en el proyecto: Reactores Navales, Westinghouse Electric Corporation y Duquesne Light Company, explicaron pacientemente en apariciones ante diversos grupos y a través de los medios de comunicación, que todas las medidas de seguridad posibles fueron tomadas para reducir al mínimo la posibilidad de escape de radiación. Señalaron que la diferencia entre Shippingport y una central de carbón convencional, de fuel o de gas, era la fuente de calor, ya que éste se proporciona gracias a la fisión nuclear, del mismo modo que en las centrales eléctricas convencionales el calor se genera por la reacción química del carbón o el gas con el oxígeno (Pope *et al*, 1980). Aparecen en este momento las primeras transferencias de información entre la comunidad científico-tecnológica y la sociedad.

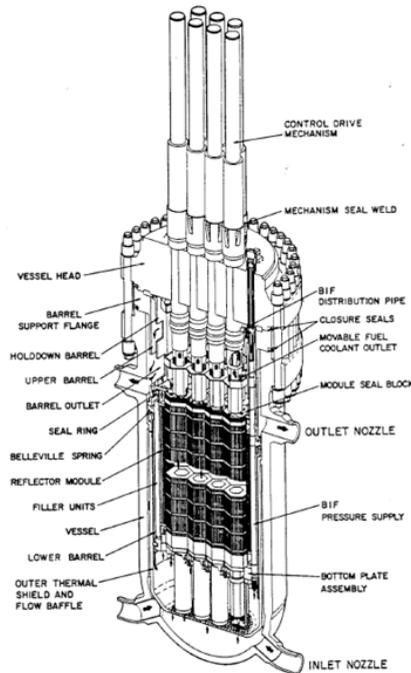
El reactor PWR de la central nuclear de Shippingport consistió en dos partes principales: (i) un sistema primario formado por cuatro lazos en los cuales se almacenaba el agua utilizada como refrigerante; (ii) un sistema secundario separado por cuatro generadores de vapor, que contenía otro tipo de agua completamente aislada del reactor y que transfería el calor en forma de vapor para ser utilizado en una turbina de vapor, a la cual estaba acoplada un generador eléctrico (Pope *et al*, 1980).

El reactor contenía suficiente combustible fisionable para formar una masa crítica capaz de mantener una reacción nuclear en cadena, la cual se pudo iniciar, detener y controlar por medio de 32 barras de control, realizadas en Cadmio, que al insertar en el reactor eran capaces de absorber todos los neutrones parando la reacción en cadena y por tanto bajar la potencia (Pope *et al*, 1980). Una de las características más importantes del reactor de Shippingport era que tenía un coeficiente de temperatura del moderador

negativo, lo cual significa que el reactor por sí mismo tendía a mantener el nivel de potencia en un valor establecido.

La vasija del reactor tenía un tamaño de 33 pies de alto y 9 metros de diámetro y un espesor de pared nominal de 8-7/8 pulgadas (Olson *et al*, 2002, 2-5). En la parte superior se apoyaba la brida superior (Gráfico 5), que servía también como punto de entrada de los diversos tipos de instrumentación básica, y la tubería de inyección de seguridad. La brida de soporte se fijaba en su posición con unos pernos de 6 pulgadas de diámetro. El primer núcleo fue un montaje de placas y varillas dispuestas en forma de cilindro, con un tamaño de 6 pies de alto y 7 pies de diámetro. Las barras de combustible eran tubos huecos de aleación de circonio llenas de pastillas de óxido de uranio natural.

Gráfico 5.  
*Vasija del reactor LWRB utilizado en Shippingport*  
(Olson *et al.*, 2002, 2-5)



## 5. La expansión del diseño PWR

### 5.1. *El comienzo de la expansión de un mercado internacional*

La conexión entre la energía nuclear y los objetivos militares desapareció al comienzo de la década de los sesenta, cuando los reactores civiles comenzaban a ser más grandes y sofisticados que los existentes en las plantas militares. Por otro lado, los reactores nucleares civiles eran el producto más caro que alguien alguna vez había tratado de vender. Ambos factores: la sofisticación y la inversión, hicieron que Westinghouse y General Electric, con sus diseños PWR y BWR, respectivamente, dieran un paso al frente ofreciendo plantas nucleares completas a un precio fijo bajo contrato en llave. Esta decisión supuso elevadas pérdidas económicas en los primeros proyectos, pero estableció las bases de un mercado con un producto más o menos estable. Probablemente, el crecimiento exponencial que sufría la demanda eléctrica en Estados Unidos, las dudas que comenzaban a tener un gran número de empresas privadas acerca del consumo de petróleo y gas para la producción de electricidad y un nuevo movimiento social a favor de la protección del medio ambiente, exigiendo un aire más limpio fueron factores que favorecieron el negocio de ambas compañías.

En un principio, los otros dos vendedores de reactores PWR, Babcock & Wilcox y Combustion Engineering lucharon con la misma técnica utilizada por sus otros dos competidores, contratos llave en mano, pero fue una lucha tímida, ya que no consiguieron el mismo éxito. Ambas empresas eran, después de todo, los principales proveedores de calderas convencionales y podían compartir el éxito de Westinghouse y General Electric, suministrando los principales componentes, en particular las vasijas de presión del reactor. Sin embargo, con la llegada de los contratos no en mano, ambas empresas entraron en el mercado. Incluso con cuatro empresas vendedoras de reactores nucleares, aún había buenas perspectivas para el mercado, con el desarrollo de aproximadamente doscientos reactores nucleares. Es por tanto apreciable como las buenas expectativas comerciales, al igual que la aparición de nuevos contratos para la instalación de un reactor nuclear PWR favorecieron el desarrollo de un mercado nacional competitivo, con cuatro posibles suministradores que trataban de posicionarse (Rippon, 1984, 261).

## 5.2. Evolución de la variante pwr

El crecimiento en la potencia eléctrica generada por el diseño PWR a lo largo de este tiempo es fruto en primer lugar de las variaciones en cuanto al número de circuitos primarios utilizados: los primeros reactores PWR tenían un único circuito de refrigerante primario, progresivamente el diseño evolucionó a dos y tres circuitos, para finalmente diseñarse reactores nucleares PWR con cuatro lazos de circuito primario. Pero también ese crecimiento en la potencia eléctrica generada es debido a modificaciones realizadas en los diseños de generadores de vapor y las vasijas de presión del reactor. Otras modificaciones en el diseño que favorecieron la seguridad y el crecimiento en la potencia eléctrica generada fueron: (i) la sustitución de las primeras barras de control y la incorporación de elementos combustibles que permitían guiar por su interior una barra de control con forma de araña; (ii) el uso de un sistema de control químico, que controla la inyección o eliminación de boro en el refrigerante para compensar los cambios de reactividad en el núcleo. Con el tiempo esto supondría la eliminación de la necesidad de hacer un ajuste fino de las barras de control para este propósito; (iii) la sustitución de las bombas de gran capacidad y alta inercia para la circulación forzada del primario por las primeras bombas enlatadas, situadas dentro de la envolvente de alta presión, que incorporaban el control fugas de refrigerante y ofreciendo siempre la interrupción de su función si las fuentes de alimentación fueran interrumpidas (Rippon, 1984, 262).

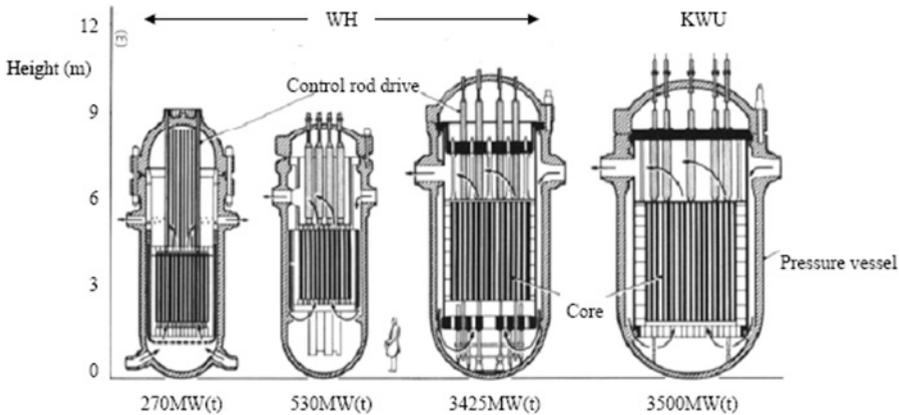
## 5.3. Diferencias técnicas en los principales componentes del sistema técnico pwr

En todas las variantes de reactores nucleares tiene una gran importancia el diseño tanto del combustible nuclear (Gráfico 7) como de la vasija de presión (Gráfico 6), ya que ambos influyen directamente en el rendimiento del diseño. Del mismo modo, los cambios que se han realizado en el diseño a lo largo de este tiempo tenían principalmente el objetivo de satisfacer las demandas de aumento de los márgenes de seguridad así como de la mejora de la eficiencia energética. La demanda de mejores márgenes de seguridad surgieron en los EE.UU. a principios de 1970, para la adecuación

de la refrigeración de emergencia del núcleo en los grandes reactores desde 900 a 1200 MWe.

## Gráfico 6.

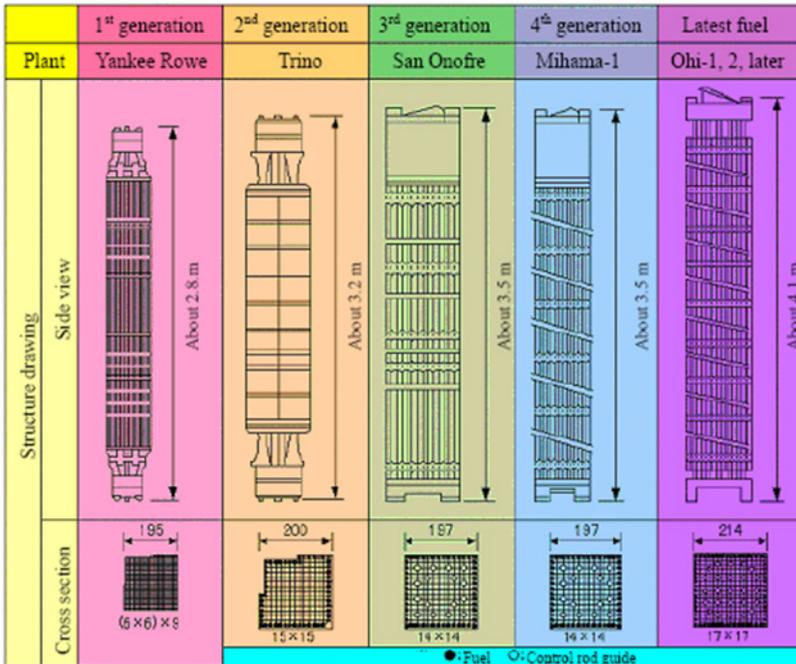
### *Evolución del diseño de la vasija de los reactores PWR*



Esta sugerencia se basaba en que la potencia máxima y el tamaño de los reactores habían aumentado exponencialmente para lograr un mayor rendimiento económico en los reactores comerciales. El resultado fue la utilización de elementos combustibles dispuestos en rejillas de 17x17 elementos combustibles, con varillas de menor diámetro, que sustituían a las anteriores matrices de 15x15, lo cual originó la disminución de los picos de potencia pero un aumento de la eficiencia energética del diseño, ya que generaba la misma producción eléctrica sin la necesidad de aumentar el tamaño del núcleo del reactor. Otro desarrollo fundamental en la evolución del diseño fue la presurización interna de las varillas de combustible y el mayor uso de Zircaloy para las estructuras de soporte de los elementos combustibles así como en las varillas. Ya en estos momentos, en Alemania y Francia se estudiaba la utilización de elementos combustibles ligeramente más largos -desde 3,75 hasta 4,25 metros- con el fin de obtener más energía sin aumentar el diámetro del reactor núcleo, y por tanto el tamaño de la vasija del reactor (Rippon, 1984, 262).

## Gráfico 7.

### *Evolución del diseño de los elementos combustibles*



En el caso de los generadores de vapor, varios criterios han sido adoptados por los proveedores del diseño PWR. Se trata además de un artefacto donde se han encontrado varios problemas operacionales. Todos los reactores PWR hacen uso del generador de vapor denominado carcasa-tubos, donde el refrigerante primario fluye dentro de un gran banco de tubos y en la parte exterior, lado carcasa, se produce la ebullición del agua procedente del circuito secundario. La configuración más familiar es la disposición de tubos en U invertida (Gráfico 8a), que permite la circulación natural a través de los tubos del refrigerante primario y que en la parte superior cuenta con separadores de vapor. Este es el diseño adoptado por Westinghouse y licenciarios en muchos países. La compañía Combustion Engineering, optó sin embargo por un diseño de generador de vapor similar al de Westinghouse, pero de mayor tamaño, lo que daba lugar a la implantación de dos circuitos de refrigerante primario para una potencia eléctrica de 1000 MWe, mientras

que el diseño original necesitaba cuatro circuitos de refrigerante primario para obtener esa misma potencia eléctrica. Un diseño alternativo de generador de vapor fue adoptado por Babcock y Wilcox (Gráfico 8b), que utiliza tubos rectos. Este diseño ofrecía más eficiencia de generación de vapor, pero con un pequeño inventario de agua ofrece menos amortiguación entre los circuitos primario y secundario, una característica que, aunque ciertamente no fue la causa del accidente de Three Mile Island, pudo influir en la cadena de acontecimientos (Rippon, 1984, 263).

Gráfico 8a.

*Generador de Vapor Westinghouse  
(Glasstone y Sesonske, 1994, 768)*

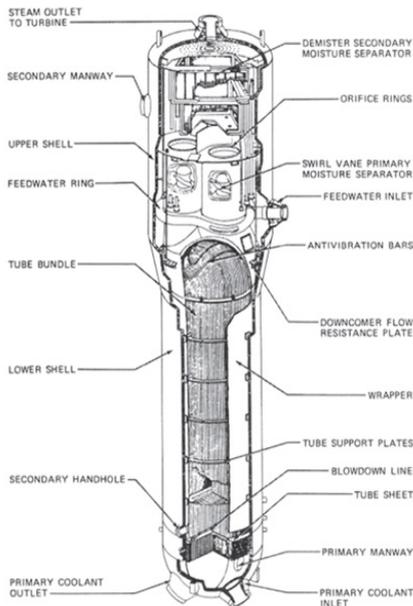
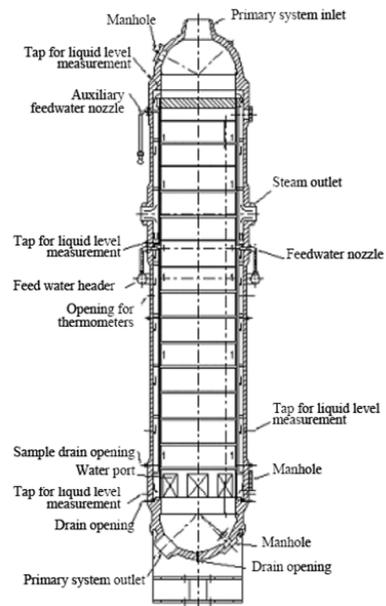


Gráfico 8b.

*Generador de Vapor de  
Babcock & Wilcox*



## 6. Discusión

### 6.1. La evolución determinista del diseño pwr antes de los sesenta

El origen del rechazo social a la energía nuclear tuvo lugar tras el único ejemplo concreto del uso de la energía nuclear sin restricciones que el mundo ha conocido: las bombas atómicas utilizadas contra Japón en los últimos días de la Segunda Guerra Mundial. Esta ansiedad del público hacia el átomo se vio agravada posteriormente por los esfuerzos de Albert Einstein y su Comité de Emergencia por educar al pueblo estadounidense acerca de la naturaleza de las armas nucleares y la guerra nuclear (Herbest y Hopley, 2007, 14).

En las primeras décadas de desarrollo de la tecnología, el discurso de «Átomos para la paz» del Presidente Eisenhower y atractivos titulares como: «la electricidad demasiado barata para medirla», acuñado en 1954 por Lewis Strauss -jefe de la Comisión de la Energía Atómica- trataban de vincular su desarrollo con el progreso social, el crecimiento económico y la mejora del nivel de vida. Con una demanda eléctrica en los Estados Unidos aumentando exponencialmente, la energía nuclear era clave para el futuro del país.

Desde que en 1957 entrara en operación el primer reactor nuclear, de diseño PWR, en la central nuclear de Shippingport, el crecimiento del desarrollo tecnológico en este diseño fue, al igual que el de la euforia nuclear, exponencial. La relación entre intereses políticos, estratégicos o militares así como económicos, fue la seña de identidad en los primeros años de desarrollo de los reactores nucleares PWR, en los cuales la relación social con el avance tecnológico era inexistente. Los reactores nucleares PWR avanzaron de forma autónoma sin influencia de otros actores sociales que no fueran la comunidad científica, política y militar. Todas estas características de la primera etapa de desarrollo, hasta finales de la década de los cincuenta, encajaría dentro de la primera etapa (*Etapa de Inicio*, Gráfico 1) de la perspectiva combinada de los enfoques tradicionalmente utilizados en la Historia y la Sociología de la Tecnología desarrollada anteriormente, donde la tecnología evoluciona de manera independiente a la sociedad y toman un papel fundamental factores como la diversidad, la continuidad, la novedad y la selección.

## 6.2. La etapa de transición entre los sesenta y los setenta, de la historia a la sociología de la tecnología

Para poder desarrollar la primera etapa de desarrollo de los reactores PWR desde la perspectiva clásica del enfoque del determinismo tecnológico, es necesario entender en primer lugar el sistema técnico, con todos sus componentes, tomando como referencia la mínima expresión del mismo, el artefacto, abriendo la caja negra que supone el diseño del reactor PWR. Del mismo modo, no se puede estudiar la construcción social que ha podido existir en el diseño de un reactor PWR si no se estudian los diferentes artefactos que forman el sistema técnico, para poder identificar a continuación los principales actores sociales involucrados en esta construcción. Por todo lo desarrollado anteriormente, es necesario establecer un marco de referencia para su estudio como es el enfoque de sistemas, en el cual se realiza un estudio exhaustivo del artefacto, teniendo en cuenta factores no sólo técnicos, sino también políticos y económicos.

Incluso, esta perspectiva del enfoque de sistemas es correcta para estudiar la etapa de transición entre la determinista y la constructivista, es decir, entre la etapa de evolución autónoma (*Etapa de Inicio*, Gráfico 1) y la etapa de co-producción de la tecnología (*Etapa de Madurez*, Gráfico 1), ya que al igual que ocurrió en la evolución de los enfoques utilizados en la historia de la tecnología, el enfoque de sistemas es un punto de inflexión en ella, o más bien la puerta de acceso a la sociología de la tecnología.

En 1968 existían en el mundo 61 reactores nucleares en operación, de los cuales aproximadamente el 20% eran PWR y en ese mismo año, de los 88 reactores nucleares que se encontraban en construcción en el mundo 34 eran reactores nucleares PWR. Este número de reactores era aproximadamente tres veces superior al número de reactores operativos ese mismo año y aproximadamente el 40% de los que se encontraban en construcción. Evidentemente, este crecimiento y desarrollo pudo en parte ser consecuencia de la existencia de un gran mercado potencial y competitivo, en el cual numerosos países comenzaban a elaborar e implantar programas de desarrollo de la energía nuclear para cubrir su demanda energética y tres empresas (Westinghouse, Combustion Engineering y Babcock & Wilcox) competían por posicionarse como la empresa de referencia en el diseño de los reactores nucleares PWR. Al igual que en otras tecnologías desarrolladas en el

pasado Siglo, los intereses económicos, políticos y militares se encontraban detrás del desarrollo de la tecnología de los reactores nucleares.

Existía una amplia diversidad de reactores PWR en esta primera época. Comenzaban a implantarse modificaciones en los principales componentes del sistema: vasija, elementos internos, generadores de vapor, presionador, etc. Pero se mantenía una cierta continuidad del diseño original en los diferentes diseños a medida que aumentaba el conocimiento y desarrollo de la tecnología. Como consecuencia de todas estas modificaciones y nuevos diseños, comenzaron a aparecer varias transformaciones o cambios del sistema técnico que dieron lugar a la novedad en el mismo, rompiendo con el diseño original y dando paso a la necesidad de realizar una selección del diseño más eficiente y seguro.

En la década de los sesenta y comienzos de los setenta la sociedad no estaba especialmente preocupada por el suministro energético, ya que era un momento en el que el precio del petróleo estaba estancado y el suministro era abundante (Herbest y Hopley, 2007, 15). Sin embargo, esta despreocupación social hacia el suministro energético cambió drásticamente en 1973 debido al embargo del petróleo árabe hacia los Estados Unidos, como resultado de la guerra de Yom Kippur. Como parte de su estrategia política en relación con la guerra de Yom Kippur, la Organización de Países Exportadores de Petróleo Árabes (OAPEC) –compuesta por un subconjunto de las naciones pertenecientes a la OPEC: Arabia Saudí, Irán, Iraq– deciden unilateralmente limitar las exportaciones de petróleo en un 25%, en particular a los Estados Unidos y los Países Bajos, y elevar los precios en un 17%, dejando el precio del barril de petróleo en 3,65 dólares (Herbest y Hopley, 2007, 15).

La decisión originó la aparición de una conciencia social en cuanto a la dependencia energética del país hacia el petróleo y también que el gobierno estadounidense presentara, con el objetivo de reducir el consumo energético, un par de medidas conservadoras como limitar la velocidad máxima en carreteras a 55 millas/hora y extender el horario de verano. La principal iniciativa legislativa en respuesta a esta crisis tuvo lugar en el Congreso, donde se aprobó la construcción de un oleoducto que suministraría al país dos millones de barriles de petróleo al día (Herbest y Hopley, 2007, 16). Tanto la subida del precio del barril, como las medidas impopulares aumentaron el respaldo social a los esfuerzos realizados por el Gobierno de los Estados Unidos para desarrollar la energía nuclear como la solución para conseguir la independencia energética del país.

Se inicia por tanto un periodo de coexistencia de etapas del desarrollo tecnológico. Por un lado, dentro de la perspectiva combinada desarrollada anteriormente se mantiene la etapa de transición que comenzó en la década de los sesenta (*Etapa de Crecimiento*, Gráfico 1), estudiada desde la perspectiva del enfoque de sistemas, en la que actúan diversos factores económicos –entre otros, una elevada expansión del mercado potencial de los reactores, aparición de un complicado entramado de diseños y empresas competidoras– a los que ahora se suman aún más factores políticos, ya que el Gobierno –presionado por la escasez de petróleo– ve en la energía nuclear la solución a su problema de abastecimiento energético. Este apoyo por parte del poder político favoreció claramente el desarrollo del diseño de las diferentes variantes de reactores nucleares y evidentemente al diseño PWR.

Por otro lado, comienza una etapa de construcción social, ya que en la sociedad, influida por las medidas negativas tomadas por el Gobierno, así como por el encarecimiento y escasez de los recursos energéticos tradicionales, comienzan a gestarse conciencias sociales preocupadas tanto por la responsabilidad civil de la tecnología y la protección del medio ambiente como por la dependencia energética. Son años en los que la tecnología se ve afectada por intereses similares a los de la etapa anterior -salvo el militar- y en los que diversos actores sociales comenzaron a influir y a verse influidos por la tecnología (*Etapa de Madurez*, Gráfico 1). Es la etapa de expansión de la política regulatoria hacia la energía nuclear, en la que comienza a alcanzarse cierta estabilidad en el diseño, en la que aparecen los primeros movimientos sociales antinucleares, en la que la sociedad desarrolla una percepción de los riesgos que supone la energía nuclear y en la que los medios de comunicación comienzan a debatir el tema nuclear.

### 6.3. *La década de los setenta, la construcción social del diseño*

#### *PWR*

El renovado interés por el desarrollo tecnológico de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica durante la década de los sesenta fue frenado a mediados de la década de los setenta por diversos grupos sociales, entre ellos los defensores del consumidor. Uno de sus representantes, Ralph Nader, mantenía que la industria se había convertido en

un poderoso grupo con un interés especial en crear la necesidad de la reforma energética. Estos defensores demandaban que la industria nuclear tuviera mayor responsabilidad pública. Aparece por tanto uno de los primeros ejemplos de demanda social de responsabilidad civil en lo que respectaba al desarrollo de la tecnología.

Al mismo tiempo, surge otro grupo social fundamental en la construcción social de la energía nuclear: los defensores del medio ambiente. Los ecologistas comenzaron a defender otras fuentes de energía como la solar, la hidráulica y la eólica. Al mismo tiempo otros grupos de interés cuestionaban la rentabilidad de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica. Estos hechos conllevaron la pérdida del respaldo social hacia la tecnología, pero esa pérdida de apoyo hacia la energía nuclear fue inexistente si se compara con el respaldo social que mantenía la tecnología al finalizar la década de los setenta. En este momento, teniendo en cuenta el constructivismo social (*Etapas de Madurez*, Gráfico 1), se puede afirmar que tecnología y sociedad se co-producen: no se trata de que los reactores nucleares PWR transforman la sociedad, ni tampoco que la sociedad transforma los diseños de reactores nucleares PWR, sino que es una época en la que el proceso de transformación o influencia es en doble sentido, es decir, ambos influyen y, a su vez, se ven influenciados por el otro.

En 1979 la energía nuclear recibió su golpe de gracia tras el Accidente de Three Mile Island. Ocurrió doce días después del estreno de la película *El Síndrome de China*, *The China Syndrome* (Herbest y Hopley, 2007, 16). Dirigida por James Bridges, es un claro ejemplo de sensibilización y creación de conciencias sociales desde el séptimo arte en contra del riesgo de la energía nuclear y su responsabilidad pública. Fue un éxito y el título en el nuevo eslogan del movimiento antinuclear. Basada en la posible fusión de un reactor estadounidense que podía atravesar la Tierra hasta llegar a sus antípodas, China. La película retrataba a la industria nuclear envuelta en secretismo y en una gestión incompetente, dando la impresión de que la tecnología necesaria para operar con seguridad las centrales nucleares tenía una gran probabilidad de operar fuera de control.

Tras el accidente, las cuestiones planteadas, como la responsabilidad pública y el riesgo de la tecnología se convirtieron en factores fundamentales a discutir en los medios de comunicación. En ellos, en los medios de comunicación, comenzó una tormenta de debates, artículos, programas, etc. acerca del accidente de Three Mile Island, sus consecuencias y los riesgos

que conllevaba el desarrollo de la energía nuclear. Un ejemplo de la reacción de los medios de comunicación a esta accidente fue el ilustrado el 9 de abril de 1979, en la portada de la revista Time (Herbest y Hopley, 2007, 17), con una fotografía de las torres de refrigeración de la central nuclear de Three Mile Island y sobre ellas el titular *Nuclear Nightmare*, Pesadilla Nuclear.

En el primer artículo de este número, aparecían las siguientes líneas: «En la oscuridad de la noche, las cuatro torres de refrigeración de 327 pies de altura y los dos edificios de contención abovedados de los reactores nucleares, eran apenas discernibles por encima de las tranquilas aguas del río Susquehanna, once kilómetros al suroeste de Harrisburg, Pensilvania. Dentro de la iluminada sala de control de la unidad 2 de la compañía Metropolitan Edison, los técnicos del turno de noche se enfrentaban a una tranquila e incluso aburrida vigilancia. De repente, a las 4:00 a.m., alarmas luminosas parpadearon en rojo en sus paneles de instrumentos. Una sirena activó una advertencia. En la jerga de la industria de energía nuclear, un evento se había producido. Era el principio del peor accidente en la historia de la producción de energía nuclear de los EE.UU., que puso en tela de juicio el futuro de la industria nuclear» (Time, 1979).

Con el accidente de Three Mile Island, el desarrollo tecnológico de la energía nuclear y evidentemente del diseño PWR se frenó. Fue la propia tecnología la que marcó principalmente este punto de inflexión en su implantación y desarrollo, eliminando el sueño de la abundancia de energía eléctrica barata y limpia, y dando lugar al comienzo de largos años de decadencia y al aumento de la radiofobia, que posicionaba aún más en contra de la energía nuclear a los actores sociales. Desde otro punto de vista más optimista, el accidente supuso el comienzo de una etapa posterior de desarrollo de reactores nucleares PWR centrada en el aumento de los niveles de seguridad de los diseños, con mayor interacción bidireccional entre los diferentes actores sociales y el desarrollo tecnológico. En esta etapa se llevó a cabo un profundo proceso de variación y selección de los diseños de reactores nucleares PWR más eficientes y seguros, hasta llegar a obtener, por diferentes mecanismos, la estabilización del sistema.

## 7. Conclusiones

Teniendo en cuenta la cantidad de componentes que constituyen el sistema técnico que forma un reactor nuclear, resulta interesante desarrollar un estudio exhaustivo de los reactores nucleares desde la perspectiva de los Estudios CTS. Dentro de las diferentes variantes de reactores que se han diseñado en todo el mundo a lo largo de estos últimos setenta años, el reactor nuclear de agua a presión, del inglés *pressurized water reactor* (PWR), ha sido el que más se ha implantado.

Ha quedado de manifiesto que para acometer el estudio de la evolución técnica del diseño del reactor nuclear PWR se necesita una perspectiva combinada de los enfoques utilizados tradicionalmente en la Historia y la Sociología de la Tecnología: (i) el *determinismo tecnológico*, para estudiar la evolución autónoma de la tecnología en su etapa de desarrollo (en la década de los cincuenta); (ii) el *constructivismo social*, para una etapa posterior de influencia social (en la década de los setenta); (iii) el *enfoque de sistemas*, en una etapa de transición entre las dos anteriores, para analizar factores políticos, económicos y también para abrir la caja negra del diseño PWR.

Del mismo modo, esta perspectiva combinada de los enfoques utilizados tradicionalmente en la Historia y la Sociología de la Tecnología puede ser válida no sólo para el estudio del diseño de reactor nuclear PWR, sino también de manera general para cualquier tipología de artefacto en el que, al igual que en un reactor nuclear PWR, existieron diferentes etapas durante su desarrollo tecnológico.

## 8. Bibliografía

- AIBAR, E. (1996): «La vida social de las Máquinas: orígenes, desarrollo y perspectivas actuales en la sociología de la Tecnología», *REIS*, 76, pp. 141-170.
- ALLARDICE, C. y TRAPNELL, E. R. (1946): «La primera pila atómica», *IAEA Bulletin*.
- BASALLA, G. (2011): *La evolución de la tecnología*, Barcelona, Editorial Crítica.
- BIJKER, W.; HUGHES, T. P. y PINCH, T. (1987): *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Society and History of Technology*, Cambridge, MIT Press.
- CORNEJO, M. (2011): «El suministro energético renovable 2.0: la revolución imperativa», *Revista ArtefaCToS*, 4, 1, pp. 53-65.

- GLASSTONE, S. y SESONSKE, A. (1994): *Nuclear Reactor Engineering: Reactor Systems Engineering Volume Two*, Dordrecht, Springer-Science+Business Media.
- HERBEST, A. M. y HOPLEY, G. W. (2007): *Nuclear Energy Now*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- HUGHES, T. P. (1983): *Networks of Power*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- IAEA (1968): «Power Reactor of the World», *IAEA Bulletin*, 11.
- IAEA (2011): «Nuclear Power Reactors in the World», *Reference data series*, 2.
- OLSON, G. L.; MCCARDELL, R. K. e ILLUM, D. B. (2002): *Fuel Summary Report: Shippingport Light Water Breeder Reactor*, Idaho, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory Bechtel.
- POPE, J. T.; CURRAN, T. R.; ERMEC, J. J.; SCHAFFER, S. G.; ZWIEP, D. N.; JCURRAN, J. J. y TAILOR, J. J. (1980): «Shippingport Atomic Power Station», *National Historic Mechanical Engineering Landmark*.
- TIME (1979): «Three Mile Island: Nuclear Nightmare», *Magazine Time*, 113, 15.
- RIPPON, S. (1984): «History of the PWR and its worldwide development», *Energy Policy*, September 1984, pp. 259-265.
- WALKER, J. S. (2004): *Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective*, California, University of California Press.
- WNA (2011): *Nuclear power reactor characteristics. WNA Pocket Guide*, London, WNA.