

que constituyen contribuciones interesantes a los estudios sobre instrumentos, sobre las ciencias desde el fin de la Segunda Guerra Mundial y sobre casos españoles de repercusión nacional e internacional. Todos abren caminos sugerentes a análisis e investigaciones aún por hacer.

Nuestro agradecimiento se extiende a Kluwer Academic Publishers, que posee los derechos del artículo de Hans-Jörg Rheinberger cuya versión española se reproduce aquí y que los cedió para este volumen con el apoyo del autor. En el Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid hemos encontrado la amabilidad y el criterio académico que han permitido la edición de este libro.

SOBRE LA NO NEUTRALIDAD DE LOS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS

José Ferreirós y Javier Ordóñez

1. DE LA MISERIA DEL TEORETICISMO

Sobre la filosofía de la ciencia de la segunda mitad del siglo XX ha pesado el apotegma de Novalis *Las teorías son redes: sólo quien lance recogerá*. Desde que K. Popper lo grabó en el frontispicio de su obra *La lógica de la investigación científica*¹ se convirtió casi en el mejor destilado de sus tesis. Toda la filosofía de la ciencia posterior ha debido esquivar las consecuencias de tal imperativo romántico, pero sólo lo ha logrado a partir de la década de los sesenta. En primer lugar, el filósofo y el historiador han debido plantearse *liberar* el experimento de la cautividad de la teoría. Puede parecer banal decir que la actividad científica es el resultado de una alquimia compleja donde intervienen al menos dos ingredientes, la experimentación y la teoría. Pero incluso eso tan elemental ha sido distorsionado en la tradición teoreticista.

Efectivamente, la tradición teoreticista ha intentado reconstruir la ciencia suponiendo que las teorías científicas son el último elemento irreductible y definitorio de la actividad científica, y que ese elemento primordial es de carácter puramente lingüístico. Ha privilegiado los aspectos teóricos del conocimiento sobre cualquier otro de los rasgos, de modo que toda la actividad científica fuera interpretada desde el exclusivo punto de vista de la elaboración conceptual y la teorización. De esa tendencia se deriva la inclinación a reformular cualquier cuestión o problema en términos exclusivamente conceptuales o teóricos.

Todas las tendencias recientes del heteróclito movimiento filosófico denominado de forma sumaria *nueva* filosofía de la ciencia parten de la negación de ese aserto. Los trabajos de Bloor, Barnes y Bruno Latour, de Shaffer y Buchwald, Galison o a Biagioli², por mencionar únicamente algunos de los implicados, han defendido la ruptura del lazo que tradicionalmente ha unido los estudios sobre la ciencia con las preocupaciones clásicas de la epistemología, como indica Golinski³.

1 Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, Madrid.

2 Pueden situarse los trabajos fundacionales en Bloor, D. (1976). *Knowledge and Social Imaginary*. U. Chicago P. Chicago, Barnes, B. (1977). *Interests and the Growth of Knowledge*, Routhledge and Kegan Paul, Londres, Latour, B. (1997). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Harvard University Press, Cambridge.

3 Golinski, J. (1998). *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*, CUP, Cambridge p. 7.

Esa *nueva* filosofía se diferencia de la puramente teoreticista en que no se nutre exclusivamente de una tradición filosófica pura sino que incorpora elementos de la historia, antropología y sociología de la ciencia, que toma en cuenta las prácticas científicas y que establece una demarcación borrosa entre ciencia y tecnología. Se ha pasado de una unidad a una multiplicidad de propuestas y de aplicaciones en las formas de estudios. Según algunos, filosofía de la ciencia se ha debilitado, según los más, se ha enriquecido. En todo caso, se ha producido un incremento sustancial de las discusiones. Se ha roto el mito de la inevitabilidad de la producción científica, como muy bien ha señalado Hacking⁴. Las ciencias no siguen caminos trazados por ningún destino hegeliano, son resultado de los seres humanos, de su acción como individuos y como colectivos.

Un primer resultado de esa renovación ha sido la liberación de la base empírica de las ciencias de la cautividad teoreticista. Las ciencias no son el resultado de campos de fuerza lógico-lingüísticos y lo observacional no es un elemento reducible a lo dado, a lo empírico. Lo empírico no es lo inferior, no es una ciénaga que no debe manchar a los aristócratas de la teoría⁵. Lo empírico es algo de suficiente complejidad como para merecer una reflexión filosófica propia. La manumisión de lo empírico ha venido de la mano de una pérdida de influencia de la física en los estudios sobre la ciencia durante los últimas décadas. Efectivamente, la física, y especialmente la física teórica, estuvo en la base de todo el desarrollo teoreticista durante los periodos fundacionales de la filosofía de la ciencia, cuando los problemas abordados fueron exclusivamente de corte epistemológico⁶. La fisicalización no supuso solamente la reducción de cualquier ciencia a la física, sino la eliminación de la relevancia de cualquier física que no fuera teórica. Si se analizan las *nuevas* tendencias de la filosofía de la ciencia, se comprobará que en los trabajos realizados se tratan los experimentos de forma autónoma, así sean de física o de otras ciencias, y que a su vez otras ciencias han entrado en el horizonte de análisis de los estudios sobre la ciencia que a su vez están cada vez más ligados a la convicción de que son estudios sobre la cultura científica.

Así, hoy se reconoce que lo empírico tiene una estructura no sólo en el orden de adquisición de conocimiento, sino en el orden de su propuesta, de su planteamiento y en lo que supone de relación con el mundo exterior a las mismas ciencias.

En innumerables ocasiones se ha indicado que las ciencias comienzan con la observación y cualquier manual de historia de la ciencia dice que el destino de la ciencia se juega en la observación de una estrella o de una aguja indicadora en una aparato de medición. Además, bajo las sugerencias de Kuhn, se afirma que toda observación está *teóricamente cargada*. Son las palabras mágicas que devuelven a la teoría su señorío sobre la ciencia. Pero pocas veces se indicó que esas observaciones son el resultado final de procesos experimentales

4 Hacking, I. (1999). *The Social Construction of What?* Harvard U. P., Cambridge, Mass.

5 Popper, K., Op. Cit. 106.

6 Ferreiros, J.J. Ordóñez (2002). «Hacia una filosofía de la experimentación», *Crítica*, Vol. 34, nº 102. p. 50 y ss.

que involucran roces e interacciones de las ciencias con otras ciencias, con técnicas, con instrumentaciones que constituyen una parte fundamental de la actividad científica. Hoy se cree más en una *carga experimental e instrumental* de la teoría.

En este sentido es necesario desbrozar algunos prejuicios que juegan a favor del teoreticismo y en contra de una correcta interpretación de la actividad científica. El primero, que lo observable debe ser necesariamente lo más inmediato, o bien que lo inmediato es el mejor dato posible para la formación de teorías científicas. El segundo, que los experimentos son conjuntos de acciones y métodos que se pueden reproducir en cualquier lugar y por cualquiera y que hablan a todos los experimentadores por igual. Según esto, los experimentos serían estructuras «universales» en el sentido de ser universalmente repetibles. El tercero, que los instrumentos científicos son construcciones tecnológicas neutrales que funcionan lo mismo en cualquier circunstancia. Según esto, los instrumentos podrían ser usados de la misma forma en cualquier contexto, mientras se ajustaran a los protocolos que indican las teorías científicas. Nunca se necesitaría negociaciones para su uso.

2. LOS PELIGROS DE LA CONFIANZA EXCESIVA EN LO INMEDIATO

Todos los prejuicios expresados tienen su origen en una incorrecta aplicación de características propias de los experimentos mentales, o, mejor, en la suposición de que todo experimento es un posible experimento mental. Con respecto a la afirmación según la cual lo observable debe ser lo más inmediato en nuestra conciencia perceptiva, ella se sigue de creer que el dictamen de los experimentos mentales se nutre frecuentemente del ámbito de la mecánica, de la geometrización del movimiento, de la estilización de las condiciones de observación. Efectivamente, eso sucede en los experimentos que se refieren a los conceptos básicos de la cinemática o de la dinámica que son ciencias con fuerte contenido geométrico u óptico.

Por el contrario, si se toma como fenómeno de partida el análisis del calor nos encontramos que este fenómeno es por supuesto algo próximo, incluso podría decirse táctil, pero en todo caso difícilmente analizable. Eso se muestra en la resistencia que ofreció a los filósofos experimentales barrocos e ilustrados. Eso explica las dificultades que tuvieron los filósofos experimentales para describir un fenómeno tan simple como el calentamiento de una barra metálica que tiene uno de sus extremos apoyado en una fuente de calor, un modesto atizador que se ha dejado apoyado en el fuego de una chimenea. La filosofía experimental de aquella prolífica época aportó desde el siglo XVII una catarata de propuestas enormemente diversas para resolver ese problema. En este caso no parecía haber experimento mental posible, toda la descripción dependía de circunstancias imbricadas en el comportamiento de un instrumento tan opaco como el termoscopio, o termómetro. Ese instrumento dependía de las condiciones de fabricación que a su vez dependían de las condiciones de trabajo del fabricante, de la escala usada y de las condiciones para proporcionar estándares que permitieran comunicar los resultados de las mediciones. Las condiciones de uso del termómetro se ver-

tían entonces en las prácticas que llevaban a cabo los filósofos naturales e ingenieros para elaborar sus propuestas.

Basta leer los trabajos de Amontons⁷, publicados a lo largo de diez años de análisis de los diferentes instrumentos para entender la importancia de las prácticas en la ilustración temprana. Los trabajos de Dalton o de Gay-Lussac se inscribieron en esa tradición de prácticas científicas. Cuando J. B. Fourier escribió la *Théorie analytique de la chaleur*⁸, ofreció una versión bien fundamentada y matemática de la transmisión del calor en una barra metálica. Los físicos matemáticos del momento consideraron que esa descripción agotaba todo lo que se podía decir acerca de la cinemática del calor. Por eso los filósofos inscritos en la tradición teoricista suelen tratar a Fourier como el ilustrado que abrió los fenómenos caloríficos a la luz de la matemática y terminó con un periodo de oscuridad. Al hacerlo, cometen un doble error. En primer lugar porque distorsionan el sentido que tuvo la propuesta de Fourier, tanto para el análisis como para la nueva física postlaplaciana. Desde su punto de vista, su matemática tuvo la función de «instrumento» a la hora de solucionar problemas de cinemática del calor frente a la posición teoricista de Laplace. Además, como años después defendió Boltzmann⁹, el punto de partida de Fourier estaba cargado de hipótesis atomísticas procedentes de otras ciencias. Pero en segundo lugar el estudio del calor continuó ligado a las condiciones de uso de los instrumentos y a los aparatos, termómetros, barómetros y máquinas de vapor. El calor podría ser el fenómeno más próximo a nuestra conciencia, pero para hacerlo sujeto de las experiencias era necesario proyectarlo sobre el mundo de los instrumentos y adecuarlo al universo de las prácticas científicas. En caso contrario, permanecía en el limbo de lo primitivo como experiencia subjetiva e incommunicable.

3. LA COMPLEJIDAD DE LA INSTRUMENTACIÓN

Lo inmediato en su estado primitivo no sirve necesariamente como referente de la acción científica. Tampoco la experimentación es una acción simple, un proceso sin bifurcaciones para obtener unos *datos* que surgen de algún tipo de caja negra. Es necesario considerar relevantes las complejidades estructurales y dinámicas de esa caja negra. La *nueva* filosofía de la ciencia se ha caracterizado por su pasión por abrir esas cajas negras. Se puede tomar como ejemplo de esa actitud aperturista las opiniones de Pickering¹⁰. Éste entiende que las

7 Amontons, Guillaume (1995). *Remarques et expériences physiques sur la construction d'une nouvelle clepsydre sur les baromètres, thermomètres et hygromètres* contenidos en las Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris.

8 Fue publicada bajo el título *Mémoire sur la théorie analytique de la chaleur* en 1829 pero había sido leída en la Academia en 1820.

9 Boltzmann, L. (1986). Estudios de mecánica y termodinámica...

10 Pickering, A. (1989). «Living in the Material World» en Gooding, T.J. Pinch y S. Shaffer 1989, *The Uses of Experiment*, C.U.P. Cambridge, pp. 275-297.

características indudables de los elementos estructurales de una práctica experimental son el *procedimiento material*, que se refiere a toda la disposición de aparatos y su correcto funcionamiento, el *modelo instrumental*, que expresa la comprensión del funcionamiento del aparato por parte del experimentador, y el *modelo fenoménico*, la comprensión del mundo fenoménico que está interpretando el experimentador.

Según Pickering, cuando comienza la actividad experimental no existe ninguna relación entre los tres elementos, de tal forma que la incoherencia y la incertidumbre son los sellos distintivos del experimento, tal y como se hace notar en los estudios etnográficos de la vida en el laboratorio. Al final del experimento se puede haber encontrado una coherencia entre los tres elementos, una estabilización que sin embargo no es trivial y su estudio proporciona una *dinámica de la experimentación*. En general se puede llegar a pensar que de los tres elementos los dos primeros son rígidos, porque se refieren a las condiciones instrumentales de la experimentación y se supone con demasiada ligereza que lo instrumental es neutral en cualquier proceso experimental. Frente a ello, el elemento fenoménico sería plástico ya que el experimentador puede modificarlo en su consideración. Este sería el elemento contextual, interpretativo. Pickering por el contrario propone considerar plásticos los tres elementos.

Así, no habría nada atemporal en los experimentos, pero tampoco existiría una época inocente, la que se refiere al comienzo de la actividad científica barroca, cuando los experimentos fueran fáciles y otra, los experimentos realizados ya en el siglo XX; en la que resultan más difíciles por la progresiva dependencia de una tecnología compleja y sofisticada. En todo momento ha habido una complejidad relativa al contexto de los conocimientos. Es más, la historia de la experimentación da una versión alentadora e interesante de las actividades y prácticas científicas.

En los momentos que se consideran fundacionales de la actividad experimental, Newton describió cómo la luz del Sol se dispersaba en los colores del arco iris si se hacía pasar por un prisma de cristal. Dicho así, parece un experimento sencillo y su resultado es aceptable para todo lector medianamente informado de la historia de la óptica. Pero cualquiera que intente reproducirlo en su gabinete se encontrará con las mismas dificultades que tuvo Goethe para confirmarlo, o que tuvieron muchos contemporáneos de Newton.

Muchos fracasaron y su falta de éxito fue interpretada unas veces como falta de competencia y otras como una falta de cristales adecuados para el experimento. Se produjo lo que Collins llama el «regreso del experimentador» y que podría llamarse como *círculo vicioso experimental*: el resultado correcto sólo se obtiene empleando un aparato que funcione correctamente y el aparato funciona correctamente sólo si nos proporciona resultados correctos. Schaffer ha llamado la atención sobre el problema de la repetibilidad de los experimentos del prisma en uno de sus trabajos más conocidos¹¹.

11 Schaffer, S. (1989). «Glass Works: Newton's Prism and the Uses of Experiment» en D. Gooding; T.J. Pinch y S. Shaffer 1989, *The Uses of Experiment*, C.U.P. Cambridge, pp. 67-104.

En buena medida, la polémica que se suscitó en torno al *experimentum crucis* de Newton fue causada por un «error de juventud» en su estrategia argumentativa. Era buen matemático e inexperto en la filosofía experimental. Newton creyó que la cuestión podía resolverse con una sucinta y bien planeada sucesión de «demostraciones» experimentales, acompañada de una serie de definiciones y proposiciones. A consecuencia de ello, el famoso experimento de los dos prismas llegó a ser denominado «experimento crucial» y a soportar la carga de la prueba (en contra de la teoría de la modificación de la luz blanca por el prisma, y a favor de la doctrina de la composición de la luz blanca por rayos de diferentes refrangibilidades y colores). Pero la comunidad científica de su tiempo necesitó una amplia variedad de experimentos, y no uno único.

Los dos experimentos que dio a conocer en 1672 resultaron difíciles de reproducir. Como es bien sabido, el motivo principal de ello estaba en que los prismas empleados diferían mucho (por su composición cristalina) de unos lugares y experimentadores a otros. Eso es lo que destaca Shaffer. Los resultados obtenidos por otros experimentadores alarmaron a Newton.

Además, hacia 1680, Edme Mariotte reprodujo el supuesto *experimentum crucis* y encontró resultados que le parecían contradecir e incluso refutar a Newton: el haz violeta que lograba aislar arrojaba, tras la segunda refracción, una imagen en la que se mezclaban los colores rojo y amarillo¹². Lo que el inglés consideraba una comprensible imperfección de la disposición experimental, le parecía al empírico francés un clarísimo resultado en contra y una vindicación de la vieja teoría de la modificación de la luz por el paso a través de un prisma. Dada la gran reputación de Mariotte como experimentador, esto supuso un largo retraso —casi 40 años— para la aceptación de la teoría de Newton en Francia y otros lugares.

Pero existían elementos que permitieran *romper* el círculo vicioso. Al menos dos. El primero, afianzando según criterios propiamente experimentales (no teóricos ni formales) la fiabilidad de los resultados experimentales obtenidos. Newton muestra que el prisma no modifica la luz visible, sino sólo la descompone o analiza. Para ello, realizó experimentos como los siguientes:

1. Colocó dos prismas yuxtapuestos en sentidos contrarios, de manera que la refracción del rayo producida por uno compense la del otro. Obtuvo un haz de luz blanca. Esto no era compatible con la teoría de modificación (ni con la posibilidad de que el espectro se deba a imperfecciones casuales de los cristales).
2. Empleó tres prismas que proyectaban sus espectros sobre una misma pantalla y, haciendo que los espectros se mezclasen sin coincidir exactamente, volvió a obtener o sintetizar luz blanca.

¹² Ver Guerlac [1981], 98-99. El trabajo de Mariotte apareció como libro: *De la nature des couleurs* (Paris, 1681) y se encuentra también en sus *Oeuvres*, vol. 1 (Leiden, 1717).

3. Empleó un prisma y a continuación una lente que hacía converger los rayos, encontrando que de nuevo se sintetiza luz blanca. Bastó situar una pantalla, y según dónde la colocaba veía un espectro (que iba decreciendo al mover la pantalla), o un haz blanco, o de nuevo un espectro.

En la *serie* formada por estos experimentos que realizó hacia 1670 o antes, junto con los que mencionó Newton en el artículo de 1672, se encuentran dos de las características clave señaladas por Hacking, dos criterios propiamente experimentales en acción: hay convergencia en los resultados obtenidos de tres maneras diferentes, y hay coherencia además entre las intervenciones practicadas y los resultados.

Nótese que los resultados de los tres experimentos que acabamos de citar, al ser cualitativos y no cuantitativos, se pueden reproducir sin problemas independientemente de que el poder dispersivo de los prismas empleados sea mayor o menor. Con todo, Newton recurrió también a prismas rellenos de agua para romper el círculo y tratar de reducir las dudas planteadas por las dificultades de reproducción.

Una segunda manera clave de romper el círculo fue la siguiente. Newton no se cansó de repetir una y otra vez que había que tener cuidado con la idea de rayo simple. No se trataba aquí de que sólo los prismas de Cambridge produjeran rayos simples (como parece entender Schaffer en el trabajo mencionado) sino de que no los producían ni éstos ni los de París. Era la diferencia entre el rayo simple de la teoría, una línea geométrica, y el haz del experimento, algo más o menos grosero. No hay duda de que Leibniz, experto geómetra y coinventor del cálculo, entendió este punto mucho mejor que Mariotte. En suma, el círculo ya no vuelve sobre sí mismo, sino que «regresa» en un plano ligeramente más elevado, formando una hélice. La actividad experimental es así un proceso helicoidal del producción de conocimiento¹³.

4. LA NO NEUTRALIDAD DE LOS INSTRUMENTOS Y APARATOS CIENTÍFICOS

Hasta ahora la reflexión se ha dirigido a un tipo de experimento llamado de sobremesa. Parece que su ámbito fenoménico está determinado por su simplicidad y que el investigador hasta *parece elegir* las dificultades de realización. Elección aparente, por supuesto. Sin duda todo se hace más complejo a medida de que las ciencias se desarrollan bajo la influencia de las transformaciones industriales a lo largo del siglo XIX. En ese caso, los experimentos muestran especialmente la plasticidad a que se refiere Pickering. Sin embargo, la tesis de este trabajo es que siempre se dio esa plasticidad y que el desarrollo de las ciencias solo acentúa su importancia.

Para entenderlo es necesario abordar con el tercer aspecto que se va a tratar en esta breve contribución: la importancia propia de los instrumentos y los aparatos para la construcción de las ciencias contemporáneas. La nueva filosofía ha puesto de manifiesto la importancia de

¹³ Véase Ferreirós y Ordóñez (2002) *op. cit.* Pp. 74 y ss.

los instrumentos a la hora de abrir esas cajas negras celosamente cerradas por el teoreticismo. Su apertura descubre la estrecha relación que existe entre las prácticas científicas y las tecnológicas. Su interdependencia puede verse en los estadios más tempranos del renacimiento y el barroco, pero son completamente inevitables en las ciencias desarrolladas a lo largo del siglo XIX y XX, especialmente en la física y la química de este periodo.

Cuando se habla de astronomía del siglo XVII, por ejemplo, se debe mencionar necesariamente la importancia que tuvo el uso del telescopio. Incluso los más radicales teoreticistas lo hacen. ¿Cómo podrían entenderse los debates del siglo XVII sin destacar la influencia del *Sidereus nuncius*? Pero es frecuente que se mencione el libro de Galileo pero que se omita las dificultades inscritas en el instrumento: su forma de fabricación, sus componentes, su origen, su desarrollo, las dificultades para fabricar un buen cristal, los problemas que se tenían para determinar que un cristal era mejor que otro. Habitualmente se considera que esos aspectos se pueden tratar en una historia de la tecnología pero no en una de la ciencia, como si se hubiera recorrido dos caminos completamente paralelos¹⁴. Que Huygens estuviera interesado en el pulido de lentes y en la construcción de telescopios, que dedicara mucho tiempo al diseño de relojes no merece muchas veces la atención del filósofo teoreticista que sólo está interesado en el éxito y no en el intento. Lo mismo se podría decir del interés que muchas veces merecen los trabajos de Hook y de muchos filósofos experimentales del Barroco.

Para desinteresarse por estas cuestiones es necesario defender una separación radical entre ciencia y tecnología, como si fueran prácticas disjuntas —todo lo más complementarias en la opinión de los más generosos. Tal falta de atención ha merecido las relaciones entre ciencia y tecnología que recientemente se ha acuñado un nuevo término —tecnociencia¹⁵— para anudarlas, para que no se escapen cada una por su lado en la práctica de nuestra cultura. Pero no es necesario un término nuevo para describir lo que ha sido una característica de las prácticas científicas desde siempre, o al menos desde que las reconocemos en las fuentes que nos permiten bucear la historia. Según esto, menos aún para describir la construcción de unas ciencias como la termodinámica, el electromagnetismo o la química orgánica a lo largo del XIX.

La gracia de esas «nuevas ciencias», nuevas en su tiempo, fue que debieron renunciar por principio a la buena y sana *filosofía de lo dado*, es decir de una base empírica simple —como si alguna vez la hubiera habido— y tuvieron que enfrentarse sin tapujos no ya con *fenomenologías* sino directamente con la *fenomenotecnia*, con lo provocado, o lo construido. El caso más significativo se encuentra una vez más en el tratamiento del calor. Por un lado aparentemente Fourier resolvía el problema de la cinemática del calor, por otro Sadi Carnot ponía de manifiesto la importancia del trabajo de ingenieros y tecnólogos para entender

14 Cfr. Rioja, A.J. Ordóñez (1999). *Teorías del universo, Volumen II, De Galileo a Newton*, Cap. 1 El uso del telescopio en el siglo XVII, pp. 17-66.

15 El ejemplo más reciente de ese intento de blindaje conceptual lo ofrece el último libro de J. Echeverría (2003) *La revolución tecnocientífica*, FCE, Madrid.

cómo funciona el calor en la naturaleza. Para saber exactamente cómo funciona, según su opinión no era conveniente dirigir la atención a la naturaleza donde se manifiesta el calor en todos los fenómenos meteorológicos, sino a las máquinas de *fuego*, construidas con prácticas tecnológicas a lo largo de todo el siglo XVIII no para hacer ciencia sino para resolver problemas tecnológicos muy precisos. De la misma forma que el trabajo de Shapin y Shaffer de 1985¹⁶ instruyó tanto sobre la cultura experimental del siglo XVII analizando el encanto de un artefacto tecnológico como la bomba de vacío, el análisis de las máquinas de vapor estáticas puede informar acerca de los tipos de tecnología que se involucran en la cultura industrial de la sociedad científica francesa postnapoleónica¹⁷. Los estudios de algo tan particular como la actuación de los ingenieros de la EPS en la época de la restauración borbónica proporcionan información acerca de cómo se *movían* las máquinas de vapor en Europa en las primeras décadas del siglo XIX, de las dificultades de funcionamiento y de las tecnologías sociales y lingüísticas que generaban. De la misma forma que el telescopio que fabricó Herschel para el Rey de España nunca funcionó como lo hubiera hecho en el contexto de su fabricación, las máquinas térmicas no funcionaban de la misma forma en cualquier lugar.

Esto no es una banalidad que pueda resolverse pensando que los instrumentos o aparatos son ejemplificaciones de una abstracción ideal que en algún lugar funcionan perfectamente y que las dificultades se deben solo a la pura torpeza de los técnicos. Los aparatos y los instrumentos son siempre individuales por más que supuestamente deban funcionar de acuerdo con principios generales o deban servir a unas ciencias que aspiran a una generalidad. Las máquinas de vapor necesitaban ajustes *in situ*, de esos ajustes y no de las máquinas por sí mismas aprendió Clapeyron en 1833 a interpretar los textos de Sadi Carnot, escritos nueve años antes. La imagen del ciclo de Carnot, tan familiar a los estudiantes actuales, la extrajo Clapeyron de los indicadores Watt que llevaban los técnicos que instalaban las máquinas térmicas en San Petesburgo. Carnot trabajó sobre las prácticas de los ingenieros ingleses del siglo anterior, Clapeyron sobre las de los ingenieros que las ajustaban en los lugares elegidos de emplazamiento.

Hay muchos más ejemplos de la importancia de las prácticas en la formación de la ciencia, especialmente en el desarrollo del electromagnetismo. No fueron oscuros científicos o tecnólogos quienes se dieron cuenta de la necesidad de atender a las prácticas; por el contrario, fue el mismo William Thomson quien entendió que los instrumentos de laboratorio y aparatos industriales necesitaban apoyo para servir en los viajes de un laboratorio a otro¹⁸, no eran invariantes a los traslados ni a las descontextualizaciones. No eran elementos neutrales en el proceso científico. Eran, por el contrario, elementos plásticos de la actividad científica.

16 Shapin y Shaffer de 1985.

17 Ordóñez, J. (1988). «La recepción de Sadi Carnot: el significado de la aportación de Clapeyron al desarrollo de la termodinámica» *Actas de Trobades Científiques de la Mediterrania* 267-279.

18 Cfr. C. Smith & N. Wise (1989). *Energy & Empire. A biographical study of Lord Kelvin*, C.U.P. Cambridge, especialmente el capítulo Telegraph signals and light waves: Thomson versus Maxwell, pp. 445-494.

No es de extrañar que en este contexto se fundaran instituciones destinadas a garantizar esa traslación. Fue el gran esfuerzo de la creación de estándares de finales del siglo XIX. En este caso, quien marcó la pauta fue el recién creado Imperio Alemán (que después sería llamado Segundo Imperio). El conglomerado de los países alemanes se fundó como imperio sobre dos elementos, la lengua alemana y el desarrollo industrial. Fue una sociedad que reconoció pronto la necesidad de estándares en física. La fundación de *Physikalisch-technische Reichsanstalt*¹⁹ (PTR) respondió a esa exigencia. La institución fue creada con el aliento de industriales como Siemens y ante el reconocimiento internacional de la necesidad de establecer estándares. Tuvieron lugar una serie de conferencias internacionales para la unificación de medidas y referentes. En 1884 se había adoptado Greenwich como el lugar meridiano de referencia para las longitudes durante una conferencia que tuvo lugar en Washington, en 1881 tuvo lugar en París otra conferencia para estudiar la adopción de medidas eléctricas internacionales. En 1887 se inauguró el PTR para establecer los estándares no sólo en electricidad y magnetismo, sino en todas las ramas de la física experimental. Generalmente se señala el XX como el siglo de las relaciones ciencia y poder político. Los acontecimientos mencionados, las instituciones fundadas en el siglo XIX muestran que la alianza es muy anterior, tan antigua como la misma ciencia.

El primer director del PTR fue H. Helmholtz un científico de gran prestigio que había trabajado con éxito en campos tan diversos como la fisiología, matemáticas, teoría del calor y mecánica. Como director del PTR tuvo que pronunciar la conferencia conmemorativa del primer centenario de Fraunhofer. En aquella ocasión hizo la siguiente observación: «Si se toma en consideración una cienmilésima o una millonésima parte de una longitud, o se determina con éxito los segundos de ángulo o incluso las décimas de segundo, entonces parece que lo que era sólido se convierte en elástico»²⁰.

Helmholtz en aquella ocasión estaba recuperando un artesano olvidado, Fraunhofer, y lo estaba poniendo a la cabeza del movimiento científico en defensa de la precisión, una nueva ideología metodológica que acudía a la historia como una forma de legitimación. El PTR fue una institución que proporcionó estándares para lograr una mejora en la precisión de los trabajos científicos. El PTR dedicó tiempo y actividad a la normalización de instrumentos tan refractarios a la generalización como son los termómetros. La precisión es un valor metodológico que los teóricos reconocen como suyo, pero es un valor que se consigue en la negociación de las prácticas científicas, en el reconocimiento de la singularidad de los instrumentos, en las exigencias de sus ajustes. Parecen haberlo olvidado, pero la *nueva* filosofía de la ciencia se encarga de recordarles, al modo como lo hacía el esclavo que acompañaba al héroe en los momentos del triunfo, *recuerda que eres experimental y por lo tanto mortal*.

19 D. Cahan (1989). *An Institute for an Empire. The Physikalisch-technische Reichsanstalt 1871-1918*, C.U.P., Cambridge.

20 H. V. Helmholtz (1887). «Festbericht über die Gedenkfeier zur hundertjährigen Wiederkehr des Geburtstages Josef Fraunhofer» *Zeitschrift für Industrie*, 7, 116.

EL PRIMER REACTOR EXPERIMENTAL INSTALADO EN ESPAÑA

Ana Romero

La influencia del instrumental en el desarrollo de la ciencia tiene un buen ejemplo en la instalación en España del primer reactor nuclear, el Jen 1, que lleva a cabo la Junta de Energía Nuclear en 1958, tras su compra a la International General Electric Company. La política de acercamiento a Estados Unidos y de apertura al exterior, los desarrollos científicos y tecnológicos asociados a su instalación y el papel que juega el nuevo reactor en la vertebración y organización de la propia Junta, son los tres aspectos que se tratan en este trabajo.

La instalación en España del primer reactor experimental, el Jen 1, nos permite reflexionar sobre el importante papel que los instrumentos juegan en el panorama científico de un país. En el presente artículo abordamos este tema centrándonos en tres funciones que sin duda desempeñó este instrumento. En primer lugar cumplió una función política. España en los años cincuenta era un país pobre económicamente y necesitado de ayuda externa para crecer y favorecer su propio desarrollo interno; cualquier acercamiento al exterior era bienvenido. En segundo lugar su instalación permitió realizar nuevos desarrollos científicos y tecnológicos en un campo, el de la energía nuclear, que apenas acababa de iniciarse en nuestro país. Por último otro papel que creemos interesante destacar, y que está bastante unido a los dos anteriores, fue el que desempeñó, como actor, en la génesis y organización de la Junta de Energía Nuclear (JEN).

EL ASPECTO POLÍTICO

Fueron múltiples las gestiones que acompañaron la compra a los Estados Unidos del reactor Jen 1. Para entenderlas en su contexto quizá sea útil detenernos en conocer la situación de aquel país con relación a la investigación sobre energía nuclear.

La primera manifestación del interés de los Estados Unidos por las cuestiones nucleares se había producido en 1939 con la creación, por el presidente Roosevelt, del Advisory Committee on Uranium (Comité Asesor del Uranio). El principal objetivo de este Comité había sido investigar las posibilidades de construir una bomba atómica. En junio de 1940 se formó el National Defense Research Committee (Comité Investigador de Defensa Nacional), que continuó los trabajos del Comité Asesor. El siguiente paso se dio el 18 de junio de 1942, con la constitución del Manhattan District of the Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Distrito Manhattan), que se hizo cargo de la administración y desarrollo de los proyectos que