

## LA TERMODINÁMICA COMO ELEMENTO LEGITIMADOR DE LA FÍSICA TEÓRICA Y APLICADA EN LA ESPAÑA DE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XIX

*Stefan Pohl Valero*

*Universitat Autònoma de Barcelona*

*popohl@yahoo.es*

El rayo que estalla en las nubes, el ámbar que atrae los cuerpecillos ligeros, la aguja que se dirige al polo Norte, el telégrafo eléctrico que cruza los abismos del Océano, el vapor que hierve en las entrañas de la locomotora, el carbono que se deposita en la fibra vegetal, el sol que fija las imágenes en la plancha fotográfica, todo es una misma cosa, un solo fenómeno, un hecho único, pero universal: *materia que se mueve*<sup>1</sup>.

José Echegaray, 1873

### 1.- Introducción.

La búsqueda de una teoría final unificada, que con unas leyes fundamentales, sea capaz de explicar todos los fenómenos de la naturaleza se ha presentado y se sigue presentando como la más sublime de las aspiraciones en el campo de la física<sup>2</sup>. A lo largo del presente artículo, nos encontraremos ante un discurso que basaba el progreso de la física en su capacidad de ofrecer un marco explicativo unificado. En la segunda mitad del siglo XIX, los físicos

---

<sup>1</sup> ECHEGARAY, José (1873) *Teorías modernas de la física. Unidad de las fuerzas materiales*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra, 183.

<sup>2</sup> Las palabras del premio Nobel de física de 1979, Steven Weinberg, en el prefacio de su obra *El sueño de una teoría final*, son una prueba de ello: "Este libro trata de la gran aventura intelectual, la búsqueda de las leyes finales de la naturaleza. El sueño de una teoría final inspira una gran parte del trabajo en curso en física de altas energías y aunque no sabemos cuáles puedan ser las leyes finales o cuántos años pasarán antes de que sean descubiertas, pensamos que en las teorías actuales ya estamos empezando a vislumbrar las líneas generales de una teoría final". WEINBERG, Steven (2003) *El sueño de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*, Barcelona, Crítica, 9.

sentían que se acercaban definitivamente a su más profundo parámetro de progreso, la teoría unificada, y lo hacían a través de una concepción mecánica de la naturaleza. La teoría mecánica del calor, y la comprobación experimental de que éste se transforma en trabajo, fueron elementos decisivos en la consolidación de ese sentimiento.

La termodinámica nos parece hoy una rama de la física provista de conceptos que, a través de prolongadas metáforas, se han incorporado al lenguaje cotidiano y a diferentes ámbitos del saber literario, económico, etc. En la segunda mitad del siglo XIX, la termodinámica significó mucho más que unas leyes empíricas que permitían describir procesos térmicos. El complejo significado de sus leyes fue utilizado por científicos y legos como herramienta para muy diversos fines. La interpretación de sus leyes fue utilizada de hecho como un recurso legitimador de la física, pero también influyó en diversas posiciones ideológicas, no sin controversia.

Diversos fenómenos, en apariencia diferentes, habían empezado a interpretarse de forma correlacionada antes de finalizar la primera mitad del siglo XIX, y la nueva ciencia del calor, la termodinámica, fue el ejemplo más utilizado para explicar este mundo físico unificado y articulado. Hacía el final de 1860 y durante toda la década de 1870 se empezó a reflejar en España un creciente interés por la idea de una explicación unificada y mecánica de los fenómenos físicos. Así, diferentes textos, unos de carácter más divulgativo y otros más técnicos, pero también discursos presentados en las academias de ciencias u otras instituciones, empezaron a abordar estos temas en España. En el artículo "Termodinámica" que recogía el *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*, la enciclopedia española más importante de finales del siglo XIX editada por Montaner y Simon entre 1887 y 1899, aparecían los ingenieros industriales Gumersindo de Vicuña y Francisco de Paula Rojas, y el ingeniero de Caminos José Echegaray, como parte del selecto grupo de científicos internacionales que consolidaron la ciencia de la termodinámica. En el artículo se lee la siguiente información:

*"Ciencia que se ocupa del estudio del calor como fuerza, de la energía mecánica de este agente y de su aplicación a las máquinas." [Acto seguido el artículo se dedica a discutir la naturaleza del calor concluyendo que:] "En 1842, Joule, Mayer y Colding formularon casi al mismo tiempo la equivalencia entre el calor gastado y el trabajo producido, [...] se iba por fin a reconocer que el calor no se limita a provocar la producción de un movimiento, sino que le produce en realidad, que no es una causa ocasio-*

*nal, sino generatriz del movimiento; desde entonces la Termodinámica ha venido a ser una ciencia especial, gracias a los trabajos de Clausius, Clapleyron, Hirn, Rankine, Helmholtz, Thomson, Kirchoff, Bunsen, Vicuña, Rojas y D. José Echegaray, Grove, Laboulaye, Fabre, Jaquier, etc*<sup>3</sup>.

Estos tres ingenieros y científicos españoles escribieron en las décadas de 1860 y 1870 diversos textos que tocaban el tema de la termodinámica y la posibilidad de una explicación unificada de los fenómenos físicos. Los tres fueron catedráticos de Física matemática en la Universidad Central de Madrid y miembros de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. En sus textos se citaron mutuamente y la comunidad científica española los consideró como los expertos locales de la termodinámica.

El artículo que los mencionaba como representantes locales de la termodinámica fue publicado en 1897, época en la que la enseñanza institucional de la termodinámica se empezaba a consolidar en las universidades españolas<sup>4</sup>. No obstante, el ideal mecánico y unificado de la física, que la termodinámica tan bien representaba según estos autores, tuvo que pasar por un largo debate público en el que sus leyes, en relación con cuestiones religiosas e ideológicas, fueron ampliamente discutidas. La exposición que hicieran de la termodinámica estos tres ingenieros estuvo condicionada por el debate que se generó al respecto especialmente en la década de 1870 y por la debilidad institucional de la enseñanza científica y técnica que vivió España en ese periodo.

Así pues, el presente artículo intenta analizar algunos de los aspectos determinantes del contexto en que sus protagonistas construyeron una imagen de la termodinámica destinada a cumplir unas funciones específicas.

<sup>3</sup> *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano de Literatura, Ciencias y Artes* (1897), tomo XX, Barcelona, Montaner y Simón. Véase la voz "Termodinámica".

<sup>4</sup> Una asignatura dedicada exclusivamente a la termodinámica sólo apareció en la Facultad de Ciencias en los primeros años del siglo XX; en 1880 se reemplazó la asignatura de *Fluidos Imponderables* por la de *Física Superior* que poco a poco fue incluyendo en su programa la teoría mecánica del calor y los ciclos termodinámicos. Esta asignatura sería en 1900 de nuevo modificada y dividida en diferentes secciones, una de ellas fue la de *Termodinámica*. Por su parte, en las Escuelas de Ingeniería Industrial, en la asignatura de *Física Industrial*, existía una sección llamada *Aplicaciones del Calor*; sería justamente en la enseñanza de esta materia donde el ingeniero Rojas expondría a los futuros ingenieros los conceptos de la termodinámica, como más adelante lo veremos.

Como parte de una investigación más amplia<sup>5</sup>, el presente texto sólo se centra en la debilidad institucional de la física que vivió España en ese periodo –dejando fuera el debate ideológico– como un elemento principal que condicionó la construcción de la termodinámica en España. Mediante esta exposición intento demostrar cómo la termodinámica fue un elemento fundamental que en las manos de los ingenieros antes citados jugó un papel legitimador tanto para la ingeniería industrial como para la física teórica.

## 2.- La termodinámica como elemento legitimador de la física teórica y aplicada.

Algunas de las primeras obras escritas por españoles que abordaban el tema de la termodinámica, o de forma más general, que trataban la idea de una física unificada bajo una concepción mecánica de la naturaleza, vinieron de la mano de un mismo autor y por canales comunicativos diferentes. Por un lado, en 1867 se publicó un libro, destinado a un público amplio, que exponía de forma sencilla las últimas teorías de la física, abarcándolas todas ellas en un marco explicativo unificado. El objetivo del texto, como el propio autor lo indicaba, era “popularizar la ciencia”. El libro llevaba por título *Teorías modernas de la física. Unidad de las fuerzas materiales*<sup>6</sup>. Al año siguiente, en 1868, apareció otro libro de carácter mucho más técnico que desarrollaba la ciencia de la termodinámica y llevaba por título *Tratado elemental de termodinámica*<sup>7</sup>. El autor de ambos textos fue el ingeniero de Caminos y matemático José Echegaray (1832-1916), un respetado y reconocido científico y político español, que ganaría posteriormente (1904) el premio Nobel de literatura, gracias a su extensa obra como dramaturgo<sup>8</sup>.

En el primer libro, Echegaray presentaba las nuevas teorías mecánicas del calor y de la luz, y en base a estos ejemplos, explicaba cómo los otros fenó-

---

<sup>5</sup> Este artículo se basa en una parte de la investigación que en estos momentos llevo a cabo para obtener el título de Doctor en Historia de las Ciencias en la Universitat Autònoma de Barcelona.

<sup>6</sup> He consultado la segunda edición de este texto de 1873, ECHEGARAY, José (1873) *Teorías modernas de la física. Unidad de las fuerzas materiales*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra.

<sup>7</sup> ECHEGARAY, José (1868) *Tratado elemental de termodinámica*, Madrid, Imprenta de los Conocimientos útiles.

<sup>8</sup> La vida de Echegaray como ingeniero y matemático ha sido estudiada por SÁNCHEZ RON, José Manuel (1990a) *José Echegaray: matemático y físico-matemático*, Madrid, Biblioteca de la Ciencia Española.

menos físicos de la electricidad y el magnetismo podían también ser interpretados como fenómenos mecánicos: mediante la concepción mecánica de estos fenómenos se explicaba la conversión de unos en otros. En el segundo libro, el autor desarrollaba las relaciones físicas que permitían el estudio teórico del ciclo de una máquina térmica para producir trabajo, a partir del equivalente mecánico del calor y de la ley de la entropía. Por el contenido del texto se podría interpretar que estaba destinado a estudiantes o personas con un interés muy específico y profundo en la materia, y que requería un buen conocimiento del cálculo diferencial e integral.

A lo largo de los restantes años del siglo XIX, muchos de los científicos españoles que abordaron estos temas, ya fuera de forma divulgativa o en textos de enseñanza, hicieron referencia a estos dos libros como parte de sus fuentes. Precisamente, uno de los científicos españoles que citó a Echegaray en sus textos fue el ingeniero industrial y doctor en Ciencias Exactas Gumersindo de Vicuña (1840-1890). Este ingeniero publicó en 1872 el libro *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica*<sup>9</sup>, en el que dedicaba el primer capítulo a exponer ampliamente la nueva teoría de la termodinámica para luego pasar a sus aplicaciones técnicas. En el prólogo de la obra, Vicuña recogía las obras que había consultado y mencionaba la de Echegaray: “Hemos leído así mismo la notable obra sobre Termodinámica del distinguido matemático español Sr. Echegaray [...]”<sup>10</sup>. Al final del libro se dedicaba un pequeño capítulo a explicar de forma general el principio de la conservación de la energía, cuyo contenido había expuesto Vicuña en el artículo “Energía natural” publicado en el *Boletín-Revista de la Universidad de Madrid* en febrero de 1870. Igualmente el libro *La termodinámica. Su historia, sus aplicaciones y su importancia*<sup>11</sup>, escrito por el ingeniero industrial Francisco de Paula Rojas en 1876, consignaba que entre los diversos textos consultados para la elaboración de su libro, se encontraban los trabajos de Echegaray y Vicuña.

Estos textos no deben ser interpretados como elementos aislados que hacían su aparición de forma casual y que hoy nos sirven para medir el lapso temporal de la “recepción” de una nueva teoría por parte de una comunidad

<sup>9</sup> VICUÑA, Gumersindo de (1872) *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica*, Madrid, Manuel Tello.

<sup>10</sup> VICUÑA (1872), 7.

<sup>11</sup> ROJAS, Francisco (1876) *Termodinámica. Su historia, sus aplicaciones y su importancia*, Barcelona, Establecimiento tipográfico de Luis Tasso.

científica periférica. Son elementos que nos informan de un quehacer científico local en un contexto cultural determinado y dentro de unas estrategias específicas<sup>12</sup>.

Una de estas estrategias era lograr la consolidación institucional de la física teórica en las universidades españolas. De hecho, la única asignatura de la facultad que contemplaba en la década de 1870 la enseñanza de una física teórica era la llamada *Física Matemática* que pertenecía a la sección de Ciencias Exactas, la cual daba una formación matemática pero no física. Desde su creación oficial, los planes de estudios de ciencias de las universidades españolas le prestaban poca atención a las asignaturas que no fueran de carácter aplicado y utilitario. En este sentido la Facultad de Ciencias tendía a convertirse en un espacio preparatorio para los futuros ingenieros y no en un espacio legítimo en sí mismo<sup>13</sup>. Por lo tanto una asignatura como la de *Física Matemática* era muy poco relevante. De forma significativa, esta cátedra fue retirada del programa de estudios en 1866<sup>14</sup>. La reforma al plan de estudios de la Facultad de Ciencias que se llevó a cabo en ese año era un reflejo del poco interés que el Estado tenía en la educación científica y técnica.

Los primeros años del siglo XIX acusaban dificultades para construir un sistema liberal en el que la industria se desarrollara ampliamente. A finales de la década de 1830 se establece la industria metalúrgica, se inicia la construcción de la red ferroviaria, la industria textil, en especial en Cataluña, se moderniza y la producción agrícola se incrementa<sup>15</sup>. Como herramienta para

---

<sup>12</sup> Para una discusión historiográfica sobre alternativas al modelo recepcionista del quehacer científico en la periferia, véase POHL, Stefan (2004) *La 'dignidad' de la termodinámica. La legitimación de una nueva disciplina en la España de la segunda mitad del siglo XIX*, Treball de Recerca, Universitat Autònoma de Barcelona, 18-29.

<sup>13</sup> Vicuña se quejaba especialmente de este hecho. VICUÑA, Gumersindo de (1875) *Discurso leído en la Universidad de Central en el acto de la apertura del curso académico de 1875 a 1876*, Madrid, Imprenta de José M. Ducazcal.

<sup>14</sup> Esta reforma fue realizada por el ministro de Fomento, Manuel de Orovio. Además de eliminar la citada asignatura, también eliminó la llamada *Fluidos Imponderables* y redujo las secciones de la Facultad de Ciencias a dos. Para una detallada descripción de los diversos planes de estudio que se pretendieron realizar en la Facultad de Ciencias en las universidades españolas a lo largo del siglo XIX, véase MORENO GONZÁLEZ, Antonio (1988) *Una ciencia en cuarentena. Sobre la física en la universidad y otras instituciones académicas desde la Ilustración hasta la crisis finesecular del XIX*, Madrid, C.S.I.C. Similar trabajo ha realizado MOYA CÁRCEL, Teodoro (1992) *La enseñanza de las ciencias: los orígenes de las facultades de ciencias en la universidad española*, Tesis doctoral, Universidad de Valencia.

<sup>15</sup> RIERA I TUÈBOLS, Santiago (1993) "Industrialization and technical education in Spain, 1850-1914". En: FOX, Robert; GUAGNINI, Anna (ed.) *Education, technology and industrial performance in Europe, 1850-1939*, Cambridge, Cambridge University Press, 141-170; 144.

consolidar esta revolución burguesa e industrial, que no terminó de cuajar del todo a lo largo del siglo XIX, sus protagonistas hicieron un esfuerzo para ofrecer los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para el florecimiento y el manejo de la nueva industria<sup>16</sup>. La década de 1850 reflejó estos esfuerzos: el estudio de la ingeniería se consolidó, las Escuelas de Ingeniería de Caminos, Minas, Montes, Agrónomos e Industriales fueron clasificadas como Escuelas de Estudios Superiores y varias Escuelas fueron abiertas en diferentes ciudades de la península<sup>17</sup>. Además, la ley de educación de 1857 (la llamada ley Moyano) canalizó el ingreso a las Escuelas de Ingeniería, creando una Facultad de Ciencias, en la que era necesario cursar tres años antes de entrar a las Escuelas. No obstante, en las inmediaciones de la revolución de 1868, la educación superior científica y técnica revelaba su gran debilidad. A excepción de la de Barcelona, todas las Escuelas de Ingeniería Industrial fueron cerradas, aduciendo falta de estudiantes, y en 1866 varias asignaturas del plan de estudios de la Facultad de Ciencias fueron retiradas por no ser de "absoluta necesidad" (incluyendo, como ya he mencionado, la de Física Matemática)<sup>18</sup>. La industrialización no lograba consolidarse y con ello la educación científica y técnica en las universidades, en especial en el área de las ciencias físicas, adolecía de grandes debilidades: el Estado no invertía en su desarrollo y las salidas profesionales eran muy escasas.

Tanto Echegaray como Vicuña fueron principales protagonistas en la reaparición de la asignatura de *Física Matemática*, en 1871, en la medida que Echegaray era en ese momento el ministro de Fomento, órgano que decidía la instrucción pública, y además fue el presidente del tribunal que seleccionó al catedrático. Vicuña, por su parte, fue el seleccionado<sup>19</sup>. Años más tarde, en 1905, la Universidad le pediría a Echegaray que asumiera esta cátedra, la cual conservaría hasta su muerte.

<sup>16</sup> Peset, Garma y Pérez Garzón ofrecen un esbozo del cultivo de las ciencias como elemento integrante del proceso revolucionario burgués español del siglo XIX. PESET, José Luis, *et al.* (1978) *Ciencias y enseñanza en la revolución burguesa*, Madrid, Siglo XXI.

<sup>17</sup> RIERA I TUÈBOLS (1993), 146.

<sup>18</sup> Sobre la historia de las Escuelas de Ingeniería Industrial en la segunda mitad del siglo XIX, véase LUSA MONFORTE, Guillermo (1997) "La difícil consolidación de las enseñanzas industriales (1855-1873)", *Documentos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona*, núm. 7. Sobre la formación de la Facultad de Ciencias y sus diversas reformas educativas, véase MORENO GONZÁLEZ (1988).

<sup>19</sup> El recuento detallado de la oposición se encuentra en el expediente de Física matemática de la Universidad Central, Archivo General de la Administración (AGA), 32/07427.

Bajo este contexto, los textos mencionados buscaron el reconocimiento público y especializado para derivar de ahí la autoridad necesaria para lograr legitimar el tipo de física que a ellos les interesaba y con esto lograr su consolidación institucional.

Siguiendo a Max Weber, la legitimación puede ser entendida como una serie de creencias extendidas a través de las cuales las instituciones obtienen su justificación y, en caso de conflicto, una defensa contra la oposición<sup>20</sup>. En este sentido, los textos de Vicuña y Echegaray aportaron diferentes argumentos que justificaban la existencia de una carrera de física teórica. El primer argumento utilizado, y que funcionaba en un nivel político, consistió en presentar la física teórica española como una fuente de prestigio nacional. Este discurso estaba destinado a convencer a los políticos de que el Estado debía invertir en la consolidación de una Facultad de Ciencias que, entre otras cosas, formara físicos puros y que aportara sólidas bases a los futuros ingenieros. La necesidad de su existencia institucional, a pesar de las dificultades existentes, era presentada como una cuestión nacional. Vicuña y Echegaray utilizaron como estrategia para su legitimación el prestigio que tenía la asignatura. A través de las páginas de la *Revista de Obras Públicas* y de la *Revista de la Universidad Central*, Echegaray y Vicuña, respectivamente, lanzaron una proclama nacionalista para convertir la Facultad de Ciencias en una institución que representara internacionalmente a la ciencia española, y que se convirtiera en el lugar de España en donde se enseñara la física teórica que tanto prestigio le había dado a otras naciones europeas<sup>21</sup>. Como dijera Echegaray en la *Revista de Obras Públicas*, “sabrán en el extranjero que hay en España por lo menos una docena de hombres –los profesores de la facultad– que conocen y explican la ciencia moderna”<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> VAN DER DAELE, Wolfgang; KROHN, Wolfgang. (1983) “Science in a Crisis of Legitimation”. En: SCHÄFER, Wolf (ed.) *Finalization in Science. The Social orientation of Scientific progress*, Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 237.

<sup>21</sup> Véanse VICUÑA, Gumersindo de (1873) “Concepto y clasificación de las ciencias físico-matemáticas”, *Revista de la Universidad de Madrid*, 2ª. época, tomo II, 125-146; ECHEGARAY, José (1866) “Sobre la reforma de la Facultad de Ciencias y de las Escuelas Especiales”, *Revista de Obras Públicas*, tomo XIV, 261-265. Aunque este último artículo no viene firmado, Sánchez Ron atribuye su autoría a Echegaray. Véanse SÁNCHEZ RON (1990a), 96 y SÁNCHEZ RON, José Manuel (1990b) “La física matemática en España: de Echegaray a Rey Pastor”, *Arbor*, 135 (532), 21-22.

<sup>22</sup> ECHEGARAY (1866), 264.



Como complemento a esta estrategia, se construyó un discurso que relacionaba la física teórica con la idea de progreso material en la medida que la ciencia pura repercutía de forma positiva en la ciencia aplicada. Para este discurso, el papel de la termodinámica fue esencial porque, desde la perspectiva de los autores estudiados, era el ejemplo más apropiado para demostrar que a partir de una especulación teórica se había logrado desarrollar una ciencia de enormes aplicaciones en la industria.

Uno de los significados con que se percibía a la termodinámica era el de su carácter articulador y unificador a la hora de abordar diferentes fenómenos físicos, en la medida que demostraba lo fructífero de las teorías mecánicas. ¿Pero qué quería decir exactamente una explicación unificada y mecánica de los fenómenos? Esta pregunta la respondía de forma sencilla Echegaray en su libro sobre las teorías modernas de la física. Recurriendo a los ejemplos del calor y la luz, Echegaray explicaba cómo estos fenómenos podían ser entendidos en términos mecánicos, es decir, en términos de partículas de materia que al chocar entre sí los originaban. El calor y la luz se podían entender simplemente como un tipo de movimiento de la materia. Para los fenómenos de la electricidad y el magnetismo, apuntaba Echegaray, aunque su ontología mecánica no estaba demostrada, la "física moderna" tendía a interpretarlos igualmente de forma mecánica. La física matemática se presentaba entonces como una ciencia basada en la especulación teórica, que suponía que los fenómenos físicos podían ser representados mediante modelos mecánicos de materia y movimiento, lo que a su vez permitía abordarlos matemáticamente y relacionarlos entre sí.

La termodinámica daba las pautas para interpretar y manejar otros fenómenos, de manera análoga a como la teoría mecánica lo había hecho con el calor. Además, la termodinámica tenía otro gran mérito: su íntima relación con las máquinas térmicas, es decir su capacidad para aportar una mejor comprensión del funcionamiento interno de las máquinas y por lo tanto la posibilidad que ofrecía para su optimización, símbolo a su vez del progreso económico. En consecuencia, lo que de una u otra forma se transmitía a través de los discursos de Echegaray, Vicuña y Rojas era la ecuación que igualaba progreso científico, y también económico, con el de una "física moderna" caracterizada por un cuerpo unificado de conocimiento y abordada matemáticamente, utilizando la termodinámica como el pilar esencial para esta unificación.

### 3.- Gumersindo de Vicuña.

Este ingeniero de procedencia vascongada, pero nacido en La Habana en 1840, inició su labor docente en la Universidad Central de Madrid como catedrático superior numerario de la Facultad de Ciencias de esa universidad. Esto significaba que, sin ser catedrático oficial de alguna asignatura específica, era el profesor en varias asignaturas del mismo centro. Vicuña había tomado posesión de la plaza de catedrático superior numerario el 16 de febrero de 1866 después de presentar un trabajo titulado "De la electricidad atmosférica" como ejercicio de oposición para la cátedra. A esta cátedra estaban adscritas las asignaturas de *Geografía, Física de Ampliación y Fluidos Imponderables*. Igualmente presentó otro trabajo titulado "De las cantidades imaginarias" para los ejercicios de oposición de otra cátedra a la cual estaban adscritas las asignaturas de *Complemento de Álgebra, Geometría analítica, Cálculos diferencial e integral y Geometría descriptiva*. Esto significaba que Vicuña estaba autorizado para impartir cualquiera de las mencionadas asignaturas, pero en la práctica, entre 1866 y 1870, este multifacético profesor solo impartió las asignaturas de *Complementos de álgebra, Geometría analítica* y las de *Cálculos*<sup>23</sup>.

Después de obtener su título en Ingeniería Industrial, en 1862, Vicuña ganó por oposición una pensión del gobierno con la que recorrió Francia, Bélgica e Inglaterra entre mayo de 1863 y octubre de 1864<sup>24</sup>. Al regresar a España, obtuvo la cátedra supernumeraria antes mencionada y entre 1868 y 1869 se licenció y doctoró en Ciencias Exactas, escribiendo su tesis doctoral sobre geometría: *Necesidad de la geometría. Sus divisiones. Medios que se han seguido en la presentación de sus doctrinas. Comparación de estos medios y exposición del que merece la preferencia*<sup>25</sup>. Vicuña obtuvo la cátedra de Física-matemática en julio de 1871 gracias al voto favorable de Echegaray: de los seis vocales que conformaban el tribunal, tres votaron a favor y tres en contra, siendo el voto de Echegaray, que era el presidente, el decisivo<sup>26</sup>. Vicuña conservó la cátedra hasta su muerte, acaecida en 1890. Además de sus labores docentes fue diputado a Cortes por el partido conservador en varias legislaturas (entre 1876 y 1890), fue representante en el Parlamento del distrito de Balmaseda y

---

<sup>23</sup> Véase el expediente de Vicuña de la Universidad Central, AGA 31/16916.

<sup>24</sup> Desafortunadamente no he podido averiguar lo que hizo Vicuña en esa visita al extranjero.

<sup>25</sup> El manuscrito de esta tesis se encuentra en el AHN, Universidades, 6272, Expediente 23.

<sup>26</sup> El recuento detallado de la oposición se encuentra en el expediente de Física matemática de la Universidad Central, AGA 32/07427.

ocupó, durante gobiernos conservadores, los cargos de Director General de Agricultura, Industria y Comercio, y Director de Rentas Estancadas<sup>27</sup>.

Siendo ya catedrático de Física matemática en la Universidad Central de Madrid, Vicuña publicó varios textos en los que expresaba la importancia de la física matemática y su relación con la termodinámica<sup>28</sup>. En estos textos, Vicuña proporcionaba criterios generales para el diseño de un plan de estudios que ofreciera mayores expectativas a sus alumnos. La solución que Vicuña encontraba para un Estado que como España “quiere vivir a la moderna pero con la mayor economía”, era tener una facultad de ciencias bien organizada y por lo tanto reconocida y consolidada, que sirviera tanto de espacio preparatorio de las Escuelas Especiales que formaban a los ingenieros, como un lugar de formación científica donde se pudieran enseñar las “modernas especulaciones y realizar diversos experimentos”. Es decir, Vicuña recurría a un modelo que, debido a las circunstancias económicas, trataba de no separar la Facultad de las Escuelas Especiales y así no perder la mayoría de su alumnado. No obstante la Facultad debía mantener “encendido el sagrado fuego de la especulación [porque, aunque] sus resultados no serán inmediatos, el país recogerá tarde o temprano los frutos, pues sin la ciencia pura las aplicaciones degeneran pronto en vil rutina, estéril para el invento”<sup>29</sup>. Vicuña argumentaba que en el caso español, una facultad de ciencias totalmente independiente de las Escuelas Especiales, sólo dedicada a “cultivar la ciencia pura en toda su extensión” como ocurría en Alemania, sería muy difícil de mantener porque “corto, cortísimo sería el número de alumnos que en tal caso acudiría a nuestras Facultades de Ciencias”<sup>30</sup>. Dadas

---

<sup>27</sup> Una breve reseña biográfica de Vicuña se encuentra en el artículo que recoge el Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano de Literatura, Ciencias y Artes, sobre Vicuña, Tomo XXII, 1897. Véase además, ALONSO VIGUERA, José (1961) *La ingeniería industrial española en el siglo XIX* (2ª edición), Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Como presidente de la Asociación Central de Ingenieros Industriales, Vicuña desempeñó un papel importante en el frustrado traslado a Madrid de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona (véase LUSA, Guillermo (1997) “Alarma en Barcelona: el traslado a Madrid de la Escuela de Ingenieros Industriales (1881)”, *Quaderns d’Història de l’Enginyeria*, vol. II, 119-190).

<sup>28</sup> Véanse por ejemplo VICUÑA (1873), VICUÑA (1875) y VICUÑA, Gumersindo de (1883) “Relaciones principales entre las teorías matemáticas de la física”. En: *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de la viuda e hijo de D. Eusebio Aguado.

<sup>29</sup> VICUÑA (1875), 64.

<sup>30</sup> *Ibidem*.

estas circunstancias, lo mejor era elevar el prestigio de la Facultad para asegurar su función como espacio preparatorio para los ingenieros y con esto lograr una institución consolidada y estable donde se podía cultivar, a la vez, la “ciencia por la ciencia.” Una vez dadas estas circunstancias, sería posible una verdadera profesionalización de la física teórica. Vicuña denunciaba el pobre apoyo institucional y privado que recibían las ciencias naturales en España y trataba de proponer el mejor camino a seguir partiendo de sus propios intereses, en su caso, en favor de un mayor reconocimiento de la física teórica.

Vicuña proponía además algunas pautas de cómo se debía enseñar la física matemática, y hacía notar que para su estudio se requerían unas profundas nociones de matemáticas y una constante búsqueda de generalización:

*“No debe cuidarse tanto en su enseñanza de hacer notar la aplicación cuantitativa de los varios fenómenos de la Óptica, Acústica, Electro-dinámica, etc., como de exponer el análisis común a la Acústica y Óptica, el que lo es de la Termostática y Electricidad, el de la Electrodinámica y Termodinámica. Antes que estudiar, por ejemplo, los fenómenos todos de la polarización de la luz, es preferible, en nuestra opinión, ocuparse de las teorías de los movimientos vibratorios, de la energía y del potencial, que son comunes a diversas partes, y que servirán aún de modo de investigación para otras”<sup>31</sup>.*

La propuesta de Vicuña no sólo se quedaba en palabras, sino que la articuló a través de su libro de texto sobre termodinámica. El libro *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica*, escrito por Vicuña en 1872, desborda el calificativo tradicional de libro de texto<sup>32</sup>. En el prólogo se consignaba que estaba destinado a los ingenieros. Era necesario, comentaba Vicuña, que los ingenieros no sólo supieran dirigir una máquina sino que conocieran los fenómenos físicos que en su interior ocurren y, por lo tanto, que conocieran la teoría que explicaba estos fenómenos. Así, comentaba Vicuña, su obra no “calculaba un motor” como ordinariamente se hacía,

---

<sup>31</sup> VICUÑA (1873), 139.

<sup>32</sup> Según Thomas Kuhn, los libros de texto hacen parte de un proceso pedagógico en el que se definen y perpetúan los paradigmas en los que se desarrolla la investigación científica durante la ciencia normal, KUHN, Thomas S. (1971) *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica, 213-214.

basándose en el uso de coeficientes numéricos adquiridos en la práctica por ingenieros y constructores, sino a partir de la teoría “verdaderamente racional y satisfactoria, deducida de la termodinámica”<sup>33</sup>. En todo caso, el libro incluía un capítulo dedicado a exponer la teoría cinética de los gases desarrollada por Rudolf Clausius (1822-1888) y que Vicuña conocía a través de la traducción al francés de Émile Verdet (1824-1866)<sup>34</sup>. En esta última parte del libro aparecía igualmente una sección dedicada a la conservación de la energía, en la que se explicaba cómo se verificaba en la naturaleza la transformación de energía eléctrica en energía calorífica a partir de las acciones químicas. También se hablaba de energía orgánica, es decir de la transformación de energía calorífica en energía animal.

Pero estas secciones no parecían ser muy relevantes en un libro de texto destinado a ingenieros dedicados a la construcción y optimización de máquinas térmicas. Por un lado, la exposición de la teoría cinética de los gases no aportaba ningún conocimiento positivo en el estudio de los ciclos de una máquina. De hecho el desarrollo de los ciclos no necesitaba basarse en la naturaleza del calor; por el contrario, para la teoría cinética de los gases era una cuestión básica y su punto de partida. Por otro lado, los libros de texto sobre termodinámica de la época no incluían la exposición de la teoría cinética de los gases de Clausius y no se referían a la teoría mecánica del calor como verdad absoluta en la que se basaba la termodinámica. Libros de texto sobre termodinámica, que fueron utilizados en España y a los que nos referiremos más adelante, eran una muestra de esa posición que evitaba relacionar la termodinámica con las hipótesis sobre la naturaleza del calor<sup>35</sup>. Posiblemente el que mejor resumiera la cuestión fue Max Planck (1858-1947), que en el prólogo de su *Termodinámica* de 1897 apuntaba:

*“En el desenvolvimiento de la Termodinámica se pueden distinguir claramente tres métodos distintos de investigación. El primero es el que más*

<sup>33</sup> VICUÑA (1872), 5.

<sup>34</sup> Vicuña se refería a la memoria escrita por Clausius en el año 1858, pero no precisaba su título. Posiblemente se refería a la que fue traducida al inglés al año siguiente con el título de “On the mean length of the paths described by the separate molecules of gaseous bodies on the occurrence of molecular motion”.

<sup>35</sup> Me refiero por ejemplo a los libros de SAINT-ROBERT, Paul (1882) *Principios de termodinámica*, Madrid, Imprenta de Pedro Abienzo. Traducción de la 2ª edición en francés de 1865, y BERTRAND, Joseph Louis (1887) *Thermodynamique*, Paris, Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire Bertrand.

*íntimamente penetra en la esencia del proceso considerado y, por lo tanto, debiera considerarse como el más exacto si fuese posible aplicarlo de un modo perfecto. Según él, el calor es producido por el movimiento de las moléculas y átomos químicos, considerados como masas discretas, dotadas de propiedades relativamente sencillas si se trata de cuerpos gaseosos, mientras que para los líquidos y los sólidos sólo pueden ser enunciadas, hasta la fecha, a grandes rasgos. Esta teoría cinética ha alcanzado desde su fundación por Joule, Waterston, Krönig y Clausius, un alto grado de desarrollo y de profundidad, pero tropieza en su ulterior desenvolvimiento con obstáculos que, por ahora, parecen insuperables, y que no sólo se deben a lo complicado que resulta el desarrollo matemático de las hipótesis admitidas, sino, sobre todo, en dificultades de principio referentes a la significación mecánica de los principios de Termodinámica, en las que no podemos detenernos.*

*Estas dificultades especiales se evitan mediante un segundo método llamado termodinámico, debido a Helmholtz que se limita a aceptar el más importante de los postulados de la teoría mecánica del calor, a saber, que el calor no es más que una forma del movimiento, pero renunciando expresamente a formarse una idea especial de la naturaleza del mismo. Este punto de vista es mucho más seguro que el precedente y proporciona plena satisfacción filosófica en la concepción mecánica de la naturaleza, pero hasta el presente no constituye un fundamento suficientemente amplio para poder construir sobre él una teoría particular. Todo lo que con él puede lograrse se reduce a la comprobación de algunas leyes generales deducidas ya por la experiencia.*

*El más fructífero de todos ha resultado ser un tercer método de estudiar la Termodinámica. Se distingue esencialmente de los dos precedentes en que no coloca en primer lugar la naturaleza mecánica del calor, sino que, prescindiendo por completo de toda hipótesis relativa a la esencia del mismo, parte de algunos hechos experimentales de carácter muy general, en especial de los llamados principios de Termodinámica. De ellos se deduce por un procedimiento puramente lógico una gran serie de nuevas proposiciones de Física y de Química que han resultado ser de gran fecundidad y que, sin excepción, han sido confirmadas en todas las ocasiones.*

*Este último procedimiento, más inductivo, que será empleado exclusivamente en este libro, es el que ciertamente corresponde mejor al actual estado de la ciencia, pero no debe ser considerado como definitivo, sino que,*

*muy probablemente, tendrá que ceder en lo futuro el lugar a otro método mecánico o quizá también electromagnético*<sup>36</sup>.

Así pues, el libro de Vicuña puede ser visto como un instrumento con el que se trataba de relacionar una ciencia desarrollada experimentalmente y de gran utilidad en la ingeniería (el tercer método descrito por Planck), con un tratamiento teórico de los gases, representante a su vez de una física teórica (el primer método descrito por Planck). Aunque el libro desarrollaba los principios experimentales de la termodinámica, Vicuña presentaba esta ciencia como una disciplina teórica que surgía a partir de la hipótesis mecánica del calor. El libro era un ejemplo tangible del modelo que la Facultad de Ciencias podía adoptar en sus clases: a partir de un conocimiento teórico se desarrollaba una ciencia útil, conocimiento por lo tanto compartido entre físicos e ingenieros, pero este conocimiento proseguía sus especulaciones y volvía al ámbito de la física teórica, cerrando, por así decirlo, un ciclo. En otras palabras, Vicuña agrupaba en un solo texto el tipo de conocimientos que podían ser fructíferos tanto para ingenieros como para físicos, lo cual permitía concebir un espacio (la Facultad de Ciencias) con esas mismas características. Como hemos mencionado anteriormente, Vicuña veía en la preparación a los ingenieros una función que le permitía a la Facultad de Ciencias, en el contexto español, asegurar su existencia y fortalecerse.

#### 4.- José Echegaray.

Echegaray utilizó unas estrategias para legitimar la física teórica muy similares a las de Vicuña. A través de libros de texto y de popularización, Echegaray construyó un discurso de progreso científico que repercutía en el progreso material: la física pura tenía su propia utilidad. Nuevamente el ejemplo de la termodinámica jugó un papel central en la construcción de este discurso.

Un año antes de la revolución de Septiembre de 1868, pero después de la reforma universitaria realizada por Orovio, Echegaray publicó el libro, *Teorías modernas de la física. Unidad de las fuerzas materiales*. El libro era en realidad la recopilación de una serie de artículos que el autor había publicado en las

---

<sup>36</sup> PLANCK, Max (1922) *Termodinámica*, Madrid, Calpe. Traducción de la 6ª. edición alemana por J. Palacios. Esta versión en castellano contiene el prólogo de la primera edición de 1897, del cual proviene la cita.

revistas de *Obras Públicas*, la *Hispano-Americana* y la de *España* durante ese mismo año. El texto gozó de bastante popularidad y su objetivo, como el mismo autor apuntaba, era la popularización de la ciencia: fue varias veces reeditado (en 1873 se publicó una segunda edición y en 1883 una tercera, esta vez ampliada) y profusamente citado por sus contemporáneos. Gracias a esta obra, Ramón y Cajal, comparó a Echegaray con el inglés John Tyndall (1820-1893)<sup>37</sup>, uno de los grandes divulgadores de las nuevas teorías del calor desde que, en 1851, tradujo al inglés la obra del físico y médico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894), *Über der Erhaltung der Kraft* y varias memorias del también físico alemán Rudolf Clausius (1822-1888) sobre la teoría mecánica del calor. La obra de divulgación más difundida de Tyndall fue la recopilación de su serie de conferencias de 1862 presentadas en el Royal Institution de Londres bajo el título de *Heat. A Mode of Motion*, obra que llegó a España traducida al francés a finales de esa década y que posteriormente fue traducida al castellano en 1885<sup>38</sup>.

En su libro, Echegaray se proponía explicar cómo eran entendidos bajo las nuevas teorías físicas los fenómenos del calor, la luz, la electricidad y el magnetismo, dedicando un capítulo a cada uno de ellos, y resaltando sus relaciones. De hecho, Echegaray utilizó varios de los ejemplos expuestos por Tyndall, a la hora de explicar la transformación de calor en trabajo y viceversa. En pocas palabras, el objetivo de Echegaray era el de “dar a conocer esta tendencia sintética de la física moderna, y reunir en unos cuantos artículos lo más sustancial de la materia, poniéndolo en lo posible al alcance de la mayor parte de los lectores”<sup>39</sup>. En este proceso, Echegaray complementó su libro con uno más técnico, *Tratado elemental de termodinámica*<sup>40</sup>, para así aumentar la credibilidad de su discurso.

Para Echegaray era de capital importancia en el proceso de unificación que estaba sufriendo la física el hecho de que la gran ley a la que convergían

---

<sup>37</sup> En 1916, a raíz de la muerte de Echegaray, varias personalidades españolas escribieron en la revista *Madrid Científico* sobre este personaje, una de ellas fue el científico Ramón y Cajal, el cual apuntaría al referirse al libro en cuestión: “En este simpático apostolado de la ciencia es superior al célebre físico y conferenciante inglés Tyndall, á quien aventaja Echegaray en gracia y soltura de dicción, potencia sintética y creadora y gusto acendrado de la forma [...]”. *Madrid Científico*, 1916, 483.

<sup>38</sup> TYNDALL, John (1874) *La Chaleur: mode du mouvement*. Paris, Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire. 2ª. edición en francés, y TYNDALL, John (1885) *El calor. Modo de movimiento*, Barcelona, El Progreso Científico. Traducción del inglés de H. Bravo Bustamante.

<sup>39</sup> ECHEGARAY (1873), VI.

<sup>40</sup> ECHEGARAY (1868).



las diversas leyes empíricas se apoyaba en la más racional de las ciencias físicas: la mecánica, o como el autor la llamaba, *la ciencia de las cantidades*. En general, esta posición la condensaba Echegaray en la siguiente frase:

*“Es innegable que esta especie de fusión de fenómenos aislados, y al parecer radicalmente distintos, en uno solo general que los identifica, y que se expresa por una gran ley, es un importantísimo adelanto; adelanto tanto mayor, en el caso que nos ocupa, cuanto de este modo la Física viene a ser una especie de Astronomía molecular, sujeta al análisis algebraico, y recibiendo de la ciencia de la cantidad y del orden su último grado de perfección”<sup>41</sup>.*

Así pues, Echegaray definía uno de los rasgos fundamentales para medir el progreso de la física: en la medida en que la física basara su cuerpo explicativo en modelos esencialmente mecánicos, que a su vez estaban sujetos, por lo menos en teoría, a un tratamiento puramente matemático, la física se acercaba a una ciencia perfecta, que se encarnaba en la *física matemática*. En esencia, el libro de Echegaray definía las fronteras y características de la física matemática y a su vez trataba de legitimar frente al mayor público posible la validez de esta disciplina y de su enseñanza, al presentarla como garante del progreso científico.

La teoría del calor y la idea de unidad eran fácilmente explicables a partir de unos ejemplos, aparentemente sencillos, corroborados experimentalmente. En primer lugar, era un hecho que el trabajo mecánico se podía convertir en calor como lo mostraban, por ejemplo, los experimentos que el físico inglés James Prescott Joule (1818-1889) había realizado en la década de 1840 y que le habían valido ser considerado, posteriormente, como uno de los descubridores de la ley de la conservación de la energía<sup>42</sup>. De igual forma era evidente

---

<sup>41</sup> ECHEGARAY (1873), 50.

<sup>42</sup> El experimento de Joule más significativo y que sale en todos los libros de texto en la actualidad como punto de partida de la termodinámica es el que presentó en 1845 ante la British Association for the Advancement of Science (BAAS). En éste, Joule usaba un cubo con un fluido. Dentro del cubo había unas paletas conectadas a un hilo que a su vez estaba amarrado a un peso. En la medida que el peso desciende verticalmente por la acción de la gravedad las paletas dentro del cubo giran y hacen que el fluido aumente su temperatura. El trabajo realizado por la gravedad es entonces equivalente a la cantidad de calor recibido por el fluido independientemente del tipo de fluido. Vale la pena hacer notar que este experimento no fue en absoluto percibido por los miembros de la BAAS como prueba irrefutable de la

que el choque inelástico de dos cuerpos, por ejemplo cuando una bala se estrella contra una pared, producía calor. Precisamente con el uso de estos dos ejemplos Echegaray empezaba la exposición de la nueva ciencia del calor en su obra de divulgación:

*“El calor es un movimiento que los ojos no ven, pero que los sentidos, bajo una forma especial, perciben: por eso el calor se transforma en fuerza y movimiento, como sucede en las máquinas de vapor; y al contrario el movimiento y la fuerza desaparecen y se anulan, brotando en cambio cierta cantidad de calor que antes no existía, como sucede en los choques [...]”*<sup>43</sup>.

Por un lado, Joule había logrado medir con precisión la cantidad de calor que se convertía en trabajo en ciertos procesos mecánicos. Así, la unidad del calor, que en ese tiempo se denominaba caloría y que expresaba la cantidad de calor que se requería para elevar una determinada cantidad de materia, una determinada temperatura<sup>44</sup>, era, según estos experimentos, equivalente a la unidad de trabajo. El trabajo se definía como la cantidad de fuerza aplicada a un cuerpo multiplicado por la distancia que recorría el cuerpo debido a esta fuerza y comúnmente llamado Kilogrametro<sup>45</sup>. El experimento de Joule demostraba que una caloría era equivalente, multiplicada por un determinado factor, a un kilogrametro<sup>46</sup>. Dicho en otras palabras, era posible derivar de esta experiencia que la esencia del trabajo y del calor era la misma. Por extrapolación se podía entonces esclarecer y comprender la esencia o naturaleza

---

conservación de la energía; esto fue una construcción histórica que se haría en la década de 1850, por parte del grupo británico de la *ciencia de la energía*. Al respecto véase SMITH, Crosbie (1998) *The Science of Energy. A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*, Chicago, The University of Chicago Press, 70-73 y 79-81.

<sup>43</sup> ECHEGARAY (1873), 23.

<sup>44</sup> En ese momento, una caloría se definía como la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un kilogramo de agua un grado centígrado, suponiendo que la cantidad de calor necesaria para aumentar un grado de temperatura era constante a lo largo de la escala de temperaturas para el agua en estado líquido.

<sup>45</sup> El término “Kilogrametro” o “Kilogramometro” aunque en términos estrictos es erróneo, era y sigue siendo utilizado, especialmente en el ámbito de la ingeniería, como unidad de trabajo. El error estriba en que el kilogramo no es una unidad de fuerza sino de masa, lo correcto sería entonces denominarlo “Newtonmetro”, lo que no es otra cosa que la actual unidad de “Joule” o “Julio”.

<sup>46</sup> La equivalencia generalmente aceptada era 430, es decir 430 Calorías son iguales a un Kilogrametro:  $T = 430 C$ , donde T es trabajo en Kilogrametros y C es calor en Calorías.

del calor, ya que sería la misma que la de trabajo: materia en movimiento, cuantificado bajo el concepto mecánico de *fuerza viva*. Así, el calor podía ser comprendido como un tipo de fuerza viva.

Por el otro lado, el ejemplo de la esfera chocando contra una pared era contundente a la hora de presentar el calor como una forma de movimiento y permitía una fácil comprensión del concepto de conservación de la fuerza viva. La fuerza viva que tiene una esfera en el instante en el que choca es de  $1/2 mv^2$  (un medio de su masa por el cuadrado de su velocidad). En apariencia, esta fuerza viva desaparece en el momento de chocar porque su velocidad se ha reducido a cero, pero como muestra la experiencia, el hecho de que la esfera se caliente, demuestra que la fuerza viva se ha convertido en calor; un hecho perfectamente comprensible si pensamos en el calor como una forma de movimiento: el movimiento de traslación de la esfera, al chocar, se ha convertido en un movimiento microscópico de las partículas que componen la esfera. La fuerza viva no ha desaparecido, se ha transformado.

Así pues, a partir de estos dos ejemplos concretos se lograba un discurso coherente y fácilmente asimilable de conceptos tan complejos y abstractos como la conservación de las fuerzas en la naturaleza a partir de su transformación, que se reducía a un cambio de movimiento de la materia. La capacidad explicativa y por lo tanto divulgativa del modelo mecánico aplicado al calor residía en su cercanía a fenómenos cotidianos y su inteligibilidad visual, a diferencia de lo que ocurría con el estudio mecánico de la luz. La suposición que la fuerza viva de las partículas del éter se conservaba en el momento de reflejarse y refractarse era el punto de partida para el desarrollo matemático de la óptica mecánica, pero para demostrar la validez de esta hipótesis, su explicación tenía que pasar por un complejo desarrollo matemático. La teoría mecánica de la luz no abarcaba procesos de conversión ni aportaba experimentos mecánicamente inteligibles que demostraran su conversión de un tipo de fuerza viva a otro.

La particularidad de la exposición de Echegaray residía en que inscribía la termodinámica dentro de un discurso destinado a legitimar la física teórica. Para él la física matemática tenía unas características esenciales: tendencia unificadora de los fenómenos bajo un marco explicativo basado en la mecánica, permitiendo la matematización de su comportamiento y por lo tanto la predicción teórica de sus fenómenos.

Hasta este punto, la termodinámica cumplía un papel fundamental en la exposición de la física moderna en el discurso de Echegaray, pero su verda-

dera posición dentro del campo de la física matemática no era tan clara, o dicho de otra forma, considerar la termodinámica como parte de la física matemática definida por Echegaray no era tan sencillo y evidente. Estas cuestiones, que Echegaray evitaba sacar a la luz en su libro de divulgación, eran discutidas, no obstante, en escritos presentados ante la Real Academia de Ciencias de Madrid, o, posteriormente, a sus alumnos de la cátedra de física matemática<sup>47</sup>. Parte del problema lo resumía el propio Echegaray frente a la Academia de Ciencias de Madrid, en 1894, de la siguiente manera:

*“En la hipótesis mecánica se funda toda la termo-dinámica, por más que se empeñen algunos autores ilustres en hacer de esta ciencia una ciencia puramente experimental. Lo es, a no dudarlo; pero si se prescinde de aquella hipótesis sencillísima, que considera al calor como un movimiento vibratorio de la materia ponderable y del éter, haciendo que entre de este modo en la gran síntesis de la Física matemática, todas las fórmulas empleadas en dicha ciencia, por mucho que sea el talento de los autores, y los hay tan ilustres como Mr. Bertrand, serán fórmulas áridas y secas, traducción fría de resultados experimentales, sin luz que las ilumine, sin belleza científica, sin una imagen material, sea o no simbólica, en que la inteligencia repose y se recree. [...] Sin la experimentación, la ciencia carece de cimiento sólido. [...] Pero sin las grandes hipótesis mecánicas y sin la aplicación del análisis matemático, la ciencia no tendría más que cimientos y muros: ni columnatas, ni torres atrevidas, ni cresterías prodigiosas, ni todo lo que representa la aspiración a ganar alturas y horizontes y a cuajar de bellezas el espacio”<sup>48</sup>.*

Este hecho era evidente: si no se partía de la base de que el calor era una forma de movimiento, como lo proponían algunos autores al decir que el

---

<sup>47</sup> En especial, véase ECHEGARAY, José (1883) “Contestación al discurso ‘Relaciones principales entre las teorías matemáticas de la física’ de Gumersindo Vicuña”. En: *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de la viuda e hijo de D. Eusebio Aguado. ECHEGARAY, José (1894) “Contestación al discurso ‘Algunas reflexiones sobre la unidad de las fuerzas físicas’ de Francisco de Paula Rojas”. En: *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de Luis Aguado. ECHEGARAY, José (1905) “Discurso leído en la Universidad Central en la solemne inauguración del curso académico de 1905 a 1906. La ciencia y la crítica”, reproducido en SÁNCHEZ RON (1990a), 275-346.

<sup>48</sup> ECHEGARAY (1894), 38-39. El personaje al que Echegaray hacía referencia era el matemático francés Joseph Bertrand (1822-1900), autor de un libro de texto sobre termodinámica publicado en francés en 1887. BERTRAND (1887).

desarrollo de la termodinámica era independiente de la naturaleza del calor<sup>49</sup>, el discurso que venía realizando Echegaray se veía gravemente perjudicado en sus cimientos. En primer lugar, al eliminar el carácter mecánico del calor y dejar como pregunta abierta su naturaleza, la exposición de la termodinámica perdía las características que le permitían ser un excelente representante de la física matemática y con ello se perdía una gran herramienta en el proceso de consolidar y promover a esa rama de la física en España. Si a la primera ley de la termodinámica se la tomaba como una constatación experimental que relacionaba el trabajo con el calor y a la segunda como una ley axiomática que enunciaba un comportamiento de la naturaleza, ya no sería posible mostrar que sus grandes triunfos se derivaban de una ciencia teórica y todo el crédito se lo llevaría la ciencia experimental y con ella, los que se oponían a un tratamiento del estudio de la naturaleza basado en teorías generales o los que estaban a favor de aproximaciones fenomenológicas.

Además, presentar a la termodinámica como fruto de la física matemática, implicaba asociar dos aproximaciones divergentes a los fenómenos físicos. Por un lado, se estaba recurriendo a la utilidad de la termodinámica, como un método para optimizar las máquinas térmicas, y por el otro, se hacía énfasis en su fundamento mecánico-hipotético. Esto era bastante peculiar porque la ciencia de la termodinámica, como herramienta conceptual de los ingenieros, se presentaba generalmente como una ciencia basada estrictamente en la experimentación, que no dependía en absoluto de hipótesis mecánicas y cuyas leyes se derivaban de hechos experimentales. Y es que la termodinámica no lograba penetrar en la intimidad de los fenómenos que estudiaba, se quedaba en relaciones globales de sistemas macroscópicos siendo imposible la deducción teórica de sus principios y por consiguiente la predicción analítica de sus fenómenos.

Así pues, la única forma de vincular la física matemática con la termodinámica se basaba en su concepción mecánica que le permitía vislumbrar un

---

<sup>49</sup> Macquorn Rankine (1820-1872), uno de los fundadores de la termodinámica, al referirse a ella en un artículo para la primera edición de la *Cyclopaedia of the Physical Sciences* editada por J. P. Nichol y publicada en 1857 afirmaba: "A pesar de que las hipótesis mecánicas [...] pueden ser útiles e interesantes como medio para anticipar leyes, y para conectar la ciencia de la termodinámica con la de mecánica ordinaria, se debe recordar que la ciencia de la Termodinámica no depende de ningún modo, para su certeza, de esa hipótesis o de ninguna otra, habiendo sido reducida esta ciencia a un sistema de principios, o hechos generales, que expresan estrictamente el resultado experimental de la relación entre calor y la fuerza motriz." Citado en SMITH (1998), 165. [La traducción es mía].

momento en que fuera posible saber las velocidades y las masas de las partículas que componían los cuerpos y así aplicar las leyes de la mecánica a estos sistemas cuando recibían o perdían calor, es decir, cuando sus velocidades aumentaban o disminuían. En este sentido, Echegaray veía en la obra del físico alemán Rudolf Clausius los mayores avances, en lo que se llamaba la teoría cinética de los gases y que calculaba la presión de un gas a partir de la velocidad media de sus partículas, pero esta teoría no era fructífera para dar cuenta de los fenómenos térmicos en los cuales se producía trabajo u otros efectos<sup>50</sup>.

El énfasis de que la termodinámica era una ciencia que emergía a partir de hipótesis mecánicas se reflejaba muy claramente en el libro de texto que Echegaray escribió en 1868. En sus memorias, Echegaray calificó el texto de “obra de alta ciencia”, que tenía como objeto “ir despertando estas aficiones matemáticas en España”:

*“La obra a que me refiero estaba inspirada en los trabajos más modernos, por entonces, del extranjero, y era materia desconocida en España y que no se enseñaba en ninguna parte, ni en Escuelas especiales, ni en Institutos; por descontado, ni en los libros de Física de entonces, ni en las Universidades tampoco aparecía”<sup>51</sup>.*

A primera vista es un poco sorprendente que un ingeniero de Caminos dedicado en ese momento a dar clases especialmente de matemáticas, en la Escuela Especial de Caminos de Madrid publicara un libro de texto sobre termodinámica y más aún, en un momento, en que su enseñanza no estaba contemplada ni en las universidades ni en las Escuelas especiales. En ese sentido el *Tratado Elemental de Termodinámica*, más que aportar una herramienta de enseñanza para una materia inexistente en ese momento en España, le otorgaba a Echegaray una prueba concreta para mostrar al público que era un poseedor fidedigno del conocimiento que divulgaba.

Para realizar su obra, Echegaray se había basado principalmente en los *Principios de Termodinámica* (1865) del italiano Paolo Ballada conde de Saint-Robert (1815-1888). Según Echegaray este texto era el que mejor aportaba “la claridad y el método que tan necesarios son en las obras didácticas”<sup>52</sup>. En el

---

<sup>50</sup> Recuérdense las palabras de Planck citadas anteriormente.

<sup>51</sup> ECHEGARAY, José (1917) *Recuerdos*, Madrid, 289.

<sup>52</sup> ECHEGARAY (1868), 13.

libro de Saint-Robert se evitaba discutir la naturaleza del calor y se resaltaba que las leyes de la termodinámica eran el resultado exclusivo de observaciones experimentales<sup>53</sup>.

No obstante la posición de Echeagaray era bastante diferente. Aunque al principio del libro no aseveraba la realidad de la naturaleza mecánica del calor, después de exponer en qué consistía el equivalente mecánico del calor, Echeagaray describía esta ley (la relación constante entre calor y trabajo) como consecuencia de dos principios fundamentales y racionales: “la fuerza viva del universo es constante [y] el calor es una forma del movimiento; es el movimiento interno y molecular de la materia”<sup>54</sup>.

Por lo anterior, puede decirse que este libro no era tan sólo una obra didáctica destinada a enseñar el método para determinar el estado de equilibrio de un gas en las diferentes etapas de una máquina térmica y con ello predecir su capacidad de producir trabajo, sino que también era una definición personal de cómo Echeagaray interpretaba a la termodinámica: sus axiomas fundamentales *eran* dependientes de las hipótesis que explicaban la naturaleza del calor<sup>55</sup>. En este sentido su “libro de texto” era un apoyo, arropado matemáticamente, de su libro de divulgación de 1867; los dos textos se volvían inseparables. Cada uno se sustentaba en el otro y de forma conjunta construyeron un significado particular de la termodinámica y de la física matemática, y le permitieron a su autor ser percibido en España como el representante legítimo de ellas.

En la exposición de la termodinámica como elemento de apoyo en la búsqueda de reconocimiento institucional para la física teórica, un complemento ideal vino de la mano del ingeniero industrial Francisco de Paula Rojas. Mediante la publicación de un libro sobre la historia de la termodinámica,

---

<sup>53</sup> He consultado la traducción al castellano que se hizo del libro de Saint-Robert en 1882, SAINT-ROBERT (1882), 2.

<sup>54</sup> ECHEGARAY (1868), 26.

<sup>55</sup> Es interesante ver cómo Peter Harman describe la posición que tomó Clausius al respecto: “Cuando en 1850 Clausius estableció los fundamentos conceptuales de la termodinámica, advirtió que, si bien el principio de equivalencia del calor y el trabajo podía ser visto como conceptualmente inteligible si se suponía que el calor consistía en el movimiento de las partículas que constituían los cuerpos, él eludía considerar la naturaleza de los movimientos moleculares que daban lugar al fenómeno del calor y podían convertirse en trabajo mecánico. En vez de ello, formuló los axiomas de la termodinámica de manera independiente de las hipótesis acerca de la naturaleza de la materia.” HARMAN, P. M. (1990) *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*, Madrid, Alianza Editorial, 156.

Rojas aportó una construcción histórica que reforzaba la imagen de la termodinámica que Echegaray y Vicuña habían delineado.

### 5.- Francisco de Paula Rojas.

Antes de abordar los textos sobre termodinámica escritos por Rojas, parece pertinente presentar un repaso de su carrera académica. Su recorrido es una muestra palpable del arduo proceso de profesionalización y consolidación de la física en la España de la segunda mitad del siglo XIX, lo que nos permite comprender mejor los esfuerzos legitimadores que sus protagonistas realizaban.

Rojas nació en Jerez de la Frontera el 29 de Noviembre de 1832. Realizó la primera y segunda enseñanza en Cádiz y obtuvo el título de bachiller en Filosofía por la Universidad Literaria de Sevilla en 1849. De ahí se trasladó a Madrid para seguir sus estudios de ingeniería. En primera instancia ingresó en 1850 a la Escuela Preparatoria de Ingenieros Civiles, Caminos, Minas y Arquitectos, pero después del primer año abandonó esta escuela para ingresar en el Real Instituto Industrial. Antes de recibir su título de Ingeniero Industrial, fue nombrado catedrático interino de Química en la Escuela Industrial de Sevilla, cargo que ejercería por muy poco tiempo ya que en ese mismo año, 1854, ganó por oposición la cátedra de Física General y Aplicada en la Escuela Industrial de Valencia. En este periodo realizó los dos cursos superiores para acceder al título de Ingeniero Industrial, obteniéndolo el 1 de abril de 1857<sup>56</sup>.

En la Escuela de Valencia permaneció por espacio de 10 años, primero en la cátedra de *Física general* y después en la de *Física Industrial* que constaba de los cursos de *Aplicaciones del Calor* y *Aplicaciones de la Luz y la Electricidad*. Además de este cargo, fue catedrático interino de las asignaturas de *Álgebra* y *Geometría Analítica* en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valencia durante los años académicos de 1860 y 1861.

A lo largo de estos años de docencia en la Escuela de Valencia, el interés científico de Rojas se fue definiendo de forma clara; el contenido de su cátedra de *Física Industrial* lo representa perfectamente. En efecto, varias de

---

<sup>56</sup> Rojas perteneció a la primera promoción de Ingenieros Industriales de España, véase ALONSO VIGUERA (1961).



sus obras científicas futuras se centrarían en el calor y la electricidad<sup>57</sup>. No son por lo tanto sorprendentes los infructuosos esfuerzos que realizó Rojas para que, cuando se cerró la Escuela de Valencia, en 1865, se le otorgara una cátedra similar a la ahí ejercida.

En un primer momento tras el cierre de esta escuela, Rojas fue designado en 1865 catedrático de *Máquinas* en la Escuela Industrial de Sevilla, pero tratando de evitar esta designación envió una carta dirigida al director general de Instrucción Pública, en la que solicitaba que le fuera asignada una cátedra en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Madrid, argumentando que la cátedra que le habían asignado en Sevilla no formaba parte de su especialidad e intereses científicos<sup>58</sup>. El resultado de esta acción no fue afortunado y Rojas terminó en la misma cátedra de *Construcción de Máquinas*, pero en la Escuela Superior Industrial de Barcelona. De esta forma, Rojas permanecería en una cátedra alejada de sus intereses científicos durante un periodo de 15 años<sup>59</sup>, hasta que por la muerte del catedrático Joaquín Balcells, la asignatura de *Física Industrial* en esta Escuela quedó libre y, por iniciativa propia, Rojas pidió su traslado a ella. La cátedra le fue asignada el 12 de marzo de 1880<sup>60</sup>.

Pero el hecho que obtuviera esa cátedra no fue un acto fortuito: precisamente durante esos 15 años, Rojas se había forjado una alta reputación en las esferas científicas españolas: su memoria sobre *Calentamiento y ventilación de edificios* había sido premiada por la Academia de Ciencias de Madrid en 1867;

---

<sup>57</sup> Además de la ya mencionada *Termodinámica*, Rojas publicó varios trabajos relacionados con el calor como *Calentamiento y ventilación de edificios* (1868), premiado por la Real Academia de Ciencias Exactas de Madrid, o *Aplicaciones de Calor* (1885), que eran los apuntes de su cátedra de Física Industrial en la Escuela de Barcelona. Con respecto a la electricidad sus trabajos son numerosos: fue fundador y director de la revista *La Electricidad* (1883-1890) en la que escribió numerosos artículos sobre este tema; su *Estudio elemental teórico-práctico de las máquinas dinámico-eléctricas* (1886), fue premiado por la Real Academia de Ciencias de Madrid, también publicó *Tratado de electrodinámica* (1892), entre otros. Para una lista extensa de la producción bibliográfica de Rojas, véase FORONDA Y GÓMEZ, Manuel (1948) *Ensayo de una bibliografía de los ingenieros industriales*, Madrid, Estados "Artes Gráficas", 465-471.

<sup>58</sup> Tanto la carta mencionada como su respuesta se encuentran en el expediente de Rojas de Escuelas Especiales, AGA 31/15074.

<sup>59</sup> Su amigo José Rodríguez Mourelo escribió sobre este suceso desafortunado: "Muy grande debió ser la contrariedad del maestro con semejante cambio, que significaba apartarle de sus aficiones y trabajos predilectos, interrumpir los comenzados, distraer su labor hacia otros estudios, y sobre todo, desviar su bien determinada vocación". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas de Madrid*, 1908-1909, 682.

<sup>60</sup> Véase el expediente de Rojas de la Universidad Central de Madrid. AGA, 31/16616.

pertenecía desde 1873 a la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (RACAB), institución donde presentó en 1877 la memoria *El problema físico y el químico se resolverán en el mecánico*, y un año antes había logrado publicar su historia de la termodinámica gracias a que había ganado un premio del Ateneo Barcelonés. No en vano el Consejo de Instrucción Pública, que le había otorgado la cátedra de Física Industrial en Barcelona, consignaba en su carta de aceptación: “[el consejo] se congratula de que el Sr. Rojas haya deseado espontáneamente su traslado a la cátedra de Física, y manifiesta que si no la hubiera solicitado, habría empleado todos los medios para conseguirlo, por el bien que resulta a la enseñanza.” En esta misma carta se mencionaba que el rector de la Universidad de Barcelona lo recomendaba por su reconocida competencia, y por el premio que Rojas había recibido en el Ateneo Barcelonés<sup>61</sup>.

Así pues, en este periodo Rojas había logrado que se le considerara una autoridad en el campo de la física, volviendo a obtener por fin una cátedra que era afín a sus intereses científicos y donde podía enseñar las teorías que expusiera en la RACAB y en su libro de termodinámica.

Para legitimar la enseñanza de las hipótesis mecánicas y demostrar su capacidad de producir un cuerpo de conocimiento unificado y con consecuencias útiles en el mundo material, Rojas recurrió al uso de la historia de la termodinámica. En este sentido, el libro *La termodinámica. Su historia, sus aplicaciones y su Importancia* (1876), le confería a Rojas la autoridad y respaldo suficiente como para que las teorías mecánicas como elementos explicativos de los fenómenos físicos fueran percibidas con un alto grado de credibilidad. De hecho, Rojas comentaba al final de su libro cómo la termodinámica había vinculado todas las ciencias naturales dejando entrever la unidad de la física a partir de la mecánica, pero en ese punto Rojas tomaba una posición muy cauta:

*“Afirmar la tendencia hacia esa síntesis de los fenómenos de la materia pura no es lo mismo que afirmar la unidad de las fuerzas físicas; ni menos es pronunciarse o decidir sobre cual sea la naturaleza en el caso de que fuera una. La opinión sobre estas dos grandes cuestiones, del autor de esta memoria, sobre tener poquísimos o ningún valor autoritario, estaría aquí fuera de lugar oportuno”<sup>62</sup>.*

<sup>61</sup> La carta aparece en el expediente de Rojas de la Universidad Central de Madrid. AGA, 31/16616.

<sup>62</sup> ROJAS (1876), 146.

Una vez publicado su libro, Rojas decidió exponer la unidad de las fuerzas físicas en la RACAB. En la memoria presentada en esta institución, Rojas proponía una visión del mundo físico basada exclusivamente en las nociones de materia y movimiento: el choque de la materia, tanto ponderable como etérea era pues el origen de todo fenómeno físico, las transformaciones de las fuerzas eran simplemente transformaciones de movimiento y por lo tanto las fuerzas no eran una característica esencial de la materia. En otras palabras, su historia de la termodinámica fue el antecedente necesario para exponer con éxito la nueva teoría de la unidad.

En el libro, Rojas trataba de construir, a través del ejemplo de la termodinámica, una historiografía de avances científicos y sociales que culminaban en una “física moderna” claramente distinguible de su antecesora o “física antigua”. Rojas presentaba a la termodinámica como la encarnación de la física moderna, es decir, las características epistemológicas que habían permitido el surgimiento de esta teoría eran exactamente las mismas que la nueva física debía adoptar para asegurar su progreso. La nueva ciencia del calor era presentada como el gran logro científico del siglo XIX, y demostraba que las hipótesis mecánicas debían ser adoptadas, por lo tanto, en todos campos de la física.

Como hemos visto, Echegaray y Vicuña construyeron a través de sus textos un discurso que aportaba una serie de argumentos legitimadores para darle un espacio institucional sólido a la enseñanza de una física teórica basada en hipótesis mecánicas, y la teoría expuesta por Rojas ante la RACAB y su libro sobre la historia de la termodinámica eran un complemento de este discurso. De hecho, Rojas presentaba las ideas de Echegaray y Vicuña como una fuente de su propio libro, en los términos siguientes: “En España hemos visto publicadas la obrita de D. Gumersindo Vicuña, y las notabilísimas especulaciones científicas del sabio Echegaray sobre puntos de la mayor importancia en la Teoría mecánica del calor”<sup>63</sup>. Además, en su memoria de la RACAB, Rojas articulaba las ideas de Echegaray contenidas en su *Teorías Modernas de la Física*. Con esto Rojas se respaldaba en el prestigio científico que tenía el “sabio Echegaray” para darle mayor credibilidad a su exposición.

---

<sup>63</sup> ROJAS (1876), 2. La “obrita” de Vicuña hacía referencia muy seguramente a *Teoría y Cálculo de las Máquinas de Vapor y Gas con arreglo a la Termodinámica*. VICUÑA (1872).

El libro de Rojas fue publicado y ampliamente difundido gracias al auspicio del Ateneo Barcelonés. Rojas fue el ganador de un concurso público del Ateneo, abierto en 1873, que tenía como objetivo premiar la mejor obra que se presentara sobre la nueva ciencia de la termodinámica. Su difusión se vio asegurada, ya que se regaló a todas las bibliotecas públicas y particulares y a los establecimientos de instrucción del reino<sup>64</sup>.

El Ateneo Barcelonés se había creado poco antes, en 1872, al fusionarse el “Ateneo Catalán” y el “Centro Mercantil Barcelonés” y se convirtió, como ha estudiado Jordi Casassas, en complemento, y a veces en sustituto, de la vida intelectual que se desarrollaba en Barcelona, incluyendo la de la universidad. El Ateneo compartía intereses que no siempre representaban a la heterogénea burguesía barcelonesa, pero en todo caso pretendía contribuir “con verdadera eficacia al progreso nacional, convirtiéndose en semillero de sabios, escritores y artistas, en cátedra y manantial de patriotismo, en baluarte de los intereses del país, en foco permanente de ilustración y cultura”<sup>65</sup>.

A través de esta institución catalana, aparecía, pues, un libro que exponía de forma completa el desarrollo de la nueva ciencia de la termodinámica y que era accesible a un público amplio. Es posible pensar que la burguesía industrial catalana tuviera un especial interés por promover este tipo de publicaciones. De hecho, Cataluña fue el núcleo industrial más importante de la España del siglo XIX y por ende el lugar donde las máquinas térmicas en general tenían una mayor presencia. La difusión de la termodinámica, que permitía un estudio teórico de estas máquinas y por consiguiente su optimización, puede ser interpretado como un tema de especial interés en ese contexto. En ese momento, la única Escuela Superior de Ingeniería Industrial que seguía funcionando en toda España era la de Barcelona, auspiciada en gran parte por la demanda de formación técnica por parte del empresariado catalán<sup>66</sup>.

Rojas no era el primero en escribir una historia de la termodinámica y de hecho basaba en gran medida su trabajo en las obras que habían escrito al res-

---

<sup>64</sup> La información sobre las condiciones de este premio aparecen en un certificado realizado por el Ateneo Barcelonés y firmado por su secretario general, Pedro Campilla y Casades, en el que se da constancia de que Rojas ganó el premio. Véase el expediente de Rojas de la Universidad Central de Madrid, AGA 31/16616.

<sup>65</sup> El texto forma parte de un folleto editado por iniciativa de la Junta del Ateneo en el año de 1889. Citado en CASASSAS I YMBERT, Jordi (1986) *L'Ateneu Barcelonès. Dels seus orígens als nostres dies*, Barcelona, Edicions de la Magrana, 37.

<sup>66</sup> Al respecto véase LUSA (1997).

pecto Peter G. Tait (*Sketch of Thermodynamics*)<sup>67</sup> y Émile Verdet (*Dos lecciones de termodinámica*, 1862)<sup>68</sup>. Éstas no eran naturalmente las únicas obras que Rojas había consultado, pero eran precisamente a las que él recurría a lo largo de la parte histórica de su trabajo para demostrar su imparcialidad a la hora de escoger a los verdaderos fundadores de la termodinámica<sup>69</sup>. Y es que las obras de Tait y Verdet, el uno inglés y el otro francés, tenían una marcada influencia nacionalista en su construcción histórica. Como muchas narraciones históricas del siglo XIX, seguían un progreso lineal adornado por la presencia de grandes héroes que aportaban, cada uno de ellos, un granito más en el inexorable camino hacía el progreso y la verdad. Así pues, las controversias que suscitaban estas obras se centraban en los verdaderos fundadores de la termodinámica, que naturalmente atribuían mayoritariamente a ingleses o a franceses.

En oposición a estas dos obras, Rojas se presentaba como un observador “objetivo” ya que como el mismo afirmaba:

*“Por fortuna para la fe de imparcialidad que pueda inspirar nuestra pobre opinión, y por desgracia para nuestro país, imparciales podemos ser en la cuestión de quién ha contribuido con más o menos parte a la grande obra de la incubación y del nacimiento de la Termodinámica: imparciales podemos ser en una contienda en que solamente pueden combatir Inglaterra, Alemania, Francia y Dinamarca”*<sup>70</sup>.

De esta forma Rojas conseguía que fuera percibido no como un mero expositor de ideas ajenas sino como un observador crítico, adquiriendo así mayor legitimidad sus apreciaciones.

<sup>67</sup> TAIT, Peter G. (1868) *Sketch of thermodynamics*, Edinburgh, Edmonston and Douglas. Rojas leyó seguramente la traducción al francés realizada en 1870.

<sup>68</sup> Posiblemente Rojas se refería a *Leçons de chimie et de physique professées en 1862*, en el que Verdet hacía una *Exposé de la théorie mécanique de la chaleur*. VERDET, Émile; BERTHELOT, Marcellin (1863) *Leçons de chimie et de physique professées en 1862*, Paris, Hachette.

<sup>69</sup> A lo largo del libro, Rojas nombraba, además de los ya mencionados, los siguientes textos o autores como fuentes de su trabajo: Zeuner, *Teoría mecánica del calor con sus aplicaciones a las máquinas*; Clausius, *Colección completa de sus memorias*; Hirn, *Memoria presentada a la Academia de Ciencias de París*, 1868 y *Consecuencias filosóficas y metafísicas de la Termodinámica*; Tyndall, *Calor como un modo de movimiento*; Rankine; Helmholtz; Mayer, *Observaciones sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada*; Thomson; Secchi, *La unidad de las fuerzas físicas*.

<sup>70</sup> ROJAS (1876), 20. Al hablar de estos países, Rojas se refería en concreto a las obras de Joule (Inglaterra), Mayer (Alemania), Marc Séguin (1786-1875) (Francia), y Ludvig Colding (1815-1888) (Dinamarca).

Además de rechazar algunas de las propuestas de Tait y Verdet, Rojas proponía su propia lista de descubridores del principio de equivalencia entre el calor y el trabajo, es decir de la idea general de que el calor pudiera transformarse en trabajo y viceversa. Así, la lista de Rojas comprendía los trabajos del conde Rumford (Benjamín Thomson, 1753-1814), Humphrey Davy (1778-1829) y Marc Seguin (1786-1875) como precursores de la termodinámica, en el sentido que cada uno de ellos había demostrado la no materialidad del calor por diferentes métodos. Pero veía en Joule y en Robert Mayer (a éste último Tait le quitaba todo valor) a los verdaderos fundadores, ya que Joule había enunciado en un caso particular y comprobado experimentalmente la equivalencia, mientras que Mayer lo había hecho de forma general. El gran logro de Mayer, según Rojas, era que había enunciado la equivalencia del trabajo y el calor como una ley general que comprendía cualquier tipo de trabajo, fuera éste ocasionado por la gravedad, una fuerza animal, una corriente eléctrica, o cualquier otro tipo de fuerza.

Mediante el recurso de la historia, Rojas tenía una herramienta excelente para asociar la termodinámica –que mostraba como la representante ideal de una física basada en hipótesis mecánicas– con la idea de progreso científico. Al respecto, el párrafo inicial de la introducción del libro era contundente:

*“La Termodinámica, ciencia que estudia y formula las relaciones entre el calor y los efectos mecánicos, considerándolos respectiva y alternativamente como causa y efecto, es hija de nuestro siglo, y el mayor título de gloria científica que éste podrá presentar ante las venideras generaciones.*

*Tan grande ha sido ya su influencia en la Física general; tan vivísima luz ha arrojado sobre los más oscuros fenómenos del calor; tanto ha esclarecido otros relativos a la electricidad y magnetismo; tanto poder tienen sus principios en el campo de la Fisiología y la Química, especialmente sobre ciertos problemas antes oscurísimos de la vida animal y vegetal; tan fecundas han sido sus fórmulas aplicadas a los problemas de la expansión de los gases, de los cambios de estado, de la expansión de los vapores, del movimiento de los gases, del trabajo en todas las máquinas térmicas, que puede asegurarse que ha hecho una revolución en las ciencias físicas y fisiológicas [...]”<sup>71</sup>.*

---

<sup>71</sup> ROJAS (1876), 1-2.

Rojas utilizaba la teoría material del calor como característica de la antigua física y como freno de su avance. Esta teoría se basaba en el supuesto que el calor era un fluido muy elástico, imponderable e indestructible, y que se encontraba en todos los cuerpos. Así, cuando un cuerpo era calentado, este fluido, llamado calórico, fluía desde la fuente de calor hacía el cuerpo calentado, por lo que la temperatura del cuerpo dependía de la cantidad de calórico que tuviera. Si el cuerpo era enfriado, este perdía entonces calórico. Las partículas de los cuerpos y las del calórico sentían entre sí fuerzas repulsivas, con lo cual, al aumentar el calórico en un cuerpo o gas, éste tendía a expandirse. Esta teoría, aplicada específicamente al estudio de los gases fue muy popular a partir de los trabajos de Antoine Lavoisier (1743-1794), Pierre Simon Laplace (1749-1827) y otros, a finales del siglo XVIII y logró explicar de forma satisfactoria los principales fenómenos de la física y la química, tales como calor latente, expansión térmica, calentamiento adiabático y el calor de las reacciones químicas<sup>72</sup>. Como ha mostrado Robert Fox en su extenso estudio sobre esta teoría, su decadencia se debió en gran medida a la pérdida de autoridad y de aceptación de la “física Laplaciana” en el segundo cuarto del siglo XIX. La física especulativa y conjetural representada por la escuela de Laplace fue reemplazada por una física que buscaba un gran número de datos manejados matemáticamente, pero en la que la discusión de las causas de los fenómenos fue eliminada o percibida como irrelevante<sup>73</sup>.

En su narración, Rojas se preguntaba por qué había tardado tanto la ciencia en llegar al principio de equivalencia si ya en 1798 el conde Rumford y un año después Humphrey Davy habían “entreabierto las puertas de la Termodinámica”, al demostrar experimentalmente que el calor no podía ser una sustancia material. La respuesta, la encontraba Rojas en “la falsa hipótesis sobre la naturaleza del calor, que paralizaba la actividad intelectual de los físicos”<sup>74</sup>. Las hipótesis no mecánicas habían supuesto por lo tanto un freno en el desarrollo de la física y sólo con su abolición se lograría el surgimiento de una física verdaderamente moderna.

Como ha expuesto Crosbie Smith en su trabajo sobre la ciencia de la energía, a partir del artículo de William Thomson, *On the Dynamical Theory of Heat*

<sup>72</sup> Al respecto, véase FOX, Robert (1971) *The Caloric Theory of Gases. From Lavoisier to Regnault*, London, Oxford University Press, capítulos 1 y 2.

<sup>73</sup> FOX (1971), capítulo 9.

<sup>74</sup> ROJAS (1876), 10.

(1851), se construyó una versión oficial y casi mítica de la historia de la termodinámica, una historia de progreso y héroes<sup>75</sup>. El argumento general del texto presentaba a Davy como la persona que había demostrado que el calor, como una sustancia material, no existía, concluyendo que era un movimiento excitado de las partículas de los cuerpos. Así, en el texto de Thomson, Davy había establecido la teoría dinámica del calor, siendo los experimentos de Mayer y Joule la confirmación de las ideas de Davy. No obstante, apunta Smith, Thomson no mencionaba sus iniciales dudas sobre las ideas de Davy, ni que estas fueron despreciadas durante casi medio siglo. Además no mencionaba que tanto Mayer como Joule fueron ignorados por sus respectivas comunidades científicas, y que el propio Thomson tardó casi cuatro años en aceptar las ideas de Joule<sup>76</sup>. Esta versión oficial de la que habla Smith era la que continuó Tait, colega y amigo de Thomson, en su *Sketch of Thermodynamics* (1868) y en la que Rojas se basaba, aunque discrepaba en algunos de sus protagonistas.

Comparemos sin embargo esta narrativa histórica con la que realizara el físico austriaco Ernst Mach en 1872 y posteriormente en 1896, en sus libros *Die Geschichte und Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit* y *Die principien der Wärmelehre*<sup>77</sup>. Con un objetivo muy diferente al de Rojas, o al de Thomson y Tait, a saber, el cuestionar la visión mecánica del mundo, como base real y única de la física, Mach presentaba la teoría mecánica del calor y la material como históricamente paralelas. Mach cuestionaba que la termodinámica surgiera a partir de la concepción del calor como un tipo de movimiento y resaltaba que la concepción material del calor no representó un obstáculo en el desarrollo de la ley de la conservación de la energía<sup>78</sup>. La versión histórica de Mach no recurría al surgimiento de la teoría mecánica del calor como un momento clave en el desarrollo de la física y en particular de la termodinámica porque el objetivo en su construcción histórica era precisamente el de demostrar cómo la física debía ser entendida como la forma de relacionar y describir un amplio rango de hechos físicos sin tener que recurrir a hipótesis especulativas acerca de su funcionamiento.

---

<sup>75</sup> SMITH (1998), capítulo 6.

<sup>76</sup> SMITH (1998), capítulo 1.

<sup>77</sup> MACH, Ernst (1872) *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Prag, Calve; MACH, Ernst (1886) *Principles of the theory of heat: Historically and critically elucidated*, Dordrecht, D. Reidel Publishing Company. [Traducción del original de 1896].

<sup>78</sup> MACH (1886), capítulos XIII y XVIII.



Una vez desarrollada la parte histórica de la termodinámica, Rojas continuaba su libro explorando el alcance de esta ciencia en otros campos, tales como la química, la mecánica aplicada, la fisiología, la astronomía y la metafísica. En todos ellos Rojas exponía la posibilidad de una concepción mecánica y por lo tanto más racional de sus fenómenos, gracias a la termodinámica. De todos estos ejemplos el que recibía una mayor atención no era otro que el de las máquinas térmicas. Rojas explicaba de forma detallada las ecuaciones teóricas que expresaban la forma de optimizar el funcionamiento de estas máquinas. En este punto Rojas hacía hincapié en que el conocimiento de las máquinas de vapor solo había sido empírico hasta la llegada de la termodinámica, con lo cual se había logrado su “conocimiento racional y completo”. Mediante la exposición de estas ecuaciones, que se deducían de la ciencia de la termodinámica, Rojas promocionaba los conceptos de la termodinámica como herramienta primaria de trabajo para los ingenieros. Con esto, lograba otorgarle una mayor credibilidad pública a esta ciencia a través del campo de la ingeniería, la cual tenía un mayor grado de reconocimiento público debido a sus aportaciones tangibles al mundo material. Las máquinas térmicas eran percibidas, por lo menos por una parte del público, como el símbolo indiscutible del progreso no ya científico sino social y económico.

Aunque no todo el mundo veía en las máquinas la llave del progreso, existía una percepción de prosperidad económica y social basada en su uso extendido. El uso relativamente grande de maquinaria industrial basada en la tecnología del vapor se reflejaba en la creación de compañías catalanas dedicadas a la construcción de esta maquinaria. Empresas como Alexander y Hnos., La Maquinista Terrestre y Marítima, y Nuevo Vulcano, todas en Barcelona, eran importantes constructoras de máquinas de vapor en la segunda mitad del siglo XIX. La industria textil catalana demandó especialmente energía mecánica, acaparando en la década de 1860 más de la mitad de todos los caballos de vapor instalados en España<sup>79</sup>. La bucólica imagen del tren humeante recortando distancias entre Mataró y Barcelona, o las innumerables imágenes de máquinas que llenaban las páginas de las revistas de la época eran una constatación de la asociación de progreso con las máquinas térmicas<sup>80</sup>. Rojas reconocía en el significado de las máquinas un elemento

<sup>79</sup> GARRABOU, Ramon (1982) *Enginyers industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya. (1850 - inicis del segle XX)*, Barcelona, L'Avenc, 135.

<sup>80</sup> *Ibidem*.

esencial para legitimar la importancia de la termodinámica. El desarrollo de las máquinas no tenía una relación directa con la teoría mecánica del calor, pero era precisamente la construcción de un escenario en el que se asociaba a estas con el progreso, lo que aprovechaba Rojas.

### 5.1 - La enseñanza de la termodinámica.

Rojas abogaba por la creación de un espacio dentro de la enseñanza de la física en España que diera importancia a las teorías esenciales en las cuales se basaba la explicación del mundo físico. Conocer la naturaleza del calor tenía que ser tan importante como el uso adecuado del termómetro. La teoría que proponía Rojas era un ejercicio especulativo que apoyaba su legitimidad en una narrativa histórica que presentaba las hipótesis mecánicas como el último paso en el camino del progreso. Esta posición se hacía patente en su exposición sobre la historia de la termodinámica.

En los libros de física de la época (segunda mitad del siglo XIX), que eran utilizados tanto en las universidades como en las Escuelas Especiales, la sección dedicada al calor hacía poca referencia a la naturaleza de éste y sólo a modo de información. Lo importante de su estudio era la observación de las modificaciones que el calor ejercía sobre los cuerpos. En este sentido se estudiaba el uso del termómetro, la dilatación de los sólidos, los cambios de estado y la calorimetría, en una palabra la misma terminología que se venía estudiando desde inicios del siglo XIX. Libros como *Programa de un curso elemental de física* de Venancio González y Juan Chavarrí (1851)<sup>81</sup> se referían al calor como un fluido imponderable y otros como el *Curso elemental de física experimental y aplicada* de Bartolomé Feliú (1878)<sup>82</sup> exponían las dos hipótesis sobre el calor –como fluido imponderable y como movimiento– haciendo notar que considerar el calor como movimiento vibratorio era la más aceptada por la

---

<sup>81</sup> GONZÁLEZ VALLEDOR, Venancio; CHÁVARRI, Juan (1851) *Programa de un curso elemental de física y nociones de química*, Madrid, Imprenta del Colegio de Sordo-mudos y de Ciegos. [2ª. Edición]. Ambos eran catedráticos de física de la Universidad Central de Madrid. Este libro fue catalogado como obligatorio en la enseñanza de la física en la universidad a partir de la ley Moyano de 1857. Al respecto véase MORENO GONZÁLEZ (1988), 356-357.

<sup>82</sup> FELIÚ Y PEREZ, Bartolomé (1878) *Curso elemental de física experimental y aplicada*, Madrid, Imprenta de la viuda e hijo de D. Eusebio Aguado. [4ª. Edición]. La primera edición es de 1870. Este libro fue utilizado como libro de texto en la asignatura de Ampliación de Física en las Universidades de Madrid y Barcelona en la década de 1890. Al respecto véase MORENO GONZÁLEZ (1988), 504 y 510. Feliú fue decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza en 1899.

mayoría de los sabios de aquel entonces. El contenido de las lecciones de estos libros de texto permitía que fuera indiferente en la práctica la forma de considerar la naturaleza del calor, ya que no se desprendía de ella ninguna modificación en el estudio de su contenido. Entre 1850 y 1870 la única diferencia al abordar la sección sobre el calor era la adición de un párrafo que reconocía a este agente como un tipo de movimiento vibratorio. Estos libros no tenían espacio para una explicación detallada de las hipótesis que sustentaban la comprensión de los fenómenos que describían, su labor culminaba justamente ahí, en la descripción de los efectos de los fenómenos. Los nuevos conocimientos y métodos que aportaba la ciencia de la termodinámica no formaban parte legítima de su contenido.

En el libro *Elementos de Física Experimental* del catedrático de física de la Universidad de Cádiz, Vicente Rubio y Díaz<sup>83</sup>, publicado en 1882, encontramos una posición interesante sobre la adopción de nuevas teorías, tales como la del calor. Al referirse a las dificultades de escribir un libro de física dedicado a la enseñanza, Rubio apuntaba:

*“Modernas teorías indican nuevo rumbo y preparan modificación radical: si se toman como base para la enseñanza, se rompe con el pasado, se produce una revolución (que ya se inicia pero que corresponde a otros de más vuelo) y se establece cierta solución de continuidad, pues quedan no pocos vacíos imposibles todavía de llenar. Si se prosigue la corriente ordinaria de la mayor parte de las obras que hoy se dedican a la instrucción de la juventud, se la priva de los adelantos modernos, se estanca en cierto modo la ciencia, y se expone el autor a la censura de esos espíritus inquietos (ilustrados, pero idólatras incondicionales de todo lo nuevo) que quieren introducir en los libros, aunque sean de tan poco valer como el presente, las novedades y excursiones teóricas, no siempre ciertas, y difíciles de modelar a veces, en un curso claro, concreto, reducido sencillo y ordenado; es decir, en un libro propiamente didáctico”<sup>84</sup>.*

<sup>83</sup> Rubio basaba el contenido de su texto en la experiencia que había adquirido como profesor de la cátedra de Ampliación de Física a lo largo de 22 años en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz y como él mismo apuntaba, “[...] nos daríamos por muy satisfechos los Profesores, si los más sobresalientes alumnos, no ya de los Institutos, sino de la ampliación de física en las facultades, supieran bien todo el contenido de este libro”. RUBIO Y DÍAZ, Vicente (1882) *Elementos de física experimental*, Cádiz, Imprenta de la Revista Médica, V.

<sup>84</sup> RUBIO (1882), VI.

La solución que presentaba Rubio a la hora de realizar la labor docente era el adoptar un “término medio prudencial”, es decir la de presentar los modos de ver comunes e indicar cuando fuera posible las nuevas teorías. De este modo, Rubio presentaba un libro de texto muy similar a los que hemos mencionado anteriormente pero con algunas adiciones que el autor dejaba al criterio de los profesores incluir o no en sus clases. Los apartados opcionales los diferenciaba el autor mediante un asterisco en el índice de la obra. En la sección dedicada al calor, las nociones de la teoría mecánica del calor se presentaban como uno de estos apartados, y al final del libro se adicionaba un apéndice que hablaba sobre la unidad de las fuerzas físicas. En esta sección, de carácter opcional, y de forma muy resumida, se presentaban las teorías que Rojas había dado a conocer en la RACAB, es decir se hablaba sobre la conversión de las diferentes fuerzas y si estas fuerzas eran reales o eran una expresión de la materia y el movimiento. Las obras a las que remitía el autor para una mayor comprensión del tema eran, además de las de Tyndall (*La matiere et la force*, 1867) y Secchi (*L'unité de la force physique*, 1868), la de Echegaray: *Teorías modernas de la física*.

A diferencia de Rubio, Rojas ejercía un papel muy activo en la enseñanza de las nuevas teorías. En sus cátedras trataba de inculcar en sus alumnos la importancia de las hipótesis físicas, y en especial la idea de la unidad de las fuerzas físicas, a diferencia de lo que ocurría en los libros de texto que hemos mencionado. En la cátedra de Física Industrial en la Escuela de Barcelona, Rojas dio los cursos de *Aplicaciones del calor* y *Aplicaciones de la luz y la electricidad* entre 1880 y 1886. En el curso que se dedicaba al calor se explicaban a los futuros ingenieros cuestiones como la dilatación de los cuerpos, la combustión, etc., siendo su contenido de carácter muy práctico. No obstante, Rojas prestaba especial atención en exponer la naturaleza del calor, presentándola como el movimiento vibratorio de los átomos de la materia y cuyo medio de propagación era el éter, resaltando que el calor era un fenómeno completamente análogo al de la luz o el sonido<sup>85</sup>. En este texto, Rojas demostraba que la fuerza viva era una forma de trabajo y por lo tanto se lograba que

---

<sup>85</sup> El contenido del curso de Aplicaciones del Calor, dado por Rojas en la Escuela de Barcelona, se conoce gracias a que uno de sus alumnos, A. Sandaran, publicó los apuntes de clase de esta materia en 1885. ROJAS, Francisco de Paula (1885) *Aplicaciones del calor: lecciones explicadas en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona*, Barcelona, Tip. “La Academia” de Evaristo Ullastres.

el calor fuera considerado como una expresión de la fuerza viva en la medida que se convertía en trabajo. Rojas recurría al famoso experimento de Joule para demostrar que una determinada cantidad de trabajo se convertía en calor y hacía énfasis en que el movimiento de los cuerpos no aumentaba o disminuía sin que esto afectara al movimiento de otro cuerpo, explicando así lo que en otros contextos se denominaba la conservación de la energía. Así pues, Rojas no sólo se dedicaba a una exposición de los fenómenos que ocurrían con el calor sino que basaba la acción del calor en una hipótesis mecánica, dándole gran importancia a la exposición de ésta y aportando las ecuaciones necesarias para su manejo matemático.

Rojas había apostado por una concepción del mundo físico que no necesitaba recurrir al concepto de energía sino que basaba su inteligibilidad en la materia y el movimiento y esto lo aplicaba decididamente en la enseñanza. La enseñanza de esta teoría era para Rojas parte esencial en el plan de estudios de la física en general y del calor en particular.

## 6.- Conclusión.

A pesar de los esfuerzos liberales por introducir un plan de estudios en las universidades que reflejara un verdadero interés en la “ciencia por la ciencia”, o como dijera Menéndez y Pelayo en 1894, “por la sublime utilidad de la ciencia inútil”<sup>86</sup>, el agitado contexto político español retardó de forma acusada este primer paso institucional. Aunque en 1857 se creó una Facultad de Ciencias independiente dentro del sistema universitario, ésta no era una institución destinada a formar científicos profesionales, sino un lugar de preparación para los futuros ingenieros, y de formación del profesorado. El nivel académico de sus cursos era considerado, además, deficiente por parte de muchas de las Escuelas de Ingeniería. Así, en la década de 1860 varias de esas Escuelas no reconocieron los estudios preparatorios realizados en la Facultad de Ciencias y exigieron un examen de ingreso a sus futuros estudiantes.

Precisamente en esa década la formación superior científica y técnica sufrió un fuerte declive institucional. Varias Escuelas Superiores fueron cerradas por el Estado, aduciendo falta de estudiantes, y la Facultad de Ciencias sufrió una reforma que redujo el número de sus asignaturas a aquellas que representaban una “utilidad real.” Una de las asignaturas eliminadas fue la

---

<sup>86</sup> Citado en MORENO GONZÁLEZ (1988), 444.

de Física-matemática que se impartía a nivel de doctorado y que para los protagonistas de este trabajo representaba la verdadera física moderna. La asignatura simbolizaba para ellos el estudio de la ciencia por la ciencia. La reforma del plan de estudios de 1866, el del Marqués de Orovio, demostraba, sin embargo, el poco interés que el Estado tenía por este tipo de educación.

Es en este contexto que se debe entender, por ejemplo, el discurso que José Echegaray pronunció en la Real Academia de Ciencias de Madrid con motivo de su ingreso en esa institución, en 1865<sup>87</sup>. Su *Historia de las Matemáticas puras en nuestra España* ha sido considerada un documento clave en la llamada “polémica de la ciencia española”<sup>88</sup>. Las conclusiones de Echegaray eran desoladoras: ni un solo matemático español había realizado aportaciones importantes en el campo de las matemáticas a lo largo de toda la historia de la humanidad. Pero más que un documento que discutía la existencia real de una cultura científica española, su contenido era una crítica a la posición del Estado frente a la ciencia, era una medida extrema de denuncia ante la debilidad de la ciencia pura. La estrategia utilizada por Gumersindo de Vicuña, políticamente más conservador, fue exactamente contraria a la de Echegaray. De hecho en 1890, publicó una bibliografía de matemáticos españoles en la historia<sup>89</sup>. Aunque diametralmente opuestas, las estrategias de ambos científicos buscaban un fin común: el apoyo institucional a la ciencia pura.

La física-matemática, por el contrario, fue utilizada por ambos científicos como estandarte de batalla en su objetivo común. La necesidad de su existencia institucional, a pesar de las dificultades existentes, era presentada como una cuestión nacional. Vicuña y Echegaray utilizaron como estrategia para su legitimación el prestigio que tenía la asignatura: cualquier estado moderno que se preciara de serlo apoyaba incondicionalmente el cultivo de la física pura.

El prestigio nacional no fue el único argumento legitimador utilizado. Especialmente importante fue la capacidad de ofrecer un marco explicativo unificado de los fenómenos físicos que aportaba la física-matemática. Un sis-

---

<sup>87</sup> ECHEGARAY, José (1866) “La historia de las matemáticas puras en nuestra España (1866)”, reproducido en SÁNCHEZ RON (1990a), 151-185.

<sup>88</sup> Véase por ejemplo LÓPEZ-OCÓN, Leoncio (1992) “Ciencia e historia de la ciencia en el sexenio democrático. La formación de una tercera vía en la polémica de la ciencia española”, *Dynamis*, 12, 87-104.

<sup>89</sup> VICUÑA, Gumersindo de (1890) “Bibliographie espagnole de l’histoire des Mathématiques”, *Bibliotheca Mathematica*, Nr. 1.

tema explicativo unificado de la naturaleza tenía una gran carga legitimadora en sí misma, pues encarnaba a la perfección el acercamiento último a la verdad, y por ende a Dios. Este argumento fue especialmente utilizado por Vicuña, cuando afirmaba que el límite de unidad de las leyes generales que rigen la naturaleza es aquel “donde todas se fundan en una superior, infinita y libre, cuyo nombre pronunciamos con veneración y respeto, Dios”<sup>90</sup>. Este acercamiento a la verdad traía aparejada a su vez la noción de progreso. En la medida en que los fenómenos físicos, “en apariencia radicalmente diferentes” –como lo expresaba Echegaray– fueran explicados por uno solo y bajo una ley unificada, la física llegaba a su punto máximo de perfección, siendo la mecánica celeste el gran ejemplo a seguir. La búsqueda de unidad, diría Echegaray, era la gran aspiración humana.

Así pues, la principal característica con la que fue definida la física matemática era su capacidad de síntesis que se articulaba en una concepción mecánica de los fenómenos. Y es precisamente dentro de esta definición, que se construyeron los primeros discursos sobre termodinámica en España. Tal como lo hicieron constar sus propios protagonistas, una visión unificada y mecánica de la física no era aceptada de forma automática. Había que reforzar su autoridad y crear un nuevo espacio institucional.

Ellos vieron en la termodinámica el elemento clave con el cual difundir la creencia de que una física teórica era necesaria institucionalmente. Pero para lograr esto tenían que ser primero reconocidos como las autoridades locales en el tema de la termodinámica. Una vez reconocidos como tales, gracias a su labor de divulgación y la publicación de libros de texto sobre el tema, fue fácil trasladar el discurso de progreso relacionado con la ciencia de la termodinámica al ámbito general de la física matemática. Ésta fue presentada como algo que aportaba valor a la sociedad y utilidad nacional. Sin el apoyo del estado la consolidación de la enseñanza de la física-matemática en la universidad era casi imposible, pero una facultad sin estudiantes no tenía sentido. Por consiguiente, había que luchar para que esta actividad fuera reconocida como valiosa en sí misma y para que la institución que la enseñaba fuera atractiva y provechosa. La solución de Vicuña fue lograr hacer atractiva la Facultad de Ciencias para los estudiantes de ingeniería. Se aumentaban así los matricula-

---

<sup>90</sup> VICUÑA, Gumersindo de (1883) “Relaciones principales entre las teorías matemáticas de la física”. En: *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de la viuda e hijo de D. Eusebio Aguado, 58.

dos, lo cual repercutiría en una mejora de sus instalaciones y de su nivel académico. Una vez consolidada, podría entonces convertirse en un espacio destinado solamente a cultivar la ciencia por la ciencia. La estrategia de Echegaray recurría especialmente a la obtención de prestigio nacional y se basaba en su aspiración de que la Facultad fuera el reflejo de un Estado liberal por el que él tanto abogaba. Una Facultad de Ciencias dedicada a la ciencia por la ciencia y autónoma significaba para Echegaray la realización de una revolución en el plano teórico paralela a la que ocurrió en 1868 en el plano político.

La tesis de este artículo postula que la imagen de la termodinámica que construyeron Echegaray, Vicuña y Rojas en las décadas de 1860 y 1870 se debe entender dentro de un proceso de legitimación de la enseñanza institucional de la física matemática. Bajo este punto de vista es posible argumentar que los textos analizados a lo largo del trabajo se complementaban mutuamente y operaban a diferentes niveles. Así, el libro de Rojas sobre la historia de la termodinámica mostraba los logros de esta ciencia y sus amplias y fructíferas implicaciones. Se resaltaban las virtudes de las teorías mecánicas para el estudio de la naturaleza, hecho que se demostraba por su contribución a campos tan diversos como las máquinas térmicas, el estudio de los gases, o la fisiología. La termodinámica era presentada, pues, como la herramienta de aplicación de las teorías mecánicas y representaba para Rojas, como claramente lo exponía al final de su libro, el principio de una nueva era de progresos y adelantos en todas las ciencias naturales. A partir de este libro, la mención de la palabra termodinámica estaba asociada por definición con la imagen de una física unificada y teórica. Al hablar de una física teórica regida por hipótesis mecánicas, sólo bastaba con recurrir al ejemplo de la termodinámica para comprobar su legitimidad.

Esta estrategia se veía reforzada, además, por otros elementos. Por un lado estaban las “notabilísimas especulaciones científicas del sabio Echegaray”, en palabras de Rojas, que representaban el ideal mecánico y unificado de la física. Por el otro lado estaba la exposición detallada, que realizó Vicuña, de las aplicaciones técnicas de la termodinámica en las máquinas térmicas. Al citar en su libro esos trabajos de Echegaray y Vicuña, Rojas estaba usando unos textos complementarios –que abarcaban un marco teórico (el libro de Echegaray<sup>91</sup>), la comprobación y validación histórica (el libro de Rojas<sup>92</sup>) y un

---

<sup>91</sup> ECHEGARAY (1873).

<sup>92</sup> ROJAS (1876).



manual para enseñar a los ingenieros la nueva teoría (el libro de Vicuña<sup>93</sup>)— mediante los cuales aseguraba las bases para que se les reconociera como los representantes legítimos de la física matemática en España y que servía a la vez para legitimar esta disciplina. Con estos antecedentes, Rojas fue capaz de proponer, de forma creíble, una visión de la física que prescindía del concepto de energía como base explicativa de sus fenómenos.

La presentación de Rojas, en las Academias de Ciencias de Barcelona y Madrid, de un mundo físico suficientemente inteligible sólo mediante los conceptos de materia y movimiento, era la realización conceptual del marco teórico expuesto por Echegaray, con su aspiración a la unidad mecánica. Este último, a su vez, había publicado paralelamente a su libro de la unidad de las fuerzas físicas, un libro de texto sobre termodinámica, reforzando así su exposición. Así pues, estos cuatro textos (los dos libros de texto sobre termodinámica de Echegaray y Vicuña y los dos libros de divulgación de Rojas y Echegaray), fueron claves en la legitimación de una física matemática en España. Todos ellos sirvieron para construir una imagen de la termodinámica como fruto de una especulación teórica y mecánica (la característica esencial de la física matemática que ellos definieron) y a la vez para demostrar la capacidad de esta disciplina de aportar “utilidad” a la nación.

A diferencia de lo que ocurrió en Gran Bretaña, los libros de Echegaray, Vicuña y Rojas, en la década de 1870, presentaron la termodinámica como fruto de una aproximación a los fenómenos físicos basada en las hipótesis mecánicas y en la búsqueda de unidad. En un contexto institucional reacio a reconocer la legitimidad de la enseñanza de una física teórica, la divulgación de la termodinámica fue el ejemplo ideal para demostrar la importancia de la física matemática.

Los esfuerzos de estos ingenieros se vieron reflejados tanto en la reaparición de la cátedra de Física Matemática, en 1871, como en el cambio del plan de estudios que sufrió la Facultad de Ciencias en 1880. A partir de ese año se creó la sección de físico-matemáticas que daba —por lo menos en el papel— una amplia formación matemática y también física a sus estudiantes. De esta forma los licenciados en ciencias físico-matemáticas vieron ampliada la asignatura de *Fluidos Imponderables* en dos cursos de *Física Superior* con sus respectivas prácticas. Además, fue requisito ver primero las asignaturas de

---

<sup>93</sup> VICUÑA (1872).

*Cálculo diferencial e integral* y la de *Mecánica racional*, lo que reflejaba que los temas físicos iban a tener un tratamiento más matemático.

Aunque en 1883 Vicuña reflejaba su alejamiento del ideal mecánico en el que se podía basar la unidad de la física, y reconocía el carácter experimental en el que se basaba la termodinámica, insistía no obstante en la especulación teórica como fundamento de esta disciplina<sup>94</sup>. En este punto la posición de Rojas y Echegaray siempre se mantendría aferrada a la ontología mecánica de los fenómenos como eje unificador de la física, lo cual se reflejaría en la cátedra de física matemática que obtuvo Rojas a raíz de la muerte de Vicuña, en 1890 y posteriormente cuando Echegaray reemplazó a Rojas en este puesto en 1909. La característica que identificaba a estos tres autores era, entonces, su rechazo a una física totalmente empírica basada en los argumentos positivistas que Augusto Comte había propuesto años atrás y que tanto se debatían en la esfera pública española<sup>95</sup>.

---

<sup>94</sup> Véase VICUÑA (1883), 26 y 29-30.

<sup>95</sup> Las razones de este rechazo deben buscarse, por lo menos en parte, en el debate ideológico que ocurría en España en ese momento. El positivismo extremo se percibía como una visión del mundo que rechazaba la idea de un Dios creador y que reducía a leyes empíricas todo la historia del universo, es decir que propiciaba un determinismo físico. El positivismo materialista, como fue denominado por el cardenal de Córdoba Zeferino González, representaba para la iglesia católica y para una gran parte de la burguesía española una doctrina que podía minar los mecanismos que les permitían mantener el orden social imperante y que esto desembocara en la anarquía. El discutir estas cuestiones cae fuera, no obstante, del alcance del presente artículo.