

# La física experimental en el siglo XVIII

Antonio León Sánchez

Curso de doctorado

“La precisión experimental en la física del siglo XVIII”

Departamento de Antropología, Lógica y Filosofía de la Ciencia

Facultad de Filosofía. UNED. Madrid

### **Ciencia y filosofía en el siglo XVIII**

La ciencia moderna surge una vez que se acepta la necesidad –y se comprende el interés- de una descripción del mundo natural independiente de la revelación divina y al margen del finalismo teológico. Esta nueva disposición es la que caracteriza a los pensadores de la Revolución Científica. Una revolución que afectó tanto a los contenidos como a los métodos y a la posición social de la ciencia. Se rechazaron los viejos modos de la filosofía y se buscaron nuevas maneras de investigar la naturaleza. Francis Bacon en su *Novum organum* y Descartes en su *Discurso del método* propusieron sus opciones. Bacon la realización de experimentos para interrogar al mundo. Descartes la suficiencia del poder deductivo de la razón para explicarlo. Frente a ellos Newton se dedicó a poner en práctica una brillante síntesis de experimentación y formalismo matemático.

El siglo XVIII representa el triunfo final del newtonianismo frente al cartesianismo. Razón y naturaleza son las dos palabras claves de la ciencia y la filosofía del XVIII. Los métodos de la lógica formal van siendo reemplazados por los métodos de las ciencias naturales. Las leyes de la naturaleza son las auténticas leyes de la razón. Pero esas leyes, se piensa, han sido libremente elegidas por Dios y, por lo tanto, no es posible descubrirlas con el simple razonamiento. Se comprende entonces la necesidad de la experimentación para descubrir las leyes naturales. Leyes que en realidad revelan la voluntad divina y prueban la mismísima existencia de Dios (el famoso argumento del diseño).

El siglo XVIII conocerá, además, una importante reorganización de la ciencia. A principios del siglo, la Física continuaba en la tradición aristotélica de estudiar todos los fenómenos naturales, incluyendo los orgánicos. A lo largo de este siglo y en las primeras décadas del siguiente se independizan de ella disciplinas como la fisiología, la botánica o la geología. Al final del siglo la organización de la física se aproxima ya a la moderna disciplina que hoy conocemos con el mismo nombre. Y no sólo la organización, también el método. En efecto, a lo largo del siglo irá madurando la nueva física experimental que pasará de ser un mero instrumento de exploración y exhibición de curiosidades a un método de riguroso análisis cuantitativo de la naturaleza. Un método que permitirá, primero el descubrimiento de leyes funcionales y más tarde la matematización de amplias zonas de la nueva física. En otras palabras, el ideal newtoniano de ciencia.

### **Los orígenes de la física experimental**

La naturaleza teleológica y racional concebida por Aristóteles hacía innecesaria, o casi innecesaria, la experimentación científica. Aparte, claro está, de las observaciones cuantitativas propias de la astronomía, la geodesia y otras áreas de las llamadas matemáticas mixtas. A pesar de ello, algún griego hubo que experimentó sobre ciertos fenómenos naturales, especialmente los relacionados con el vacío y la neumática. Es el caso de Estratón (siglo III a. C.), cuyas investigaciones técnico-científicas motivaron la aparición de una corriente de experimentadores y constructores de artilugios mecánico-neumáticos a la que pertenecieron, entre otros, Ctesibio (siglo II a. C.), Filón de Bizancio (siglo II a. C.) o Herón de Alejandría (siglo I). Bien distinta es la tradición que se inició durante el Renacimiento europeo y que fue conocida como *magia natural*. Su actividad experimental, desligada de la magia y la alquimia, se limitaba a poner de manifiesto ciertas curiosidades de la naturaleza, casi siempre mezcladas con trucos, habilidades manuales e ilusiones ópticas.

El primer físico experimental fue, sin duda, el inglés William Gilbert (1544-1603) que en el año 1600 publicó una influyente obra sobre el magnetismo, *De magnete*, en la que se describen de una forma clara y precisa una gran variedad de experimentos para probar y refutar determinadas ideas sobre el magnetismo, la electricidad y el calor. El libro se convirtió en un modelo para la buena experimentación. Influyó sobre autores tan importante como Kepler y durante un tiempo fue la única referencia de la filosofía experimental. En 1620, Francis Bacon publica su *Novum organum* donde expone un nuevo método de exploración, tanto de la naturaleza como de las artes y las técnicas, basado en la experimentación. La obra tuvo una enorme influencia en toda Europa. Las academias y sociedades científicas aplicaron de inmediato el nuevo método en la investigación de múltiples fenómenos relacionados con el frío, con el calor, con la presión del aire, con los imanes, etc. Se investigaba cualquier cosa con el único objetivo de descubrir fenómenos nuevos.

Por la misma época, Galileo realizaba numerosos experimentos –mentales y reales– relacionados sobre todo con la mecánica y la neumática. Además inventó y mejoró un buen número de instrumentos científicos tales como telescopios, microscopios, termómetros, cronómetros y otros muchos aparatos. Pero Galileo no llegó a desarrollar una auténtica filosofía experimental, se mantuvo dentro de la tradición matemático – deductiva heredada de Aristóteles. A pesar de ello ejerció una influencia enorme sobre sus discípulos experimentadores. En la segunda mitad del siglo XVII Robert Boyle desplegó una portentosa actividad experimental de la más variada temática y en la más estricta ortodoxia baconiana. Pero apenas logró sacar conclusiones de tanta observación y experimento, excepto la ley que lleva su nombre. Su continuador en la Royal Society, Robert Hooke, de mentalidad más matemática, fue un magnífico constructor de instrumentos. Finalmente, ya en las puertas del siglo XVIII, Newton, que seguía la misma tradición matemática de Galileo, acabó incluyendo la experimentación en su metodología científica. Fue un habilísimo experimentador, como demostró en su *Óptica*, llegando a ejercer tal influencia sobre los científicos experimentales de los siglos XVIII y XIX que su ciencia se convirtió en el modelo a seguir por todos ellos.

### **La física experimental en el siglo XVIII**

La física experimental inicia su andadura por el siglo XVIII en el más puro estilo baconiano. Se explora en todas las direcciones con el único objetivo de ver qué pasa. Pero no hay teorías que traten de dar cuenta de los fenómenos observados. Fenómenos que muchas veces sólo se producen mediante la manipulación de los instrumentos. En esta época se ponen de moda las exhibiciones, más o menos *espectaculares*, de ciertos fenómenos que, como los eléctricos, llamaban la atención del público. Proliferaron las venus eléctricas y los monjes electrificados. Mientras tanto, en el otro bando, en el cartesiano, se insistía en la suficiencia del rigor matemático para explicar el mundo. Suficiencia que empezó a ser contestada en esta misma época. Los frecuentes viajes a Inglaterra de los pensadores de la Europa continental ayudaron en la difusión tanto del newtonianismo como de la nueva moda experimental.

Poco a poco se fueron desarrollando teorías capaces de subsumir, al menos de forma parcial, los fenómenos observados experimentalmente. Se definieron conceptos como los de carga eléctrica o de potencial eléctrico susceptibles de ser medidos y se diseñaron los instrumentos de medida apropiados. Las medidas, a su vez, permitieron el tratamiento matemático de los resultados experimentales, y de esta forma se inició la matematización de las nuevas áreas experimentales de la física. Esta combinación de experimentos y formalismo matemático se ajustaba al modelo de ciencia newtoniano que ya por entonces era tenido como el ideal de la buena ciencia. Las puertas de las instituciones científicas –primero en las academias y sociedades y luego en las universidades- se fueron abriendo a los nuevos métodos de la física. Así, a finales del siglo XVIII la física experimental era ya aceptada y entendida como el *uso de los métodos experimentales cuantitativos para la búsqueda y el estudio de las leyes que gobiernan el mundo inorgánico*.

La física experimental del siglo XVIII incluía principalmente el estudio del calor, de la luz, de la electricidad y del magnetismo. Los mismos métodos se usaron también en otras áreas del conocimiento que inicialmente formaban parte de la física pero que a finales del siglo se habían separado de ella para constituir nuevas ciencias. Es el caso, por ejemplo, de la geología, de la fisiología o del estudio de los gases, ahora repartido entre la física y la nueva química. Pero fue el estudio de la electricidad el que alcanzó un mayor desarrollo. Aproximadamente la mitad de los experimentadores físicos lo eran de la electricidad. El estudio de la electricidad se convirtió en un modelo para los físicos experimentales.

El sistema del mundo de Newton estaba basado en la simple idea de la gravitación universal. El mismo Newton había anunciado el futuro descubrimiento de otras atracciones y repulsiones de escala interatómica que acabarían explicando la mayor parte de los fenómenos físicos y químicos. La electricidad parecía ser uno de esos fenómenos con fuerzas interatómicas implicadas. Además parecía ser también una característica universal de la materia que, por si fuera poco, se dejaba controlar experimentalmente. Se entiende, pues, que una vez descubiertos –y generosamente exhibidos- los fenómenos eléctricos pasaran a ocupar el centro de la atención científica. Se desarrollaron teorías sobre su naturaleza y se consiguieron identificar y medir los aspectos más significativos de los fenómenos eléctricos, de modo que a finales del XVIII ya se habían descubiertos leyes tan newtonianas como la de (Cavendish -) Coulomb.

### **Los fluidos sutiles en la física experimental**

Los fluidos sutiles desempeñaron un papel esencial en el desarrollo de la física experimental durante el siglo XVIII. Se entiende por fluido sutil una sustancia con determinadas propiedades físicas pero diferente de la materia ordinaria. Con frecuencia presentaban propiedades extrañas como la imponderabilidad, la inasibilidad, el peso negativo o la auto repulsión. Entre ellos destacan el calórico, el flogisto, la electricidad o el magnetismo. La existencia de atracciones y repulsiones hizo posible el desarrollo de una infraestructura teórica que permitió la definición de conceptos físicos medibles, como carga eléctrica, tensión eléctrica o temperatura. La construcción de los instrumentos de medida apropiados hizo posible la cuantificación de las observaciones que finalmente condujo a descripciones matemáticas de los fenómenos analizados. Los fluidos sutiles fueron perdiendo entidad poco a poco, quedando sólo los fenómenos que ellos mismos producían. En otros casos fueron sustituidos por fluidos ordinarios (como ocurrió con el flogisto y el oxígeno). La nueva física, en todo caso, se fue haciendo cada vez más fenomenológica y cuantitativa.

### **Metodología experimental. Tipos de experimentos**

Aparte de la magia natural, los experimentos se puede clasificar en varias categorías según los métodos y los objetivos perseguidos. Son las siguientes

1. Experimentos matemáticos y de matemáticas mixtas. Se vienen realizando desde la más remota antigüedad. Por una parte, se incluyen aquí las medidas y observaciones cuantitativas relacionadas con la astronomía y la geodesia. Por otra la construcción de artilugios mecánicos, hidráulicos, de navegación, de medida del tiempo etc. Tienen una orientación más bien práctica. Incluso en Astronomía, donde con frecuencia sólo se pretende *salvar las apariencias*, no explicar los fenómenos.
2. Experimentos baconianos. Proliferaron a partir del siglo XVII. Tenían una clara naturaleza heurística. Su objetivo principal era la exploración de la naturaleza: descubrir y mostrar fenómenos desconocidos. Experimentos de este tipo también se realizaron con el ánimo de mejorar las artes y las técnicas. Los experimentadores más rigurosos, como R. Boyle, solían hacer una descripción muy detallada de sus experimentos, sin concesiones interpretativas, lo que hacia posible que otros pudieran repetir las mismas experiencias.
3. Experimentos de exhibición. Se hicieron muy populares en el siglo XVIII. Obviamente, su objetivo era exhibir públicamente la *espectacularidad* de ciertos fenómenos, sobre todo los eléctricos o los neumáticos. Instituciones tan prestigiosas como la Royal Society organizaban sus sesiones (a veces diarias, como durante la época de Hooke) de exhibición pública. Las modernas Casas de

la Ciencia parecen recuperar en los tiempos actuales ese viejo espíritu de popularizar la ciencia.

4. Experimentos didácticos. Se trata de la variante académica y didáctica de los anteriores. Muchos físicos experimentales del XVIII poseían su colección particular de instrumentos que ponían a disposición de las cátedras donde eran contratados para enseñar su disciplina. Durante ese siglo y el siguiente las mismas cátedras se fueron haciendo con el instrumental necesario tanto para los propósitos docentes como para los de investigación.
5. Experimentos mentales. Son experimentos imaginarios cuyo objetivo es ilustrar o refutar una teoría. Pueden considerarse como argumentaciones lógicas, discursos, en los que se hacen intervenir artefactos y fenómenos imaginarios. Descartes, Pascal o Galileo los usaron con profusión.
6. Experimentos científicos. Se trata de experiencias diseñadas y realizadas en el marco de una teoría científica y con un propósito bien definido. Son la vía establecida para probar o refutar las hipótesis en las ciencias experimentales. Se exige de ellos que sean repetibles por diferentes grupos de experimentadores.

### **La filosofía mecánico corpuscular**

La filosofía mecánico corpuscular es una herencia del siglo XVII que se consolida y generaliza durante el XVIII. Es la filosofía de los físicos experimentales. Las explicaciones teleológicas de Aristóteles fueron sustituidas por otras de fundamentos más materialistas. El mundo natural había de ser explicado a base de movimientos y reagrupamientos de los corpúsculos elementales que, según ellos, constituían la materia. Para la mayoría de los autores los corpúsculos eran indivisibles y únicos en la especie, con diferencias sólo en la forma, el tamaño y el movimiento. Todo cambio, toda variedad, toda cualidad de la materia se había de explicar en términos del movimiento y la disposición espacio temporal de esos corpúsculos universales.

Frente a estas ideas básicas y aceptadas por todos, había diferencias sustanciales entre unos autores y otros. Así, Descartes, uno de los fundadores de la filosofía mecánica, no cree en la existencia de fuerzas en la materia. El universo es un gigantesco mecanismo puesto en marcha por Dios de una vez por todas. La materia en movimiento que observamos es suficiente para explicar todos los fenómenos. Newton aceptó los fundamentos de la filosofía mecánico corpuscular pero no aceptó la negación cartesiana de la existencia de fuerzas. No pretendió explicar la naturaleza de las fuerzas gravitatorias, de cohesión o elásticas, pero estaba convencido de su existencia. Construyó su mecánica asumiendo la existencia de partículas inertes y fuerzas externas atractivas y repulsivas que actuaban entre ellas. No creyó en fuerzas innatas, excepto en las fuerzas de inercia que no lograba explicar con la única ayuda de las fuerzas externas. Para Leibniz, por el contrario, las fuerzas eran internas a la materia. Eran más reales que la propia materia, que para Leibniz era sólo un fenómeno, una manifestación sensible de las interacciones entre las sustancias metafísicas activas que componen el universo. Estas posiciones respecto al papel de las fuerzas obedecen en realidad a motivos religiosos. Aunque en todos los casos los argumentos se podía fácilmente volver contra los propios motivos inspiradores.

### **Instituciones académicas**

La primera institución científica que acogió en su seno a la experimentación física fue la florentina Academia del Cimento, creada en el siglo XVII por discípulos de Galileo. Parece que su gran objetivo era el descrédito del aristotelismo. La Academia de Ciencias de París, por la misma época, también recibió la influencia baconiana. Dedicaron buena parte de esfuerzo a realizar medidas geodésicas de precisión. En Inglaterra fue la Royal Society de Boyle, Hooke y Newton la mejor propagandista de la filosofía experimental. Se organizaron sesiones públicas de exhibición y se nombró un encargado de experiencias (Hooke fue el primero de ellos). El propio Newton fue admitido en 1672 por la construcción del primer telescopio reflector y por otras aportaciones experimentales.

Por el año 1683 la universidad alemana de Altdorf (Nuremberg) organizaba cursos de física experimental (fueron famosas las experiencias neumáticas de Otto von Guericke). En 1700, en el Hart Hall, la universidad inglesa de Oxford abrió sus aulas a la física experimental. Y en 1707 lo hizo la de Cambridge, en el observatorio del Trinity College. Las universidades holandesas de la época, especialmente la de Leyden, desempeñaron un papel muy importante en el desarrollo de la física experimental. Hombres como Boerhaave, Gravesande, Musschenbroeck o C. von Wolff, contribuyeron con una meritoria labor en ese sentido. En Francia, la primera cátedra de física experimental se abrió en 1752, en el Collège de Navarre de la Universidad de París. En este mismo país los jesuitas destacaron en la realización y promoción de las actividades experimentales de la física.

### **Instrumentos científicos**

A comienzos del XVIII existían tres categorías de instrumentos científicos: los matemáticos, los ópticos y los filosóficos. Tal distinción no era más que una consecuencia de la propia historia de la instrumentación científico técnica. Los propios fabricantes se auto agrupaban en esas mismas categorías. Hasta finales del siglo XVI casi todos los instrumentos eran matemáticos, útiles de las llamadas matemáticas mixtas con aplicaciones en la astronomía, la navegación, la fortificación, la arquitectura, la medida del tiempo, etc. Casi todos ellos eran instrumentos de medida de posiciones, longitudes, latitudes, tiempo etc. No pretendían descubrir nada nuevo sobre el mundo, sólo realizar observaciones cuantitativas.

Los instrumentos ópticos se desarrollan a partir del siglo XVII. Entre ellos, el microscopio y el telescopio jugarían un importante papel en la naciente filosofía experimental. Mientras que los fabricantes de instrumentos matemáticos pertenecían a una larga tradición (tan reconocida que algunos de sus mejores miembros eran acogidos en las instituciones científicas y en la universidad), los fabricantes de instrumentos ópticos se nutrieron de los mejores fabricantes de anteojos.

Por su parte, los instrumentos filosóficos tenían como objetivo la exploración baconiana de la naturaleza. Las bombas neumáticas, las máquinas electrostáticas o los planetarios son buenos ejemplos de este tipo de instrumentos. La popularización de las exhibiciones científicas acabó estimulando su producción comercial. Los fabricantes de

este grupo de instrumentos no poseían una tradición clara, muchos de ellos eran los propios científicos ayudados por diferentes tipos de operarios.

Los mejores fabricantes de instrumentos en el siglo XVIII eran los ingleses. En las tres categorías. Les seguían los franceses y los alemanes. Los fabricantes de instrumentos de precisión eran considerados de una categoría especial. Llegaron a tener una gran prestigio y eran tratados como socios colaboradores de la empresa científica.

## **Bibliografía**

- Bennett, J. A. 1998. La fabricación de instrumentos científicos en la era industrial. En Elena, A., Ordóñez, J. y Colubi M. Ed. *Después de Newton: ciencia y sociedad durante la Primera Revolución Industrial*. Barcelona: Anthropos.
- Boyle, R. 1985. *Física, Química y Filosofía Mecánica*. Madrid: Alianza.
- Hankins, T. L. 1985. *Science and the Enlightenment*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Lindqvist, S. 1996. The spectacle of Science: An Experiment in 1774 Concerning the Aurora Borealis. Web page from The John Hopkins University.
- López Piñero, J. M., Navarro, V. y Portela, E. 1989. *La Revolución Científica*. Madrid: Historia 16.
- Kimler, W. C. 1999. Electricity in 18<sup>th</sup> Century Experimental Physics. Página Web.
- Mason, S. F. 1985. *Historia de las ciencias 3. La ciencia del siglo XVIII*. Madrid: Alianza.
- Sellés, C y Solís, C. 1994. *La Revolución Científica*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Taton, R. 1988. *Historia general de la ciencia. El siglo XVIII*. Barcelona: Orbis
- Ten, A. E. 1991. *La física ilustrada*. Madrid: Ediciones Akal.