



# INSTRUMENTALISMO: UNA CRÍTICA AL REALISMO

*MARÍA JESÚS CASTAÑO VINUESA  
RAQUEL SANTOS ELORRIETA*

*Profesoras de Filosofía  
I.B. Los Realejos  
I.B. Granadilla*

## **INTRODUCCIÓN**

El trabajo que se realizó en filosofía de la ciencia en la última mitad del siglo XIX y la primera década del XX se caracteriza por someter a revisión los planteamientos que aún prevalecían sobre la ciencia, heredados fundamentalmente de la descripción que sobre su quehacer hizo Francis Bacon. Esta revisión se llevó a cabo guiada por la idea de mantenerse fiel, en lo posible, a la manera de trabajar real de los científicos y por la necesidad de someter a crítica las teorías existentes.



Las razones por las cuales esto se hizo necesario podemos rastrearlas en la situación en la que se encontraba la ciencia a mediados de siglo. Hasta este momento la ciencia, por su grado de efectividad, había adquirido características que la habían convertido en modelo de saber y única forma absoluta de conocimiento. La máxima confianza es alcanzada cuando Helmholtz formula la ley general de conservación de la energía, logrando con ella una visión sumamente elaborada a la par que sintética de toda la realidad. Alrededor de la triunfante concepción materialista-mecanicista<sup>1</sup>, el optimismo científico adquiere su máxima expresión con la formulación de los tres principios clásicos: el de la unidad de la naturaleza, del método y de la ciencia.

En esta situación la mayoría de los científicos critican por su inutilidad al supuesto conocimiento filosófico, a la par que establecen la prioridad absoluta de la ciencia tanto en el campo epistemológico como en el ontológico. Como consecuencia de ello la filosofía se convierte en una especie de servidora de la ciencia, cuyas tareas principales giran en torno a ella. Por ello la filosofía se definiría como: una reflexión general sobre la ciencia, un análisis de los distintos niveles científicos, con el objeto de mejorar las relaciones entre las distintas disciplinas o ciencias particulares<sup>2</sup>, y una reflexión con objeto de unificar el método científico.

Las numerosas versiones que del método se habían dado, la constitución de nuevas disciplinas, el éxito de la observación y la experimentación, los problemas de la matematización, la aparición de nuevas entidades y leyes que la ciencia misma postulaba y que parecían alejadas de los fenómenos de la experiencia ordinaria, hicieron de la cuestión del método un asunto fundamental para la ciencia.

A mediados de siglo, la ciencia, articulada en torno a la Mecánica Clásica, alcanza su grado de máxima confianza en sí misma, la efectividad de su conocimiento así lo pone de manifiesto y si acaso aparecen ciertas anomalías que no encajan dentro del materialismo-mecanicista, son tratadas como simples elementos extraños pendientes de resolver.

El estado de la física en este siglo aparece claramente descrito en el siguiente texto de P.M. Harman:

---

<sup>1</sup> Para esta concepción, la materia es primaria y no hay duda de que existe un mundo real y objetivo independientemente de los individuos que lo perciben; la ciencia es el descubrimiento de los mecanismos de este mundo objetivo por medio de los cuales la materia actúa.

<sup>2</sup> Así, por ejemplo, la entenderá Comte, quien establece la unidad de la ciencia y su prioridad epistémica, distinguiéndola claramente de otras supuestas formas de conocimiento, entre ellas la filosofía, para la cual estaría reservada la tarea que hemos descrito.



*«En el siglo diecinueve la física vino a ser definida a partir del papel unificador del concepto de energía y del programa de explicación mecánica.*

*El concepto de energía proporcionó a la física un marco nuevo y unificador, y sometió a la física a la concepción mecánica de la naturaleza, abarcando el calor, la luz y la electricidad, junto con la mecánica, en una misma estructura conceptual. El aspecto más importante del desarrollo de la física en el siglo diecinueve es la manera en que las innovaciones teóricas fueron formuladas de acuerdo con la concepción mecánica de la naturaleza, que suponía que la materia en movimiento era la base de todos los fenómenos físicos»<sup>3</sup>*

Mas a pesar de ello, en un relativamente corto período de tiempo, se articulan una serie de problemas científicos que producen una crisis de la física clásica, de la matemática y de la propia concepción mecanicista de la ciencia. Estos problemas girarán alrededor de estos puntos:

1. La teoría del éter lumínico y electromagnético y el concepto de campo físico. La aportación de la teoría de Lorentz es esencial en este punto: la física se basa en conceptos electromagnéticos y el éter carece de propiedades mecánicas, dándose el primer paso contra el mecanicismo.

2. El desarrollo de la física de la energía y de la termodinámica, terminó con la propuesta de Planck en la que se exigía que la energía no fuera continua, sino «cuantizada»; la hipótesis de los quanta tampoco tenía cabida dentro de los supuestos mecanicistas.

3. La física molecular y la termodinámica estadística, cuyos desarrollos llevaron a una posible interpretación estadística de la segunda ley de la Termodinámica, en contra del determinismo que caracteriza a la concepción mecanicista.

Estos y otros problemas dentro de la física no sólo llevaron a la crisis de la concepción mecánica-materialista de la naturaleza, y a la de toda la física clásica posteriormente, sino que además contribuyeron a plantear importantes revisiones dentro del campo de la filosofía que giraban alrededor de cuatro cuestiones fundamentales:

---

<sup>3</sup> P.M. Harman, *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*, pág.14.



- Se cuestiona la naturaleza de algunas entidades postuladas por la ciencia.
- La relación que mantenían las teorías físicas con la realidad y cuál debía ser, en consecuencia su criterio de aceptabilidad.
- El problema de analizar y determinar cuál es la estructura y la naturaleza interna de una teoría científica.
- El inevitable problema del método científico.

La solución a estos problemas dará lugar a la formación de la filosofía de la ciencia, siendo los propios científicos quienes comiencen a ponerla en práctica.

En el trabajo que nos ocupa intentaremos hacer una síntesis de las principales reflexiones y soluciones que los científicos de la segunda mitad del siglo XIX realizaron en torno a estas cuestiones. Entre las figuras más importantes habría que citar a Ernst Mach, Heinrich Hertz, Henri Poincaré y Pierre Duhem, aunque, por cuestiones de espacio, hemos seleccionado según criterios de importancia a sólo tres de ellos: Mach, Poincaré y Duhem.

Todos ellos compartieron la idea de que el conocimiento científico no es un conocimiento absoluto y que sólo puede llegar a dar una imagen meramente aproximada de la realidad, aunque mantendrán posiciones diferentes en torno a la creencia en una realidad perdurable e independiente del propio conocimiento científico o de cualquier otro tipo.

De entre los rasgos comunes que caracterizan la concepción de la ciencia de este período destacan los siguientes:

- la investigación científica comienza con la observación libre y desprejuiciada.
- avanza por medio de la inducción.
- llega a leyes que son generalizaciones empíricas y luego hasta enunciados de aún mayor generalidad o «teorías».
- las leyes y teorías reciben apoyo adicional de la comparación de las consecuencias deducidas de ellas con enunciados acerca de los resultados de la observación.

Las diferencias comenzaban en las explicaciones que se daban acerca de los resultados que se podían conseguir por este método: habría que decir que mientras que la mayoría de los científicos no ponían en duda que su propósito era descubrir la naturaleza de los objetos observables, considerados como constituyentes del mundo externo, y de las relaciones que rigen habitualmente entre ellos, sin embargo otros con más inspiración filosófica, principalmente bajo la influencia de Berkeley, Hume



y Kant, contemplaban esto con suspicacia y consideraban que la tarea de la ciencia era meramente establecer relaciones entre nuestras experiencias para permitir la predicción.

Aunque aparentemente los filósofos-científicos de esta época intentaran casar la filosofía empirista con las tareas de los científicos, la realidad es que la mayoría de las concepciones acerca de los métodos y de los fines de la ciencia fueron puestas en tela de juicio por ellos, derivando hacia concepciones marcadamente instrumentalistas y convencionalistas.

Los autores citados están en la línea más o menos dura, según los casos, del positivismo del siglo XIX. El positivismo fue una corriente filosófica iniciada por el autor francés Augusto Comte, y que se caracteriza, entre otras cosas, por ser un movimiento tan amplio como ambiguo y pobremente definido, continuado en el siglo XX por el llamado positivismo lógico. Sus señas de identidad como movimiento filosófico fueron resumidas por Kolakowski en cuatro criterios: el fenomenalismo, consecuencia del cual, todas las entidades hipotéticas que puedan situarse fuera del alcance de la pura observación, se han de eliminar de las teorías científicas; el enfoque nominalista del lenguaje, con objeto de desterrar las «esencias» del armazón teórico de la ciencia; el hecho de negar el valor cognitivo a juicios de valor y afirmaciones normativas; la creencia en una unidad esencial del método científico<sup>4</sup>.

Es necesario aclarar que no todos los positivistas compartieron estos cuatro criterios, en especial el del fenomenalismo. Pero sí comparten la opinión de resaltar la importancia de las pruebas empíricas como fuente de conocimiento y en rechazar cualquier tipo de entidad metafísica o teológica (esencias, dioses, almas..) por no encontrarse dentro del campo de la investigación empírica. Sus investigaciones se remiten, por tanto a las «cuestiones de hecho», es decir, empíricas; rechazando como vano empeño el intentar determinar las causas últimas de las cosas, se limitan a determinar las regularidades existentes en las relaciones que los fenómenos mantienen entre sí, o sea, a establecer leyes.

Los científico-filósofos positivistas aún moviéndose dentro de este marco general, individualizaron sus posiciones adhiriéndose según los casos a distintas escuelas o «ismos», como son el pragmatismo, el convencionalismo y el instrumentalismo, colocándose, en general, frente al realismo.

Uno de los objetivos fundamentales de esta exposición es intentar aclarar el significado que estos términos adquieren dentro del contexto de la filosofía de la ciencia.

---

<sup>4</sup> L. Kolakowski, *The alienation of reason: a history of positivist thought*, citado por D. Oldroyd en *El arco del conocimiento*, pág. 257.



Una interpretación instrumentalista de la ciencia se caracteriza por sostener que las teorías científicas «representan» la realidad o los fenómenos como una especie de instrumento del que nos servimos, dado que sus términos teóricos son constructos introducidos al objeto de servirnos de guía para la investigación y la predicción; pero aunque las predicciones se confirmen, la teoría no es considerada como verdadera o falsa sino como meramente adecuada para lograr los fines según los cuales se concibió.

El convencionalismo es frecuentemente una consecuencia de esta última posición: las teorías, o parte de ellas, las leyes, o bien sólo los principios generales de las ciencias, son considerados como convenciones más o menos arbitrarias que por su propio status escapan a la falsación<sup>5</sup>, y que se mantienen como tales en función de muy diversos criterios (de utilidad, rigor, orden, y hasta estéticos...), pero, en cualquier caso, no por un criterio veritativo.

El instrumentalismo se opone al llamado «realismo», para el cual los términos de una teoría científica se refieren a comportamientos de entidades no observadas pero existentes, por lo que las teorías son una especie de resúmenes de enunciados observacionales que describen «realidades» y, consecuentemente, se puede decir de ellas que son verdaderas o falsas.

Consideramos necesario aclarar que no encontraremos estos «ismos» en «estado puro» en los autores que vamos a analizar, salvo en el caso de Ernst Mach quien está considerado como un positivista de «línea dura»; tanto en Poincaré como en Duhem el convencionalismo y el instrumentalismo adquieren matizaciones propias y no tan radicalmente opuestas al realismo.

Podemos ver la influencia de todos estos autores en la obra de Karl Pearson, en el Círculo de Viena, en el antiinductivismo de Karl Popper, en el operacionalismo de P. W. Bridgman, en el «pragmatismo conceptualista» de C. I. Lewis y hasta en el enfoque lingüístico de Ludwig Wittgenstein. No obstante, su influencia sobre la elaboración teórica de la ciencia quizá se manifiesta de manera más notable en la interpretación de la teoría cuántica de la escuela de Copenhague.<sup>6</sup>

## ***ERNST MACH***

Nació en Turas, Moravia (1838-1916). Profesor de Física y luego de filosofía en la Universidad de Viena. Sus obras principales: *Historia y fundamento del principio de conservación de la energía, 1872; Esbozos de la doctrina de las sensaciones de*

<sup>5</sup> El término falsación hace referencia al hecho de que exista algún medio de contrastación con los hechos de forma que exista también, en consecuencia, la posibilidad de refutación.

<sup>6</sup> D. J. O'CONNOR, *Historia crítica de la filosofía occidental, La filosofía en la segunda mitad del siglo XIX*, pág. 218.



*movimiento*, 1875; *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, 1883; *Análisis de las sensaciones*, 1900; *Los principios de la doctrina del calor*, 1896; *El principio de analogía en física*, 1894; *Lecciones científicas populares*, 1896; *Conocimiento y error*, 1905.

Es un autor polifacético; además de físico, matemático, fue investigador de procesos sensoriales (realizó investigaciones psicológicas relativas al espacio, tiempo, el oído, la visión y la estética). Sus estudios abarcan campos dispares; contribuyó a la mecánica, la acústica, la óptica, la hidrodinámica, y la termodinámica. William James dijo sobre él que «*lo había leído todo y pensado todo*»<sup>7</sup>. Sin embargo para O'Connor, el hecho de encontrarnos en Mach con trabajos tan diversos, no presupone una diversidad en conocimiento, pues toda ella está animada de un interés por las cuestiones filosóficas y lógicas que plantea la investigación científica. «*Mach sostenía que no hay divisiones «naturales» básicas entre las diversas ramas de la ciencia, y que tales divisiones son meramente arbitrarias y convenientes*»<sup>8</sup>.

Se le considera el más importante representante de la ciencia positivista del siglo XIX. Lo que no significa, según Oldroyd, una conexión directa con Comte.

Influido en su juventud por Kant, Mach pronto reaccionó contra su noumenalismo y se volvió hacia Hume y Avenarius<sup>9</sup>. Esta actitud adoptada a fines de la década de 1860 fue la que mantuvo y desarrollo en su obra. La lectura de Kant lo introdujo en el idealismo de Berkeley, y en este sentido, se puede considerar la filosofía de la ciencia de Mach como un reflorecimiento de la teoría del conocimiento de Berkeley.

*«Cabe acaso considerar a Berkeley en lugar de Comte como uno de los inspiradores fundamentales de la filosofía de Mach.»*<sup>10</sup>

Mach compartió con Berkeley la visión instrumentalista de las leyes y teo-

<sup>7</sup> Oldroyd, *El arco del conocimiento*, pág. 267

<sup>8</sup> O'Connor, *Historia crítica de la Filosofía occidental IV*, pág. 220.

<sup>9</sup> Mach en «*Análisis de las sensaciones*», escribe: «*Con Kant me ocurrió una cosa rara. Su idealismo crítico, debo confesarlo, me sirvió de punto de partida. Pero me ha sido imposible mantenerme en él. Más bien me acerqué pronto a las opiniones de Berkeley, más o menos latentes en las obras de Kant. Por mis estudios sobre la fisiología de los sentidos y merced a Herbart, llegué a concepciones afines con las de Hume, sin conocer entonces sus obras. Aun hoy considero a Berkeley y a Hume como pensadores más consecuente que Kant*»... *Tampoco sería una hazaña demostrar la insuficiencia de la filosofía Kantiana en lo tocante a la dirección de las investigaciones naturales modernas.*(pág. 323)

<sup>10</sup> Oldroyd, *El arco del conocimiento*, pág. 268.



rías científicas<sup>11</sup>. Pero no aceptó de Berkeley la consideración de que Dios al abrir sus alas, por así decirlo, evitaba la degeneración del empirismo, sensacionismo y fenomenalismo en solipsismo inútil<sup>12</sup>.

Por otra parte, rechaza las concepción innatista o el apriorismo propio de los cartesianos. Para él las leyes y los principios científicos descansan sobre fundamentos empíricos y sólo pueden certificarse a través de la experiencia. Las categorías mentales de Kant no existen. En este sentido acepta la afirmación de Hume de considerar que aquello que puede parecer como conceptos innatos del conocimiento no son sino hábitos establecidos en la mente como resultado de experiencias pasadas.

Se observa así, la pretención de Mach de hacer resurgir la teoría empirista del conocimiento basada en la consideración de las sensaciones y en sus patrones y relaciones. Epistemología que debía servir como apoyo a la elaboración de una teoría general de la ciencia.

Es por ello, por lo que a la epistemología Machista se la considera: positivista, fenomenista, empirista, neutralista, etc., y negativamente puede ser caracterizada de antimetafísica y antisubstancialista.

## I.- El sensualismo

El mundo para Mach está formado de elementos<sup>13</sup> (sensaciones), lo que no quiere decir que éste sea una suma de sensaciones, Mach habla expresamente de relaciones funcionales de elementos<sup>14</sup>. El mundo que observamos aparentemente consiste en cuerpos animados e inanimados, junto con nuestros propios senti-

<sup>11</sup> *Berkely sostenía una visión instrumentalista de las leyes de la mecánica; estas leyes no son otra cosa que medios de cálculo para la descripción y predicción de fenómenos. Insistió en que tanto los términos que aparecen en las leyes, como las dependencias funcionales expresadas por las leyes, no necesitan referirse a lo existente en la naturaleza. (v.g. la fuerza atractiva, el impetus...). Sobre Berkeley y su crítica a Newton mirar Losee; p.169-70 y Tratado sobre los principios del conocimiento humano, Berkeley pp.123 y siguientes.*

<sup>12</sup> *En Análisis de las sensaciones, Mach comenta su diferencia esencial con Berkeley: «Berkeley ve los «elementos» condicionados por algo desconocido, que está fuera de ellos (Dios), y luego Kant, como realista más sobrio, inventa la «cosa en sí» mientras que yo supongo una dependencia mutua práctica y teórica de los elementos». (pág. 318).*

<sup>13</sup> *Como para Mach la palabra sensación puede inducir a engaño, prefiere utilizar el término «elemento» que es neutro entre los diferentes complejos. Pero para Lenin La premisa fundamental y el punto de partida de la filosofía empiriocriticista de Mach y Avenarius, no es otra que «el mundo es nuestra sensación», un idealismo subjetivo que está ocultado bajo la palabreja «elemento»*

<sup>14</sup> *En este sentido se observa una base sólida, dado por el concepto matemático de función. Mach intenta sustituir la noción de causa (las relaciones de la naturaleza rara vez son tan sencillas que en un determinado caso se pueda comprobar una causa y un efecto) por la de función, la ventaja del concepto de función sobre el de causa estriba, para Mach, «en que el primero ganó al segundo en agudeza y no lleva anejas la indeterminación y unilateralidad de éste»*



mientos, recuerdos, estados de ánimo, etc. Al describir el mundo se observa que sus cuerpos relativamente permanentes, deben ser analizados en elementos relativamente inconstante y simples, tales como colores, sonido, olores, sabores, etc. A estos Mach los llama «partes componentes últimas» porque suponen la finalización del análisis. No se puede ir más allá de la experiencia, es incognoscible esa otra parte. Sólo es posible obtener datos acerca del mundo a través de la experiencia de los sentidos. Todo el conocimiento parte de la sensación.

El sensacionalismo o sensualismo de Mach puede calificarse de «neutralista». La sensación es aquí un elemento neutral que, si bien permite «construir» la realidad, no es él mismo una determinada especie –física-psíquica– de realidad. Las sensaciones, para Mach, se fundamentan en la formación de un tejido sólido de elementos, dados tanto en el mundo exterior como en el mundo interior<sup>15</sup>. Para Mach existe una relación entre los cuerpos y el «yo», entre el mundo interior y exterior, siendo ésta una relación de independencia relativa; mi «ego» está compuesto de mi cuerpo y mis voliciones, sentimientos, pensamientos, recuerdos, etc. En mi experiencia hay tres tipos de complejos: cuerpos externos, mi cuerpo y mi mente. Ninguno de ellos es totalmente independiente de los otros, sino sólo relativamente. Cada elemento de los tres complejos es una sensación, sea un dolor o un deseo, el color de mi dedo o el color de un objeto externo. Las distensiones entre los tres cuerpos son arbitrarias y prácticas.

Todo este estudio tiene como fin último, y así lo aclara en *Análisis de las sensaciones*, abolir el abismo existente entre lo físico y lo psíquico. Y en último término, se desprende que no hay ninguna diferencia real entre los objetos de estudio de diferentes ramas de la ciencia, ya que todas ellas investigan las relaciones entre sensaciones. Un color puede ser un elemento de complejos estudiados tanto por los físicos como por los psicólogos<sup>16</sup>. No hay ninguna oposición, sino un paralelismo, entre lo físico y lo psíquico; hay una simple identidad de ciertos elementos. En la esfera sensorial todo es al mismo tiempo físico y psíquico, pero los colores no son en sí mismo ni físicos ni psíquicos.

## II.- La epistemología positivista de Mach

Si relacionamos el sensorialismo de Mach con su teoría del conocimiento, podemos inferir que la investigación científica debe preocuparse de la determinación

<sup>15</sup> *El mundo interior es el mundo del «yo» y el mundo exterior es el que está formado por los cuerpos.*

<sup>16</sup> «Un color es un objeto físico en cuanto lo pensamos como dependiente de la fuente luminosa. Si lo consideramos como dependiente de la retina, es un objeto psicológico, una sensación. Lo diferente en ambos casos no es la materia sino la dirección de nuestras investigaciones» (*Análisis de las sensaciones*, ver pags. 39, 40)



de los modos de conexión o las relaciones existentes entre todos los elementos de la sensación; lo que –según Oldroyd– viene a ser el programa positivista de Comte al que Mach dio un fundamento más cuidadosamente epistemológico. En este sentido la filosofía de Mach fue esencialmente monística. Frente «al pernicioso dualismo», Mach defiende una construcción unitaria y monista de la ciencia.<sup>17</sup>

Se observa en este sentido, que cualquier resto kantiano de noúmenos se rechaza y es que el objetivo del positivismo fue purgar la epistemología (y la ciencia) de cualquier elemento metafísico. «*La teoría del conocimiento de Mach sólo admite, en cierto modo, una dimensión de la realidad: la realidad dada en los datos simples de los sentidos, en el color, el sonido, el olor, etc. Estos datos constituyen, según él, los elementos fundamentales de que está formado el ser, sin que detrás de ellos debamos buscar otros.*»<sup>18</sup>

Mach afirmó que todos los conceptos científicos pueden descomponerse en sensaciones particulares. «*La ciencia nace en cuanto, por medio de los elementos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ..., reproducimos las relaciones de los elementos restantes. La Física, por ejemplo, nace por la reproducción de las relaciones de los elementos  $A B C$ ...; la Psicología de los sentidos, por representación de las relaciones de  $A B C$ ... con  $K L M$ ... La reproducción de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ... por otros  $\alpha \beta \gamma$  conduce a las ciencias psicológicas propiamente dichas.*» (pág.278)<sup>19</sup>.

Pero la **epistemología** de Mach iba más lejos. En su *Historia y raíces del principio de la conservación de la energía* escribió:

«*Lo que nos representamos a nosotros mismos tras las apariencias existe sólo en nuestro conocimiento ... [teniendo] solamente el valor de una memoria técnica o fórmula cuya forma, debido a que es arbitraria y relevante, varía fácilmente con el grado de nuestra cultura.*» (pág. 271)

Así se opuso, entre otras ideas importantes del siglo XIX, a la teoría atomista. Los átomos de los químicos (que no podían verse ni tocarse, y era imposible deter-

<sup>17</sup> «*la búsqueda de una ciencia única debe establecerse con un sistema conceptos aplicable a todos los campos. Si, pues, resolvemos el mundo material entero en elementos que, a la vez, son elementos del mundo psíquico y a los que llamamos ordinariamente sensaciones, y si consideramos además como tema único de la ciencia el estudio de las relaciones y mutua dependencia de tales elementos, tendremos derecho a esperar poder construir, con tal representación una construcción unitaria, monística...*» *Análisis de las sensaciones* pág.276.

<sup>18</sup> Cassirer, *El problema del conocimiento*, tomo IV, pág.118.

<sup>19</sup> Cassirer nos comenta como Duhem, subrayando el carácter «simbólico» de todo conocimiento físico, expresa la imposibilidad de encontrar un juicio de la física teórica que se refiera a aquellos «elementos» en que la «física fenomenológica» de Mach ve el nervio y el contenido de todo lo real.



minar relaciones directas de fenómenos entre ellos) parecían realizar un papel análogo al de «objetos en sí mismos» de Kant. Mach –según Oldroyd– estaba dispuesto a aceptar los átomos como *memoria técnica* (es más fácil recordar formulas de moléculas que su composición química por el peso. De esta manera se podía coordinar una masa de datos empíricos mucho más sencillamente). Pero los átomos no poseen un status real; tan sólo, son símbolos económicos de la experiencia físico-química. Su valor es heurístico o didáctico.

En este sentido a la filosofía de la ciencia de Mach se la califica de «*instrumentalista*». Si los átomos eran útiles en la ciencia de un modo u otro, aunque no fueran reales, pueden ser considerados como «instrumento» de investigación, en función de su utilidad práctica, pero nada más. Con ello, Mach venía a descargar a la física del lastre de los «imponderables» y limitaba la misión de esta ciencia al conocimiento de las *leyes* de los acaecimientos naturales.

Mach supuso, por tanto, que la explicación científica no es más que la descripción económica de fenómenos mediante leyes. No aporta nada al mundo real, tan sólo regularidades acerca de nuestras sensaciones objetivas.

Las leyes nacieron con la necesidad de comunicar el conocimiento. Son descripciones ideales de la ciencia, una descripción precisa, completa, y económica de los hechos. Describimos de la manera más económica posible cuando nos remitimos a los elementos obseables y no vamos más allá de la experiencia sensorial. Tales descripciones eliminaba la necesidad de esperar nuevas experiencias y de hacer nuevos experimentos y, puestos que ellas son generales, nos permiten deducir lo que sucederá en circunstancias determinadas, *predecir* hechos futuros. Como bien expresa Cassirer, para Mach «*Las leyes no son sino catálogos de hechos sueltos*». El conocimiento que ellas nos aportan nunca puede ser comparable al de la percepción directa.

Con respecto al papel de las hipótesis expresa que es el de mantener una afirmación antes de ser aceptada como ley; así en el *Desarrollo Histórico crítico de la mecánica* muestra como Galileo hizo hipótesis acerca de la manera como caen los cuerpos para ejemplificar la idea de que: «*Sin alguna opinión preconcebida el experimento es imposible, porque su forma está determinada por esa opinión*»<sup>20</sup>. Sin embargo, O'Connor considera que a veces Mach no parece creer que las hipótesis tengan un papel relevante en la ciencia, puesto que condena la construcción de hipótesis; éstas son artificios o expedientes mentales que no tienen nada que ver con los fenómenos. En este sentido, expresa objeciones a ciertos tipos de hipótesis, como

<sup>20</sup> Citado por O'Connor, P. 233.



son: las hipótesis no puestas a prueba, aunque pueden serlo, que figuran en conclusiones científicas, y las hipótesis explicativas que suponen inobservable, por ejemplo los átomos, consideradas como afirmando la existencia de entidades inobservables. En general las hipótesis son peligrosas cuando se confía más en ellas que en los hechos mismos.

En resumen, una teoría para Mach –dice Cassirer– no es otra cosa que la «adaptación a los hechos» y, por consiguiente, la simple reproducción de éstos<sup>21</sup>. La tarea del científico es, principalmente, describir fenómenos más que construir teorías, aunque éstas pueden ser útiles para ese propósito.

A través de la experiencia formamos conceptos abstractos, tales como «rojo», «liso», que podemos usar independientemente unos de otros. Un informe de un hecho que sólo utiliza tales herramientas abstractas es una *descripción directa*; contrasta con él una teoría, o *descripción indirecta* en la cual apelamos a una descripción ya formulada y decimos que un nuevo hecho es «no en uno de sus aspectos, sino en muchos o en todos ellos similar a un hecho anterior y bien conocido»

No deben aceptarse las teorías por sí mismas ni por tener igual dignidad que las descripciones directas; nuestro objetivo debe ser siempre reemplazar una teoría por una descripción directa. Las teorías son auxiliares y transitorias. Sólo se construyen con ayuda de la memoria y la comparación.

## II.1.- El método científico

Los estudios históricos de Mach le llevaron a la consideración de que no existe un único método científico.

El único método fundamental, para Mach, en la ciencia es «el método del cambio o variación por el cual nuevas ideas se desarrollan a partir de las viejas. Incluso, el prejuicio no debe ser condenado. Mach es consciente de que las teorías metafísicas sobre la estructura del universo o las creencias acerca de los propósitos de Dios pueden desempeñar papeles importantes en la investigación científica. «*Las ideas más felices no caen del cielo sino que brotan de nociones ya existentes*», y «*no debe descuidarse lo accidental sino usarse intencionalmente*».<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Poincaré y Hertz consideran que las imágenes que nos formamos de los objetos exteriores no dependen solamente de la naturaleza de estos objetos, sino que deben su forma «a la lógica propia de quien los formula». Esta Lógica exige e impone una conexión distinta y más rigurosa de los fenómenos que la que nos indica directamente la observación.

Duhem llega más lejos con su crítica: para él, ningún principio físico, ni el más simple y elemental, puede ser concebido como una simple suma de hechos revelados por la percepción, como un conglomerado de observaciones recogidas en la vida cotidiana.

<sup>22</sup> Citado en O'Connor, pág. 240.



## II.II.- Fines de la investigación científica

Para Mach los fines de la investigación científica son prácticos; ninguna conclusión presenta interés a menos que sea lógicamente posible aplicarla. La investigación científica consciente comienza con necesidades prácticas, pero es precedida por el conocimiento «instintivo» de los procesos naturales<sup>23</sup>. El científico plantea sus primeros interrogantes sobre la base de tal conocimiento. Creamos máquinas y herramientas y desarrollamos actividades mecánicas, de manera fortuita y accidental, mucho antes de llegar a comprender los principios subyacentes en ellas y hasta los interrogantes sobre ellas. La finalidad de todo trabajo científico es el de acomodación del pensamientos a los hechos.

## III.- Origen y desarrollo de la ciencia

El análisis que Mach hace sobre el **origen y desarrollo** de las ciencias<sup>24</sup> no es más que una revisión de la historia de la ciencia: de la estática a la dinámica, pasando por la crítica a la mecánica newtoniana para llegar a la visión de su Física fenomenológica.

El **origen** o infancia de la ciencia, la estática, se caracteriza por estar constituida de intuiciones y métodos muy simples, en último término, por la experiencia de los artesanos. Para Mach la ciencia surge por necesidad de hacer comunicables las experiencia de los artesanos. Una vez reunidas todas estas experiencias, con el fin de conservarlas por escrito, podemos examinarlas con más frecuencia y con menos prejuicios que el artesano. Podemos observar, entonces, que los hechos y sus reglas se ponen en íntima relación. Y el deseo de simplificar y abreviar dicha intercomunicación nos puede llevar a reunir a muchos hechos y sus reglas en un enunciado *único*.

Al analizar el **desarrollo de la estática**, Mach hace referencia a Duhem, quien expresa que la cultura científica moderna está más íntimamente conectada con la antigua de lo que ordinariamente se cree. Las concepciones científicas del renacimiento surgen, paso a paso, a través de un desarrollo gradual y muy lento del pensamiento griego, en especial de la escuela peripatética y alejandrina, para Mach no es suficiente la consideración de la herencia científica, no es suficiente que los descubrimientos se trasmitan al sucesor, este debe adquirirlos por sí mismo. Para de esta manera abolir la subjetividad a la que nos puede llevar el poder de las afirmaciones

<sup>23</sup> *El conocimiento instintivo es sumamente primitivo pero no innato. Se forma en la experiencia y es constantemente puesto a prueba por ella; cuando las pruebas no fracasan, se aceptan ciertos enunciados sin discusión y se los convierte en axiomas de la ciencia.*

<sup>24</sup> *En su obra «El desarrollo histórico crítico de la mecánica»*



de los grandes autores. De ahí que exprese la necesidad de la *cultura material*, en nuestro caso especial las máquinas y dispositivos<sup>25</sup>.

Con respecto al **desarrollo de la dinámica**, Mach haciendo un análisis crítico de la investigación newtoniana, observa que se ha desarrollado de una manera análoga a la estática. La investigación histórica cumple un papel esencial en el desarrollo de una ciencia. De no ser así, la ciencia estaría constituida por un sistemas de recetas comprendidas a medias, o simplemente por un sistema de *prejuicios*. La investigación histórica facilita la comprensión de lo actual; además, nos muestra que lo actual es en parte *convencional y casual*. Por tanto, se nos abren las puertas a nuevas posibilidades. Es la investigación histórica la que nos aporta información sobre el notable progreso en la claridad del conocimiento una vez abandonada la concepción teológica. Aunque Mach cree que la ciencia no se ha despojado, en absoluto, de las concepciones mágico-religiosas.<sup>26</sup>

Y la causa que posibilita la subsistencia de tales concepciones no es otra que: «*De los impulsos que dominan a la humanidad tan demoniacamente,... sólo una mínima parte son accesibles al análisis científico y al conocimiento conceptual.*»<sup>27</sup>

La abolición del dogmatismo teológico, vendría dada para Mach conquistando una concepción satisfactoria del mundo; «*dejando el campo libre al entendimiento y a la experiencia, únicos que han de decidir, podremos, entonces, esperar aproximarnos, para bien de la humanidad, lenta, gradual, pero seguramente a aquel ideal de una concepción unitaria del mundo, compatible con la organización de un ánimo bien templado.*»<sup>28</sup>

Así, la función económica, esencia –para Mach– de toda ciencia, posibilita la desaparición de toda la mística de la ciencia: «*Toda ciencia tiene que sustituir o ahorrar la experiencia mediante imágenes y representaciones mentales de los hechos, imágenes que son más fáciles de manejar que la experiencia misma y que bajo muchos aspectos la pueden sustituir.*»<sup>29</sup>

En *Desarrollo histórico crítico de la mecánica*, Mach hace referencia a algunas de las funciones económicas que la ciencia suele utilizar; entre ellas destaca, el lenguaje, la causa-efecto y la matemática...

Su concepción de causa y efecto se reduce a que estos son productos mentales

<sup>25</sup> «*Con tal herencia material podemos fácilmente cumplir o repetir y ampliar las observaciones mismas que condujeron a los antiguos investigadores a sus descubrimientos científicos y recién entonces llegar realmente a comprenderlos.*» *Desarrollo histórico crítico de la Mecánica*, pág. 78.

<sup>26</sup> «*Todavía la física de hoy, muestra restos de fetichismo actual en sus «fuerzas»... Y que las concepciones paganas no han sido superadas aún por la sociedad ilustrada, lo podemos ver en la tonta ola de superstición espiritista que hoy invade a todo el mundo.*» *Op. cit.* 385.

<sup>27</sup> *Op. cit.* pág. 386.

<sup>28</sup> *Op. cit.* pág. 387.

<sup>29</sup> *Op. cit.* pág. 399.



que expresan economía. *En la naturaleza no hay ni causa ni efecto*. La herencia de Hume sobre Mach es clara.<sup>30</sup>

Con respecto a la matemática, Mach considera que la matemática es una economía del calcular.<sup>31</sup> Es un medio auxiliar que capacita a nuestros pensamiento para conseguir poco a poco lo que no podría realizar de repente. Tales medios auxiliares carecerían de valor si no consiguiéramos con ellos llegar a la completa representación del hecho sensible. Para Mach los llamados medios auxiliares, leyes y fórmulas, no son más que reguladores cuantitativos de mi representación sensible. «*Ésta es el fin; aquéllos, los medios*»

## HENRI POINCARÉ

La creación filosófico-científica de Henri Poincaré se centró en un análisis crítico de las teorías reinantes, aportando una visión revitalizada de la ciencia cuajada de ideas insospechadas y originales; considerándola en su totalidad y teniendo en cuenta su trabajo de ordenación de los conocimientos y su preciso análisis de los trabajos de la ciencia clásica, podríamos, sin lugar a dudas, afirmar que Poincaré es uno de los precursores más importantes de la física moderna.

Entre sus obras destacan *Lecciones sobre las hipótesis cosmogónicas* (1911), y en el campo de la filosofía de la ciencia escribió entre otras obras: *La ciencia y la hipótesis* (1902), *El valor de la ciencia* (1906) y *Ciencia y método* (1909).

Todos estos trabajos tienen en común el hecho de poner de manifiesto la caída del viejo edificio científico, evidenciado por la gran confusión existente en el panorama científico del siglo XIX. Los principios más firmemente asentados en la teoría del conocimiento aparecen como endebles, necesitados de revisión y hasta de suplantación. Poincaré manifiesta que las teorías científicas son meras aproximaciones a la realidad siempre susceptibles de ser mejoradas en el futuro, cuando una

<sup>30</sup> Para Mach la explicación más clara y sencilla es que: «Los conceptos de causa y efecto nacen recién con la tendencia a reproducir mentalmente los hechos... La representación de una necesidad en la conexión entre causa y efecto se forma probablemente debido a nuestro movimiento voluntario y de los cambios que indirectamente surgen de él... De ahí que podemos decir que el sentimiento de causalidad no ha nacido con el individuo, sino que se ha formado a través del desarrollo de la especie. p. cit. pág. 402.

<sup>31</sup> Los números son los signos de ordenación que, por razones de sencillez y ahorro, se han dispuesto en un sistema simple. Se reconoce que las operaciones numéricas son independientes de la naturaleza de los objetos y se adquiere su ejercicio de una vez por todas.(...) Todas las operaciones numéricas tienen por objeto ahorrar el cómputo directo, sustituyéndolo por resultados de cálculos realizados precedentemente... Quien estudie matemática sin buscar la explicación en esta dirección, debe frecuentemente sentir la impresión desagradable de que el lápiz y el papel lo superan en inteligencia. Entonces la matemática, como objeto de enseñanza es apenas más educativa que la ocupación con la cábala o con los cuadros mágicos, y necesariamente dará surgimiento a una tendencia mística que eventualmente producirá sus efectos. Op. cit. pp.403-404.



mejor información o una mayor capacidad para el análisis de los fenómenos naturales así lo permita.

### **Convencionalismo moderado: el antídoto contra el escepticismo**

En 1894, Ferdinand Brunetière, director de la *Revue de Deux Mondes*, había proclamado la bancarrota de la ciencia a tenor de la inestabilidad de que hacían gala las teorías científicas. Con la publicación de *La ciencia y la hipótesis* (1902) Poincaré realiza un intento por poner de manifiesto su distanciamiento frente a manifestaciones de ese tipo.

Intenta demarcar los límites entre su pensamiento y convencionalistas extremos como Édouard Le Roy<sup>32</sup>, quien generalizó sobre el carácter de libre convención de los principios científicos, adhiriéndose a una visión claramente escéptica con respecto al quehacer científico. Poincaré critica expresamente esta visión de la ciencia tildándola de nominalismo –los hechos y las leyes científicas son la creación artificial del sabio, luego la ciencia es puramente convencional– y antiintelectualismo –la inteligencia, y su principal instrumento, el discurso, deforman todo lo que tocan, luego no hay más realidad que la de nuestras fugitivas impresiones–.

Poincaré no puede aceptar ninguna de estas dos posiciones, y aunque se encuentra dispuesto a reconocer el elemento convencional que hay en la ciencia, se niega a sacrificar el carácter objetivo y cognoscitivo de las teorías científicas.

En *El valor de la ciencia* afirma:

*«Para Le Roy la ciencia no es más que una norma de acción. Somos impotentes para conocer nada y, sin embargo, estamos comprometidos; nos es preciso actuar y nos hemos fijado reglas completamente al azar. Al conjunto de esas reglas se las llama ciencia».*<sup>33</sup>

Pero según Poincaré no podemos comparar las reglas de la ciencia con las reglas de un juego, *«mientras que estas últimas son convenciones arbitrarias y se habría podido adoptar la convención contraria que no hubiera sido menos buena, la cien-*

<sup>32</sup> Édouard Le Roy (1870-1954) fue un espiritualista ligado al modernismo, autor de obras como *Ciencia y filosofía* (1900), *Un nuevo positivismo* (1901), *Dogma y crítica* (1906) y *La ciencia positiva y la filosofía de la libertad* (1909).

<sup>33</sup> *Op. cit.* pág. 134



*cia, por el contrario, es una regla de acción que acierta generalmente mientras que la regla contraria no habría tenido éxito».*<sup>34</sup>

Luego si las «recetas» científicas tienen un valor como normas de acción, es porque sabemos que son acertadas en general. *«La ciencia prevé y porque prevé puede ser útil y servir como norma de acción. Si sus previsiones son a menudo desmentidas por los hechos, esto sólo prueba que es una actividad imperfecta».*<sup>35</sup>

Ni siquiera se puede decir que la acción sea el fin de la ciencia. Por el contrario, a juicio de Poincaré, el fin es el conocimiento y la acción es el medio.

Afirma que posiciones como las de Le Roy y Brunetiére no eran sino un escepticismo superficial derivado de una ignorancia total acerca del papel y el objeto de la ciencia, dado que ésta sólo nos ha enseñado siempre que hay ciertas relaciones entre algo y algo, y que cuando sustituimos una teoría científica por otra lo único que cambian son las denominaciones que damos a dichas relaciones. Estas relaciones sólo son imágenes sustituidas de unos objetos reales que nos serán eternamente ocultos, y son la única realidad que podemos alcanzar; una vez que conocemos dichas relaciones carece de importancia que reemplacemos una imagen por otra en función de una mayor comodidad.

*«Algunos se impresionan por ese carácter de libre convención que se reconoce en ciertos principios fundamentales de las ciencias. Quieren generalizar exageradamente y al mismo tiempo olvidan que la libertad no es lo arbitrario. Llegan así a lo que se llama el «nominalismo» y se preguntan si el sabio no es juguete de sus definiciones y si el mundo que cree descubrir no es una entera creación de su capricho. En esas condiciones la ciencia sería cierta, pero carece de alcance.*

*Si fuera así la ciencia sería impotente. Ahora bien, la vemos diariamente obrar ante nuestros ojos. Esto no podría ser si no nos hiciera conocer algo de la realidad; pero lo que puede alcanzar no son las cosas mismas, como lo piensan los dogmáticos ingenuos, son solamente las relaciones entre las cosas; fuera de estas relaciones no hay realidad cognoscible.»*<sup>36</sup>

Poincaré se sentirá tan lejos de un ingenuo científicismo como del agnosticismo extremo: *«a aquellos que encuentren demasiado restringido el dominio accesible al sabio habrá que responderle que esas cuestiones vedadas no sólo son insolubles, son ilusorias y desprovistas de sentido.»*

En la concepción de Poincaré acerca de la ciencia, la hipótesis es imprescindible; pero debe ser siempre sometida a la verificación, y si el resultado es negativo,

<sup>34</sup> *Op. cit.*, pág. 134

<sup>35</sup> *Op. cit.*, pág. 135.

<sup>36</sup> H. Poincaré, *La ciencia y la hipótesis* pág. 14-5.



habrá que abandonarla, porque en definitiva «*la experiencia es la única fuente de verdad; sólo ella puede enseñarnos algo nuevo y darnos la certeza*». Por eso la hipótesis, aunque producto de la libre actividad del espíritu, no puede ser arbitraria: «*si se la impone a la ciencia –de ningún modo a la naturaleza– es porque la misma experiencia ha demostrado su fecundidad*».

### **Naturaleza, objeto y método de la ciencia en general**

La ciencia es básicamente inductiva, pues depende de la generalización a partir de hechos observados y la inducción científica se basa en la creencia en un orden general del universo independiente de nosotros. Debido a esta creencia sus conclusiones carecen de certeza, ya que por mucho orden que encontremos siempre queda la duda de que el mismo sea absolutamente general.

En *Ciencia e hipótesis* afirma creer en la importancia del papel de las hipótesis en la ciencia, y adoptó una metodología que puede clasificarse de hipotético deductiva como exposición general de la *forma* de la investigación científica. Se basó en su propia experiencia personal para explicar el proceso psicológico implicado en el acto creativo de la formación de hipótesis: un período de pensamiento profundo e intenso seguido por una especie de ráfaga de inspiración cuando la mente no está activamente concentrada en el tema.

El objeto de la ciencia es la generalidad, el descubrimiento de leyes que abarquen muchos hechos diversos; por ello, ha de partir de hechos simples para llegar a generalizaciones. De este modo el científico no estará interesado en los hechos como tales sino en las relaciones entre ellos.

El método científico consiste en la observación y la experimentación, pero el científico debe hacer una selección dado que no puede observar todo. Esta selección está guiada en función de una jerarquía de hechos. La importancia de un hecho está determinada por su utilidad, siendo los más interesantes y valiosos los que pueden ser utilizados varias veces, los que tienen una probabilidad de repetirse; pues cuanto más general es una ley tanto mayor es su valor.

Los hechos cuya probabilidad de repetirse es mayor son hechos simples. Y por otra parte, que algo nos parezca simple depende en gran medida de la familiaridad: los hechos que se producen con frecuencia nos parecen simples.

Tan pronto como hallamos regularidades, perdemos interés en ellas y buscamos diferencias en lugar de semejanzas; son las excepciones las que exigen investigación y las que son más instructivas. Cuando hallamos irregularidades tratamos de someterlas a alguna regla: la tendencia económica de la ciencia es tanto una ventaja prác-



tica como una fuente de belleza que apreciamos intelectualmente en el orden. Debe señalarse que Poincaré mantenía una firme creencia en la importancia de la *simplicidad* y de la *elegancia* en el contexto de la teoría científica. Sostenía incluso que la elección entre principios enfrentados podía hacerse en función de consideraciones del tipo de *conveniencia, simplicidad y utilidad* (o *elegancia*).

Lo que las leyes hacen es «empaquetar» una gran cantidad de información empírica, así que gran parte de la información está «contenida» ya (o «clasificada») en los axiomas y ecuaciones. Poincaré compara la ciencia con una gran biblioteca a la que constantemente se añaden nuevos libros; los que experimentan se encargan de añadirlos, y es función de los teóricos obtener el catálogo (o deducir ecuaciones adecuadas para describir el «comportamiento» de los libros).

Los catálogos podrán ser buenos o malos, adecuados o inadecuados para su uso, pero no «verdaderos» o «falsos», carecen de cualquier función explicativa real, y no tienen por finalidad explicar las cuestiones del estado en el «mundo real».

Pero, a pesar de ello, Poincaré suponía además que la ciencia era el estudio de un sistema de relaciones; y aunque no admitía que pudiera penetrar en la esencia de las cosas, aseguraba que era capaz de poner de manifiesto relaciones reales y verdaderas entre ellas. Por tanto, se alineó junto a los positivistas de Mach si bien nunca se comprometió con sus epistemología fenomenalista. Para Poincaré podía existir un nivel subfenomenal, aunque no fuese posible obtener conocimiento objetivo del mismo a través de la ciencia. La teorías son herramientas que permiten que se conecten entre sí fenómenos y se establezcan predicciones, pero no describen necesariamente la realidad. Las teorías pueden cambiar aunque se mantendrían las relaciones entre los fenómenos.<sup>37</sup>

## **Naturaleza y método de la mecánica y de las ciencias físicas en general**

En conjunto, Poincaré, acepta la concepción inglesa de la mecánica como ciencia experimental, aunque con ciertas matizaciones, como veremos.

Los principios de la mecánica se los puede verificar experimentalmente en ciertos casos, pero se los suele extender sin temores a los casos más generales, y sabemos que en estos casos generales no pueden ser confirmados ni contradichos por el experimento.

Los enunciados de la mecánica son de dos tipos por lo menos: unos son resúmenes de resultados experimentales (leyes), y otros son postulados de mayor generali-

---

<sup>37</sup> Desde el punto de vista de Poincaré puede pensarse que, en presencia del oxígeno, el fósforo arde y gana peso en la misma proporción, sin importar si se adopta la teoría del flogisto o la del oxígeno.



dad, fuera del alcance de la prueba experimental y son convencionales (principios). Por eso tales principios en un comienzo parecen verdades experimentales, pero luego se transforman en definiciones; aunque la experimentación les sirve de base, nunca puede invalidarlos, pues se han convertido en «principios».

En definitiva, a pesar de que Poincaré rechazó el convencionalismo extremo, parece haber mantenido dicha actitud en relación con los principales principios teóricos de la ciencia, dado que, por su carácter convencional, no estarían sujetos a falsación. Si los pusiéramos a prueba y se diera una evidencia en su contra, todas las posibles comprobaciones se dirigirían hacia las posibles causas de «trastorno», manteniendo intacto el principio o la ley general.

En esta situación, el principio de alto nivel no puede seguir manteniéndose como «verdadero» o «falso», sino sólo como conveniente, simple o económico. En la historia de la ciencia los principios de alto nivel nunca se rechazarían a causa de su confrontación con resultados experimentales, sino sólo debido a que se descubrieran leyes más útiles o convenientes. Ello implica que dos teorías contradictorias pueden utilizarse sin dificultad, por ejemplo las de Ptolomeo y Copérnico o las teorías ondulatoria y corpuscular de la luz.

En cuanto a la naturaleza de las hipótesis podemos resumir sus ideas de la siguiente forma:

- Toda generalización presupone la creencia en la unidad y simplicidad de la naturaleza.
- Toda generalización es una hipótesis y debe ser sometida a verificación lo más pronto posible.
- Las hipótesis pueden ser peligrosas si se las acepta inconscientemente o si se las multiplica innecesariamente: es un sano principio metodológico utilizar la menor cantidad de hipótesis posible.
- Según Poincaré se pueden distinguir tres tipos de hipótesis:
  - hipótesis muy generales, *naturales y necesarias*, base común de las teorías.
  - hipótesis alternativas, *indiferentes*, artificios útiles para el cálculo o auxiliares gráficos de la comprensión..
  - generalizaciones directas de la observación, *verdaderas generalizaciones*, sujetas a prueba por ulteriores experimentos.



## Naturaleza y método de la geometría

Su visión de esta ciencia estuvo muy influida no sólo por el hecho de ser un matemático sino también por la impresión que le causó la invención de las geometrías no euclídeas de G. F. B. Rieman y de N. I. Lobatschewsky; estas nuevas geometrías parecían demostrar que la aparente necesidad de la geometría euclídeana no podía adscribirse a la estructura de la mente, como supuso Kant, ya que los nuevos sistemas mostraban la misma coherencia lógica que el antiguo.

Al igual que Mach, sostiene que el espacio de la geometría no es el mismo que el espacio de la experiencia sensorial y que, en general, las ideas matemáticas no provienen directamente de la experiencia.

De acuerdo con esto no tiene sentido considerar la geometría euclídeana como la descripción verdadera del espacio en el que vivimos.

Los axiomas geométricos, por tanto, no son ni verdades sintéticas *a priori*, pues si lo fueran no podríamos concebir su contradicción y la geometría no-euclídeana sería imposible, ni son tampoco verdades experimentales, pues ello quitaría a la geometría su exactitud. En realidad son *convenciones* o *definiciones* disimuladas, y en consecuencia, no están abiertos a la falsación empírica. Pueden, o no, ser útiles para describir la realidad, pero no son ciertos o falsos. Parece que existe, pues, una cierta libertad de elección de axiomas geométricos, que Kant no hubiera reconocido nunca; pero esta libertad es sólo aparente, porque nuestra elección de convenciones está guiada por la observación y la experimentación y se halla limitada por la necesidad de evitar la contradicción. Algunas convenciones son más útiles que otras, pero las cuestiones concernientes a su verdad carecen de sentido.

La geometría euclídeana sigue siendo la más conveniente para los propósitos comunes, y tiene una especial adecuación debido a nuestra educación.

«Seres cuyo espíritu fuera como el nuestro y que tuvieran los mismos sentidos que nosotros, pero que no hubieran recibido ninguna educación previa, podrían recibir de un mundo exterior convenientemente elegido, impresiones tales que fueran llevados a construir una geometría distinta de la de Euclides y a localizar los fenómenos de ese mundo exterior en un espacio no euclídeano, o aún en un espacio de cuatro dimensiones<sup>38</sup>».

<sup>38</sup> H. Poincaré, *La ciencia y la hipótesis*, pág. 63.



Construimos nuestro concepto de espacio a partir de la experiencia, estudiando las leyes por las cuales las sensaciones se suceden unas a otras. En nuestro mundo las sensaciones se suceden unas a otras de acuerdo con leyes cuya expresión *más conveniente* es la geometría euclídeana, pero podemos imaginar otros mundos en los que esto no suceda. Poincaré concluye:

*«no nos representamos los cuerpos externos en el espacio geométrico, sino que razonamos acerca de esos cuerpos como si estuvieran situados en el espacio geométrico».*<sup>39</sup>

Por último, y para todo el que después de leer estas páginas haya sucumbido a la tentación de clasificar a Poincaré dentro de los pragmatistas de hecho, recordar las palabras que le dedicó su gran amigo E. Boutroux, en las que intenta poner de manifiesto la gran complejidad de su actividad intelectual y la altura espiritual a la que llegaron sus cavilaciones:

*«Henri Poincaré ha enseñado a la humanidad que la ciencia no es ni será jamás una cosa hecha, ni explícita ni virtualmente; que en sus fuentes está vinculada al arte, porque la verdad es, en última instancia, armonía y belleza; que el espíritu, sin el cual no se conciben lo verdadero y lo bueno, es una realidad viva y eficiente; y que la justicia y la bondad, que él posee en no menor grado que los principios de la verdad y de la belleza, son, con el mismo derecho que la ciencia y en íntima conexión con ella, los fines que se imponen a nuestra actividad».*<sup>40</sup>

## **PIERRE DUHEM**

Pierre Duhem no sólo fue un importante físico y matemático sino que además fue uno de los escritores sobre metodología y filosofía de la ciencia más importantes de su época. En este campo, sus obras más importantes fueron *Objetivo y estructura de la teoría física* y *Salvar los fenómenos*, y sobre ellas girará este trabajo.

<sup>39</sup> Op. cit, pág. . 68.

<sup>40</sup> Citado en el prólogo de «El valor de la ciencia», H. Poincaré. Espasa-Calpe, S.A., pág. 11.



## ALGUNAS IDEAS PREVIAS

Antes de comenzar con el análisis de sus ideas sobre metodología de la ciencia, consideramos necesario aclarar algunos presupuestos de partida para la buena comprensión del texto:

1. Duhem no entiende el conocimiento científico como el único posible sino como parte de un conocimiento más general.

2. Su trabajo en filosofía de la ciencia se centra fundamentalmente en un análisis lógico de la actividad a través de la cual la ciencia se desarrolla.

3. Restringe sus conclusiones con respecto a la filosofía de la ciencia exclusivamente al ámbito de la física matemática.

4. Piensa que las ciencias que por su idiosincrasia están menos matematizadas (por ejemplo la biología) aportan más conocimiento sobre la realidad, porque son más descriptivas.

5. En cuanto a las matemáticas, considera que éstas son ciencias analíticas que parten de axiomas impuestos al sentido común, o sea, evidentes. Y si bien no aportan ningún conocimiento sobre la realidad, a través de su lenguaje damos coherencia y unidad a un conjunto disperso de datos; es en este punto donde radica su importancia. Al contrario que Poincaré, se muestra reacio a admitir otro tipo de geometría que no sea la euclídeana.

6. Por tanto, en lo que queda, hablaremos siempre de la física, dado que las conclusiones a las que llega Duhem nunca quiso extrapolarlas a otro ámbito científico.

## DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DE UNA TEORÍA FÍSICA

Según Duhem una teoría física es:

*«un sistema de proposiciones matemáticas, deducidas de un pequeño número de principios, que aspira a representar lo más simple, completa y exactamente posible un conjunto de leyes experimentales»<sup>41</sup>*

<sup>41</sup> En *Objetivo y estructura de una teoría física*, citado por O'Connor en *Historia crítica de la filosofía Occidental*, pág. 271.



## Relación de las teorías físicas con la realidad

*«Explicar ... es arrancar a la realidad las apariencias que la cubren como un velo, para ver la realidad desnuda en sí misma»<sup>42</sup>*

Según esta definición, ¿el propósito de la física es explicar leyes experimentales o sólo clasificarlas? La respuesta de Duhem es clara a este respecto: la física depende de observaciones, y éstas no son útiles para llegar a la realidad oculta más allá de la mera apariencia.

Duhem desarrolló una posición muy parecida a la doctrina medieval de «salvar las apariencias», analizada en el texto *Salvar los fenómenos*; allí se explica de la siguiente forma:

*«Una teoría física...[no ofrece] una explicación [de la realidad]. Es un sistema de proposiciones matemáticas,... cuyo objeto es representar... una serie de leyes experimentales»<sup>43</sup>.*

Esto pone de manifiesto una visión *instrumentalista* de la ciencia: las teorías científicas no son descripciones de la realidad, son modelos explicativos que nos dan razón de las apariencias.

## Proceso de construcción de una teoría física

El proceso de construcción de una teoría física se puede resumir en cuatro procedimientos fundamentales:

1. **Representación mediante símbolos matemáticos** (números y caracteres algebraicos) **de aquellas propiedades física elegidas previamente** en función de su simplicidad y versatilidad. Entre los símbolos y las propiedades no hay conexión intrínseca; los primeros son sólo signos de las segundas.

2. **Se trabaja con los símbolos hasta alcanzar principios del desarrollo deductivo.** Construimos «hipótesis» relacionando los símbolos matemáticos. Estas hipótesis funcionan como principios que no representan relaciones reales entre las propiedades de los cuerpos sino que, una vez salvado el requisito de su coherencia lógica, son meramente convenientes y arbitrarias.

<sup>42</sup> Op. cit, pág 270.

<sup>43</sup> Citado por David Oldroyd en *El arco del conocimiento*, pág.296.



3. **Combinamos las hipótesis a través del análisis matemático, y extraemos consecuencias de ellas.** Se representan las condiciones iniciales y las consecuencias deducidas en forma simbólica.

4. **Traducimos esas consecuencias a enunciados observacionales,** que versan sobre las propiedades físicas de los cuerpos. Y posteriormente los **comparamos con los resultados de la experimentación.**

Como se puede apreciar, la conexión de la teoría física con los fenómenos se produce sólo al principio y al final del proceso, mientras que los pasos intermedios están regulados sólo por la coherencia lógica. De ahí que Duhem afirme que cuando decimos de una teoría que es verdadera sólo queremos decir que representa satisfactoriamente un grupo de leyes experimentales, y en ningún caso que explique las apariencias físicas conforme a la realidad.

### Utilidad de las teorías

Una teoría física se considera más o menos útil en función de cuatro objetivos:

1. Que sea un instrumento de economía intelectual (reduzca un gran número de leyes experimentales a pocos principios o hipótesis).
2. Que permita clasificar leyes en «*grupos de familias*», con objeto de facilitar su aplicación.
3. Que clasifique de manera «*natural*», completa y coherente los datos de la observación.
4. Que permita predecir y anticipar experimentos.

### *ESTRUCTURA DE LAS TEORÍAS FÍSICAS*

Según lo dicho anteriormente, el modelo imaginado por Duhem constaba de los siguientes elementos:

1. *definición y medida de las magnitudes físicas;*
2. *selección de hipótesis;*
3. *desarrollo matemático de la teoría;*
4. *comprobación de la teoría mediante experimentos.*



Con respecto a estos elementos hay que hacer las siguientes observaciones:

**Definición y medida de las magnitudes físicas.** Constituía el corazón de la teoría y estaba formado por una *estructura matemática* formada a su vez por una *simbología matemática* que representaba cuantitativamente el mundo físico, y por *postulados generales* a modo de principios. Avanzando deductivamente lo suficiente con dicha estructura, se llegan a establecer conclusiones que se habrán de comprobar experimentalmente, dado que sólo este recurso puede aportar *validez física a la teoría*.

**Hechos prácticos y hechos teóricos.** Cuando se describe un fenómeno en lenguaje observacional, se enuncia un hecho práctico, y cuando se traduce dicha descripción al lenguaje simbólico de la teoría, se enuncia un hecho teórico; pero dado que esta traducción implica un proceso de abstracción e idealización meramente aproximativo, una multitud potencialmente infinita de hechos teóricos pueden representar el mismo hecho práctico. Los hechos prácticos son verificables mediante la observación y se utilizan para poner a prueba la teoría.

Por otra parte, existe un problema sobre el que el propio Duhem llamó la atención: si las conclusiones y las observaciones experimentales se dan en planos completamente diferentes –mientras las conclusiones se expresan en términos estrictamente matemáticos (*hechos teóricos*), las observaciones implican actividades de laboratorio, utilización de instrumentos etc... (*hechos prácticos*)– ¿cómo es que ambas pueden *unirse*? He aquí el problema de la correspondencia entre el *símbolo* y el *hecho* o, en otros términos, la diferenciación entre el lenguaje teórico y el lenguaje observacional, que constituirá uno de los principios básicos del positivismo lógico.

**El proceso de experimentación.** Todo experimento físico consta de dos elementos: la observación y la interpretación; mientras que la primera sólo exige atención y buenas capacidades sensitivas, la interpretación exige el conocimiento de una teoría, y *sustituye los datos concretos reunidos realmente mediante la observación por representaciones abstractas y simbólicas que se corresponden con ellos en virtud de las teorías admitidas por el observador*.<sup>44</sup>

Sin embargo, y a pesar del papel concedido al experimento en el desarrollo de las teorías, la verdad de éstas no se pueden demostrar ni aún cuando los resultados

<sup>44</sup> En *Objeto y estructura de la teoría física*, citado por O'Connor en *Historia crítica de la filosofía occidental*.



experimentales de sus predicciones sean correctos. Si esto ocurriera lo único que se pondría de manifiesto sería la capacidad de la teoría en cuestión y su conveniencia en la clasificación de hechos. Sin embargo las clasificaciones científicas, no son arbitrarias ni *artificiales*, sino lo que él llama un sistema de clasificación *natural*, puesto de manifiesto por el orden y la elegancia con que cada ley experimental se encaja dentro del sistema general de la teoría. De forma que el científico siente una apreciación subjetiva de que las clasificaciones y agrupamientos de hechos llevadas a cabo por la leyes y teorías se corresponden con las relaciones reales que existen entre las cosas.

Teniendo en cuenta lo dicho, nos invade la sospecha de que a pesar de su instrumentalismo y su positivismo, Duhem, al igual que Poincaré, parece ser un «realista de corazón» tanto desde el punto de vista ontológico como en lo que respecta a la teoría del conocimiento: cuando una teoría científica aparece como coherentemente brillante y especialmente útil para predecir hechos empíricos, el físico «sospecha» que existe una correspondencia entre las relaciones reales de las cosas y sus datos observacionales.

**Las leyes de la física y su relación con los hechos.** Las leyes de la física son enunciados de relaciones entre símbolos; y estos símbolos adquieren su significado concreto dentro de la teoría de la cual forman parte. Por esta razón, las leyes no son verdaderas ni falsas sino meras aproximaciones de las relaciones que pretenden representar. Esta razón hace de las leyes un utensilio siempre provisional, demasiado simple para reflejar la compleja realidad a la que no puede hacer más que aproximarse.

Por otra parte, Duhem señaló también que los principios matemáticos de una teoría científica no tenían significado empírico concreto, funcionaban en una especie de idealidad alejada del mundo concreto que pretendían representar<sup>45</sup>. La consecuencia de este hecho sobre las leyes es clara: si son expresadas en términos matemáticos no pueden comprobarse experimentalmente, no podemos afirmar de ellas que son ciertas o falsas, sino meramente aproximadas.

*[Las leyes físicas] son siempre simbólicas. Ahora bien, un símbolo no es, hablando con propiedad, ni cierto ni falso; es algo más o menos bien seleccionado para representar la realidad*

<sup>45</sup> Los valores experimentales físicos no pueden alcanzar nunca la exactitud matemática; por ejemplo, el signo matemático « $\Rightarrow$ », habría que interpretarlo como «aproximadamente igual».



*que representa, y representa esta realidad de un modo más o menos preciso o más o menos detallado.*<sup>46</sup>

**Las leyes científicas y la inducción.** Duhem rechaza la extendida idea de que las leyes científicas se construyen mediante la generalización inductiva a partir de los hechos observados. Dado que no hay observación «pura», sino que toda observación es en sí una interpretación cargada de un gran bagaje teórico, ningún experimento físico es una mera generalización a partir de lo observado.

**Pruebas de ensayo y refutación de hipótesis.** Esta es sin duda la contribución más importante de Duhem a la teoría física y el punto que más le acerca a Poincaré.

Duhem llevó a cabo un análisis de los procedimientos de refutación de las teorías científicas y de sus implicaciones. Las conclusiones a las que llegó lo situaron muy cerca del punto de vista convencionalista, como veremos.

Según Duhem el procedimiento que habitualmente utilizan los científicos para poner a prueba sus teorías se basa en las predicciones, las cuales se hacen a partir de un conjunto de premisas (que son de dos clases: leyes generales y enunciados de las condiciones-antecedentes del experimento en cuestión). Este análisis puede ser reformulado a través del esquema de Hempel y Oppenheim como sigue:

L1,L2,.....Lr	Leyes generales
C1,C2,.....Cr	Enunciados C-A
E	Descripción de los fenómenos

Que en un ejemplo concreto, tomado del propio Hempel, quedaría de la siguiente forma:

- L     Para todos los casos si se introduce un papel de tornasol azul en una solución ácida, entonces se vuelve rojo.
- C     Se introduce un pedazo de papel de tornasol azul en una solución ácida.
- 
- E     El pedazo de papel se vuelve rojo

En un principio nos apresuraríamos a pensar que si la predicción (E) no se llega

<sup>46</sup> Citado por Oldroyd en *El arco del conocimiento*, pág.306.



a producir, tendríamos que considerar refutada la ley general ( $L$ ). Sin embargo, Duhem puntualiza que el hecho de no observarse el fenómeno predicho, sólo permite refutar la *conjunción* de las premisas, ya que si la conclusión es falsa, al menos una de las premisas debe ser falsa, de forma que una cualquiera de las leyes o una cualquiera de las condiciones-antecedentes puede ser falsa.

Si el papel no se vuelve rojo, lo que queda refutado es la conclusión de  $L$  y  $C$  y no la propia  $L$ . En consecuencia, se puede seguir utilizando y afirmando  $L$  con sólo modificar las condiciones antecedentes (decir que no había tinte azul de tornasol o que el papel no fue puesto en una solución ácida).

El interés de Duhem se centraba por supuesto en casos complejos en los que se trataba de poner a prueba varias hipótesis, y llegó a la conclusión que aunque los enunciados de condiciones antecedentes estuvieran bien establecidos o se hubieran controlado por medio de procedimientos paralelos, el hecho de que no se observara el fenómeno predicho refuta únicamente la conjunción de las hipótesis. Esta idea es lo que se ha dado en llamar *holismo refutacional*.

$$\begin{array}{l} (H_1, H_2, \dots, H_r) \quad (C_1, C_2, \dots, C_r) \rightarrow E \\ \neg E \\ \hline \neg((H_1, H_2, \dots, H_r) \quad (C_1, C_2, \dots, C_r)) \end{array}$$

Pero esto equivale a -----  $\neg(H_1, H_2, \dots, H_r) \vee \neg(C_1, C_2, \dots, C_r)$

Dado que suponemos como establecido -----  $(C_1, C_2, \dots, C_r)$

Nos quedaría -----  $\neg(H_1, H_2, \dots, H_r)$

Según Duhem, cuando el científico se encuentra en esta tesitura y pretende restaurar el acuerdo entre las observaciones y las hipótesis, es perfectamente libre de alterar cualquiera de las hipótesis que aparecen en las premisas o bien dejar algunas como están y modificar o suprimir otras a su entero albedrío (esto es lo que hoy en día llamamos introducir hipótesis *ad hoc*). Esto significa reconocer que ciertas hipótesis adquieren el rango de convencionales a lo largo de este procedimiento, hipótesis que podríamos decir que están por encima del problema de la verdad o falsedad.

En principio, esta parece ser una idea bastante cercana a las mantenidas por Poincaré y Le Roy, sin embargo hay que aclarar una cierta diferencia. Mientras que



estos últimos sostenían que ciertas hipótesis fundamentales no podían ser contradichas por la observación porque, en realidad, son *definiciones*<sup>47</sup>, Duhem arguye que estas hipótesis son mantenidas no por necesidad lógica sino porque no se las puede someter a prueba aisladamente. Esto no significa que las hipótesis no rechazadas no lo serán frente a nuevos experimentos, ya que la revisión de la teoría en la cual figuran puede implicar su revisión.

Las hipótesis no son conclusiones de inducciones ni el producto de una creación repentina. Se las elabora lenta y penosamente por un proceso de modificación y de ensayo, y pueden recibir la ayuda de la metafísica o de la astrología.

Por estas razones Duhem llegó a afirmar que en ciencia las teorías no suelen falsarse. En el caso de que una teoría científica (como sistema de hipótesis) comience a dar muestras de ser ineficaz, no se rechaza por defectuosa, sino que se modifica introduciendo correcciones y ajustes en las hipótesis hasta tener otra posible teoría alternativa que pueda sustituirla, y que sea más útil y conveniente<sup>48</sup>. De este modo, no sólo algunas hipótesis, sino las propias teorías se pueden convertir en «convencionales».

Por todo ello, la comprobación experimental no puede distinguir entre dos modelos en competencia. De ahí la conocida afirmación de Duhem en el sentido de que *«la evidencia en favor de una teoría no demuestra necesariamente la verdad de dicha teoría»*<sup>49</sup>.

Fue Duhem el primero en señalar la importancia metodológica que tiene la problemática refutación de las hipótesis, recogida posteriormente por W.V.O. Quine, por lo que se conoce con el nombre de *la tesis Duhem-Quine*, que el propio Duhem resume como sigue:

*El físico jamás puede someter una hipótesis aislada a la comprobación experimental, sino que debe hacerlo con un grupo de hipótesis; cuando el experimento está en desacuerdo con sus predicciones, por lo menos puede deducir que un grupo de estas hipótesis es inaceptable y que por ello ha de ser modificado; pero el experimentador no puede identificar cuál debe ser cambiada.*<sup>50</sup>

<sup>47</sup> Por ejemplo, el enunciado según el cual la aceleración de un cuerpo en caída libre es constante, define «caída libre», y si un cuerpo parece entrar en conflicto con el enunciado, decimos que no estaba en caída libre, pero no rechazamos la ley.

<sup>48</sup> Ejemplo claro de ello fue la pervivencia del sistema Ptolemaico a través de los siglos, en función de los continuos reajustes que se introdujeron para «salvar las apariencias.»

<sup>49</sup> Citado por Oldroyd, *El arco del conocimiento* Pág. 303.

<sup>50</sup> Op, cit. Pág. 304.



La valoración de todas las ideas que hemos intentado exponer aquí ha dado lugar a interpretaciones diversas y hasta contrapuestas de la postura defendida por Duhem. Algunos, como Popper, advierten en ella consecuencias marcadamente instrumentalistas; otros, en cambio, señalan su tendencia «descriptivista» y por lo tanto realista en algunos aspectos. Aunque, en último extremo, era de la opinión de que la religión ofrecía un camino mucho más seguro que la ciencia para llegar a alcanzar el verdadero substrato de la realidad.

Lo cierto es que desde el punto de vista de la interpretación de la actividad científica, no se puede considerar a Duhem ni como un positivista ni como un instrumentalista «puro», aunque esta haya sido su interpretación más habitual. Pero a pesar de su resistencia a la clasificación, es indudable la influencia que su manera de interpretar la forma de las teorías científicas ha tenido en la filosofía de la ciencia del siglo XX, fundamentalmente dentro del movimiento del positivismo lógico.

En lo que respecta a su interpretación del desarrollo histórico de la ciencia, defendió una posición que se puede denominar *gradualista* o *evolucionista*, muy próxima a la de Mach. Para Duhem no es posible reconocer en la historia de la ciencia lo que en términos kuhnianos se llamaría una «revolución científica», no hay rupturas ni separaciones radicales en el desarrollo histórico de la ciencia y todos los conceptos científicos actuales tienen sin duda «*antepasados intelectuales*» en otras épocas históricas<sup>51</sup>.

Al igual que Mach, Herz y Poincaré, adoptó un punto de vista convencionalista de la ciencia, aunque se encontraba mucho más cerca de los dos últimos que del primero, al hacer especial interés en los problemas lógicos y metodológicos más que en los problemas perceptivos y observacionales ligados a los procedimientos de verificación.

<sup>51</sup> Por ejemplo el concepto de *inercia*, no puede considerarse una aportación exclusivamente original de Galileo y de Newton, sino que hunde sus raíces en la Edad Media con la discusión sobre la teoría del *ímpetus* llevada a cabo por Buridan y su escuela de París, por las ideas de la escuela mertoniana de Oxford y hasta en las ideas propias de la Antigüedad.



## BIBLIOGRAFÍA

### *Obras sobre los autores:*

- G. Berkeley, *Tratado sobre los principios del conocimiento humano*, trad. C. Mellizo, Alianza Editorial, Madrid, 1992.
- E. Cassirer, *El problema del conocimiento*, trad. Wenceslao Roces, ed. Fondo De Cultura Económica, México, 1986.
- P. M. Harman, *Energía, fuerza, materia*, trad. Pedro Campos, ed. Alianza universidad, Madrid, 1990.
- G. Holton, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, trad. J. Aguilar Peris, ed. Reverté, 1981.
- W.I.U. Lenin, *Materialismo y empiriocriticismo I,II*, Planeta Agostini, Barcelona, 1986.
- J. Losee, *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, trad. A. Montesinos, ed. Alianza universidad, Madrid, 1979.
- A. Marcos, *Pierre Duhem: La filosofía de la ciencia en sus orígenes*, PPU, Barcelona, 1988.
- D.J. O'Connor, *Historia crítica de la filosofía occidental, IV, Filosofía en la segunda mitad del siglo XIX*, trad. O. Nudler, A. Pirk, N. Míguez ed. Paidós, Barcelona, 1983.
- D. Oldroyd, *El arco del conocimiento*, trad. F. Vallespinós y C. Duarte, ed. Crítica, Barcelona, 1993.
- G. Reale y D. Antiseri, *Historia del pensamiento filosófico y científico, III*, Herder, Barcelona, 1988.
- F. Suppe, *La Estructura de las Teorías Científicas*, trad. P. Castillo, y E. Rada, Editora Nacional, Madrid, 1979.

### *Obras de E. Mach:*

- *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, ed. Espasa Calpe Argentina, Buenos Aires- México, 1949.
- *Análisis de las sensaciones*, Ed. Alta Fulla, trad. E. Obejero y Maury, ed. Barcelona, 1987.

### *Obras de H. Poincaré:*

- *La ciencias y las hipótesis*, Espasa Calpe, Buenos Aires- México 1945.
- *Ciencia y método*, Espasa Calpe, Madrid, 1963.
- *El valor de la ciencia*, Espasa Calpe, Madrid, 1963.