

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS X JORNADAS

VOLUMEN 6 (2000), Nº 6

Pio García
Sergio H. Menna
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LÓGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Una visión duhemiana de la teoría del caos

Carlos D. Galles*

Pierre Duhem (1861-1916) fue un destacado físico francés, especializado en el estudio de la naciente fisicoquímica, que es más conocido hoy en día por sus investigaciones en Filosofía e Historia de la Ciencia. Cabe mencionar en primer lugar sus estudios sobre la mecánica en la época medioeval, los cuales trajeron a la luz los avances de la escuela de Paris en sus conjeturas sobre la dinámica de los cuerpos y su posible influencia en los grandes italianos como Leonardo y Galileo. Recordemos que su obra de gran aliento "Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic", un conjunto de diez volúmenes publicados entre 1913 y 1959, reivindica la labor de la escuela de Paris, basándose en el análisis de antiguos manuscritos recuperados en la Biblioteca Nacional de Francia, e intenta una suerte de renacimiento de la física aristotélica sin mayor fortuna.

Sus ideas sobre filosofía de la ciencia se encuentran presentadas en forma admirable en su obra "La théorie physique. Son objet et sa structure", publicada por primera vez en 1906 y reeditada en 1914 con la adición de dos artículos: "Physique du croyant" y "La valeur de la Théorie Physique"; en lo que sigue nos basaremos sobre esta edición.¹

La teoría física, según Duhem, trata sobre símbolos abstractos que no son representaciones adecuadas de los hechos concretos. Es indispensable establecer una relación entre los valores numéricos de una variable y los hechos concretos observados y para ello es necesario vincularlos por medio de una traducción y es aquí donde aparece una diferencia grande: los hechos teóricos son presentados con una determinación precisa mientras que los hechos prácticos son presentados con el error inherente a la medición. Duhem extrae entonces la siguiente conclusión: "Una infinidad de hechos teóricos diferentes pueden ser tomados como traducción de un mismo hecho practico".

Las propias condiciones de la experiencia están entonces traducidas en un haz de hechos teóricos, al cual el desarrollo matemático de la teoría le hace corresponder otro haz con el resultado de la experiencia. Si la traducción de estos hechos teóricos en hechos prácticos nos da un solo hecho practico, debido a la proximidad de los resultados del haz teórico. Es este un ejemplo de lo que Duhem llama las matemáticas de "l'a-peu-pres".

En 1898 Jacques Hadamard presenta en el *Journal de Mathematiques Pures et Appliques* una memoria tratante sobre superficies con curvatura negativa y con mantos que se extienden al infinito.² En esta superficie el problema de las geodésicas, es decir, las líneas de menor longitud que unen dos puntos, presenta varias soluciones que llaman particularmente la atención. Se presentan tres tipos de soluciones, a las que Hadamard estudia por procedimientos novedosos, alejados del calculo diferencial, donde sobre todo son considerados los valores absolutos que caracterizan la superficie sobre la cual están instaladas las soluciones, lo que Hadamard llama, siguiendo a Leibniz, "analysis situ", que es lo que hoy se denomina topología. Y es sobre estas ideas que Duhem presenta los resultados de Hadamard. Lo hace en una sección de la cual el título merece sin dudas mención, es el siguiente: "Ejemplo de una deducción matemática por siempre inutilizable".

* Departamento de Física – FCEIA. Universidad Nacional de Rosario.

Como ejemplo de superficie estilo Hadamard, Duhem considera el frente de la cabeza de un toro, alargando sin límites los cuernos y las orejas, representación destinada al lector con conocimientos de Fisicomatemática aunque no un experto. Además la propia superficie presenta pliegues y contraplegues. Sobre esta superficie se tendrán geodésicas de los tres tipos ya mencionados: Algunas sobre curvas que se cierran sobre sí mismas, otras que progresan indefinidamente sobre un cuerno y otras por fin que escapan sobre un cuerno o una oreja hacia el infinito. Pero las conclusiones obtenidas por Hadamard permiten afirmar que siempre en cualquier entorno de una geodésica cerrada existirán otras que se alejen hacia el infinito sobre cualquier cuerno que se tome, y esto es así aun cuando hagamos más y mayor la precisión con que medimos la posición y la velocidad iniciales.

Tanto Duhem como Hadamard se hacen la pregunta sobre en que otros sistemas será posible encontrar casos similares donde a pesar de ser bien definidos para el matemático carezcan de utilidad para el físico. Hadamard señala como primer problema el de la estabilidad del sistema solar, el problema sobre el cual estaba entonces trabajando Poincaré quien fue el primero en comprender la inmensa variedad de las soluciones de los sistemas dinámicos.

Estas ideas fueron desarrolladas por Hadamard en lo que denominó la noción de *problem bien posee*, es decir "problema bien planteado"; esta noción tiene en el pensamiento de Hadamard características de dictatum metodológico. Debemos concluir entonces que dentro de la concepción duhemiana de las teorías físicas, la actual teoría del caos no tendría derecho a presumirse con tal nombre, pues la sensibilidad a las condiciones iniciales, característica indispensable a todo fenómeno caótico, es precisamente similar a lo que acabamos de describir, en la visión duhemiana, como un proyecto totalmente inútil para la física.

En el artículo dedicado a Hadamard en el *Dictionary of Scientific Biographies* se enfatiza esta idea del problema bien planteado indicándose la gran influencia que tuvo durante largos decenios; curiosamente quien firma la nota bibliográfica es Samuel Mandelbrot, tío del gran divulgador de la teoría de los fractales.

¿Qué hubiese dicho Duhem sobre las modelizaciones tan mentadas en las teorías caóticas? Es necesario precisar la cuestión pues es bien sabido que Duhem era un archienemigo de los modelos, juzgándolos propios de mentes ágiles pero no abstractas. El bueno de Pierre pensaba sobre todo a aquellos modelos semejantes a los de Maxwell para el vacío, con sus engranajes, poleas y demás artificios mecánicos que permitiesen explicar los campos del electromagnetismo.

Pero es preciso detenerse sobre los modelos; en el lenguaje corriente los hay en versión reducida del original, verdaderamente juguetes de réplica que pueden ser útiles para ciertas investigaciones; aquellos que son considerados como arquetipos y aquellos a los cuales se copia. Para los lectores de los textos clásicos de nuestra literatura epistemológica es claro que nos estamos basando en Asti Vera, quien agrega con claridad que en ciencia "se llama modelo (M) de una teoría (T) a una realización posible de (T) en la cual se satisfacen todos los enunciados válidos de la teoría."³ Los modernos epistemólogos siguen actualmente la definición de Nancy Cartwright, la cual se asemeja mucho a la de Asti Vera. En ella el modelo es el mediador entre la teoría y la realidad, es gracias a él que se logran las listas de valores numéricos a ser comparadas con los valores experimentales.

Ya Kuhn en un celebre artículo, donde discutió el rol de la medición en la ciencia moderna, había mencionado la imposibilidad de hacer funcionar a la inversa la maquinaria

teórica que produce los valores de las variables, los unos en función de los otros.⁴ Recordemos que Kuhn ilustraba sus palabras con un dibujo donde se ve una suerte de moledora manual de carne, la cual simboliza el equipo lógico-matemático empleado para manejar la teoría, a la que le son introducidos por el vaso superior principios y enunciados tipo-ley, y de la cual surgen como producto los resultados que serán luego contrastados con la experiencia. El partir de los valores medidos para luego obtener de un golpe de manivela el modelo sería sin dudas un bonito método que nos ahorraría con su resuelta direccionalidad numerosas dudas y vacilaciones poco saludables para la tranquilidad de nuestra psiquis, y aún nos dispensaría tranquilamente de la teoría, pues esta sería una especie de síntesis abstracta buena para la discusión de salones filosóficos, pero no para los/las investigadores/as esencialmente pragmáticos/as, que sin temor a equivocarse prescindirían de ella sin por eso dejar de cosechar sus frutos en forma de modelos.

Es esto justamente lo que proponen algunos autores en los últimos años y justamente a propósito de las teorías caóticas. En un artículo reciente Rueger y Sharp (RyS) argumentan que las teorías de los sistemas dinámicos no-lineales (SDNL) pueden tener las propiedades de ser fenomenológicas y abstractas al mismo tiempo.⁵ Vale decir: estar basadas sólo en la medición de variables, sin teorías ni deducciones lógico-formales, y, sin embargo, dar explicaciones abstractas.

Parte de la crítica de RyS consiste en señalar que la teoría de SDNL ha permitido explicar fenómenos de comportamiento sumamente complejo apelando a sistemas de ecuaciones muy simples. Señalan, además, que en otros tiempos, no demasiado lejanos, dichos casos eran considerados intratables, atribuyéndose su dificultad a la acción de perturbaciones externas, el llamado "ruido ambiente". Sobre este punto nuestra posición es por supuesto concordante con RyS. También estamos de acuerdo con que la sensibilidad a las condiciones iniciales no permite prever el comportamiento de un sistema caótico según pasa el tiempo. Estos hechos, por supuesto, han modificado ciertas preconcepciones de los científicos al introducirse las características principales de los estudios sobre los fenómenos caóticos en su forma actual: el holismo, el experimentalismo y el diacronismo.⁶

Ahora bien los autores consideran que la llamada teoría del caos hace uso de una metodología no-galileana en su búsqueda de relaciones en la Naturaleza. Es sobre este punto que deseamos criticar el escrito de RyS.

En la práctica experimental sobre sistemas caóticos se utilizan las series temporales, por medio de las cuales se logra reconstruir el atractor en el espacio de las fases del sistema considerado, midiéndose valores como su dimensión fractal y otras indicaciones topológicas. Todo ello sin la mediación de una teoría abstracta, ni tampoco el uso de modelos vinculantes.

RyS citan como ejemplo, dándole una utilización fundamental en su cadena de razonamientos, el trabajo experimental de Simonyi sobre la reacción de Belousov-Zhabotinsky (BZ), en el cual se muestra que al hacerse con las mediciones experimentales de la concentración del ion Br un mapa de primer retorno se obtiene el famoso mapa logístico, en esencia una aplicación simple y que aparece en el estudio de muchos sistemas en diferentes campos.⁷

Este hecho les parece a los autores RyS ser suficiente para indicar que se ha conseguido relacionar a una teoría, rol que sería cubierto por el mapa logístico, con los hechos experimentales. Creemos que esta aseveración de RyS no tiene un asidero aceptable y que pro-

viene de un error de juzgamiento: los autores creen haber obtenido una teoría mientras que sólo se ha logrado una descripción matemática de la relación entre las variables observadas en el fenómeno.⁸

Retomando el análisis de la noción de modelo quisiéramos traer a este debate sobre las teorías caóticas las cuidadosas disquisiciones que hace cincuenta y tantos años hicieron Arturo Rosenbluth y Norbert Wiener,⁹ estos autores distinguen entre los modelos materiales, los detestados por Duhem, y los abstractos. Estos últimos van haciéndose cada vez más sofisticados a medida que la teoría progresa en sus intentos de lograr una estructura equivalente a la de un experimento dado. Para estos autores la teoría del sonido es un ejemplo cabal de cómo se da la evolución: las ecuaciones diferenciales que gobiernan el fenómeno se van haciendo más y más amplias en cuanto a los fenómenos que pueden explicar. Es justamente este aspecto el que no permiten RyS pues aparentemente descreen de la posibilidad de describir con ecuaciones al sistema pues creen que con los resultados de los experimentos es suficiente. De esta manera pierden el valor predictivo de las teorías reduciéndose a un continuo empirismo con la consecuencia inevitable de una pésima economía en la práctica experimental.

Como ya hemos señalado, RyS destacan el caso de la famosa reacción de Belousov-Zhabotinsky, ejemplo paradigmático de oscilador químico que puede marchar a un estado caótico; explican cuidadosamente cómo por la medición de una de las variables repetidas veces, lo que se llama una serie temporal, se logra reconstruir propiedades del respectivo atractor, lo cual por supuesto es un magnífico logro. Pero olvidan que en el estudio de dicha reacción se han utilizado numerosos modelos teóricos que pretenden explicarla en función de las interacciones íntimas a nivel de las concentraciones; por ejemplo el modelo de Field, Koros y Noyes¹⁰ no es ni siquiera mencionado. Haciendo un símil con otras ramas de la ciencia es como si se pretendiese que las tablas astronómicas, y los modelos que con ellas se puedan construir al ejemplo de lo hecho por Kepler, constituyesen un límite en la explicación de la posición de los astros pasando bajo silencio las explicaciones dadas por la teoría de la gravitación universal.

Aún a riesgo de parecer excesivo creemos conveniente recordar uno de los grandes pasos en la historia de la ciencia que se han dado cuando luego de obtenerse la expresión matemática de los datos experimentales se ha intentado formular una teoría que la deduzca a partir de principios básicos. Nos referimos a un hecho de hace exactamente un siglo atrás: cuando Max Planck logró encontrar una fórmula matemática que sintetizase las mediciones del espectro del cuerpo negro hechas poco tiempo atrás por sus colegas experimentales de la Academia de Ciencias de Berlín. Se trataba de un magnífico resultado con el solo defecto de ser empírico; Planck pasó luego los meses más extenuantes de su carrera de físico teórico hasta que pudo, y sacrificando convicciones a las cuales estaba apegado, obtener el mismo resultado por deducción a partir de los principios básicos de la termodinámica y del electromagnetismo, a los cuales hubo de agregar una hipótesis novedosa, la de los cuantos de energía, que tendría, como es sabido, una historia de sucesos imprevisible entonces.¹¹ Imaginemos por un instante si Planck y sucesores se hubiesen contentado con la mera fórmula empírica.

Finalmente cabe preguntarse en tren de hipótesis qué hubiese dicho Duhem frente a la actual situación donde se estudian esas mismas teorías del tipo que él juzgaba por siempre

inútiles. ¿Hasta qué punto los avances alcanzados por las investigaciones en sistemas caóticos implican una modificación en las consideraciones clásicas sobre el método hipotético - deductivo y la manera de conformar teorías? En primer lugar cabe la observación, tantas veces señalada en los textos sobre las teorías caóticas, que en la Naturaleza son más frecuentes los fenómenos de ese tipo que aquellos, prolijamente periódicos, que constituían la mayor parte de los casos tratados hasta hace veinticinco años. Sin dudas esto atraería la atención de Duhem, pero también lo haría el hecho que la determinación de los atractores permite una clasificación de los casos, una especie de taxonomía matemática para los fenómenos, lo cual es muy atractivo. Por otra parte es casi indudable que nunca hubiese considerado como un logro teórico el mero hecho de conseguir por vía experimental, tal como lo hacen los autores de referencia (5), un modelo matemático de la situación experimental en estudio que no incluyese una explicación de los mecanismos internos a partir de un conjunto limitado de principios. Atreverse a afirmar que el sabio francés, atrincherado en Burdeos y en sus convicciones, hubiese cambiado sus tajantes opiniones es, por supuesto, harina de otro costal.

Notas

¹ Pierre Duhem, *La Théorie Physique, Son Object - Sa Structure*, Paris, Marcel Rivière & Cie, Editeurs (1914).

² J. Hadamard, *Les surfaces a courbures opposées et leurs lignes géodesiques*, Journal de Mathématiques pures et appliquées, 5^e serie, t. IV, pag. 27 (1898).

³ Armando Asti Vera, *La investigación de modelos en la historia de la ciencia*, Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, XLVIII, pag 45 (1970).

⁴ Thomas S. Kuhn, *La Tensión Esencial*.

⁵ Alexander Rueger, David Sharp. *Simple Theories of a Messy World: Truth and Explanatory Power in Nonlinear Dynamics*, British Journal Philosophy of Science, 47, pag 93 (1996).

⁶ Stephen H. Kellert, *In the Wake of Chaos*, The University of Chicago Press (1993).

⁷ R.H. Shymoni et al. *One Dimensional Dynamics in a Multicomponent Chemical Reaction*, Physical Review, 49, pag. 245 (1982).

⁸ Véase también C. Galles, R. Laura, *Sobre la llamada Teoría del Caos*, Latin American School on Complex Systems, San Luis, 2 - 7 Noviembre 1997. A ser publicado en actas.

⁹ Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener, "The Role of Models in Science", Philosophy of Science 12, pag. 316 (1945).

¹⁰ Noyes, R.M., Field, R.J., Körös, E., *Oscillations in Chemical Systems. I. Detailed Mechanism in a System Showing Temporal Oscillations*, Journal American Chemical Association, 94, 1394 (1972).

¹¹ Véase Thomas S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Oxford (1979).