

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVIII JORNADAS

VOLUMEN 14 (2008)

Horacio Faas
Hernán Severgnini

Editores



ÁREA LOGICO-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



Cartesiómetro o de cómo aplicar la mecánica cartesiana*

Pablo Lorenzano, Daniel Blanco, Christian Carman, Ana Donolo, Lucía Federico, Santiago Ginnobili, Mariano Lastiri, Mercedes O'Lery y María Eugenia Onaha†

0. Introducción

En *Le monde ou Traité de la lumière* y en *Principia Philosophiæ* Descartes propone una teoría acerca de cómo se mueven y chocan los cuerpos. En esta teoría pueden encontrarse antecedentes de la mecánica del choque de Huygens, así como también del principio de inercia, posteriormente incluido en la mecánica clásica de Newton. Existe, sin embargo, una diferencia fundamental entre estas teorías. La mecánica de Descartes carece del concepto explicativo de masa (o de un concepto similar). Tampoco cuenta con un concepto similar al de fuerza. Esto podría sugerir que es una teoría puramente fenomenológica, en el sentido de no proponer ningún concepto teórico explicativo. Partiendo de una reconstrucción estructuralista¹ de la mecánica de René Descartes, intentaremos mostrar que esto no es así. Del intento de aplicación de las reglas de choque de Descartes, más complejo de lo que podría ser considerado en un primer momento, surge con claridad que el concepto de rapidez (diferente al de velocidad) tiene un status distinto al de los otros conceptos que allí ocurren: es teórico en la teoría de Descartes en un sentido que se explicitará en el trabajo, y, siendo así, esta teoría no es meramente fenomenológica.²

1. Conceptos T-teóricos

El estructuralismo metateórico rechaza la distinción “teórico-observacional” por ambigua, ya que ésta esconde en realidad *dos* distinciones: “observable-inobservable”, por un lado, y “no-teórico-teórico”, por el otro. Para el análisis de la estructura local de las teorías, la distinción relevante es la segunda. Ahora bien, esta distinción no es una distinción absoluta, sino que está relativizada a las teorías. Un término, o un concepto, o una entidad, no es teórico o no teórico sin más, sino *relativamente a una teoría dada*. Por eso no se debe hablar tanto de teoriedad como de T-teoriedad, teoriedad relativamente a la teoría T. La idea es que un concepto es T-teórico si es un concepto *propio* de la teoría T, *introducido* por ella, y es T-no-teórico si es un concepto previamente disponible a T. El criterio de T-teoriedad intenta precisar esta intuición. Informalmente, dicho criterio establece lo siguiente. Un concepto es T-no-teórico, si es *anterior* a T, e.e. si tiene procedimientos de determinación *independientes* de T; en cambio es T-teórico, si es propio de T, si su determinación depende *siempre* de T. Un método o procedimiento de determinación se considera dependiente de la teoría T si presupone la aplicabilidad de T, la validez de sus leyes, esto es, si usa o presupone modelos actuales de T. La idea es que un concepto es T-teórico si no se puede determinar sin presuponer la aplicabilidad de T, si *todo* procedimiento para

* Este artículo es fruto del trabajo conjunto dentro del Seminario Permanente en Filosofía de la Ciencia, dirigido por Pablo Lorenzano, en la Universidad Nacional de Quilmes, y fue realizado con ayuda de los proyectos de investigación PICTR2002-00219 y PICT2003-14261 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

† Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Nacional de Tres de Febrero/Universidad de Buenos Aires/Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica/CONICET

su determinación la presupone; y es T-no-teórico si tiene *algún* procedimiento de determinación T-independiente, si es posible determinarlo sin suponer la aplicación de la teoría, por más que también tenga otros T-dependientes. Una teoría que carece de términos teóricos o T-teóricos podría denominarse “fenomenológica”.

2. La mecánica de Descartes y la T-teoricidad: la rapidez como concepto cartesiano-teórico

A los historiadores de la ciencia no les ha resultado nada sencillo lidiar con la concepción cartesiana del movimiento. Como es bien sabido, Descartes parece sostener en varios lugares la naturaleza relacional del movimiento. A diferencia de Aristóteles, en varios pasajes parece defender que no hay una diferencia esencial entre el reposo y el movimiento. Por otro lado, parece bastante claro que si efectivamente no existe una diferencia objetiva entre reposo y movimiento, las reglas de choque se vuelven inconsistentes. Por ejemplo, la regla 4 trata el choque entre dos objetos perfectamente duros, uno de los cuales, el de mayor volumen, se encuentra en reposo. En la regla 5, el objeto en reposo es el más pequeño. Desde un punto de vista relacional estas condiciones iniciales son indistinguibles. Sería esperable, entonces, que los resultados finales fuesen compatibles. Sin embargo, no sucede así. En el primer caso, el objeto de mayor volumen queda quieto y el de menor volumen rebota, cambiando la dirección pero no la velocidad, mientras que, en el segundo caso, ambos objetos siguen pegados en la dirección con que venía el objeto de mayor volumen, a una menor velocidad. Sea cual fuese el estado de movimiento del observador con respecto a estos cuerpos, en el primer caso los cuerpos se separarían, en el segundo quedarían pegados.

Por lo tanto, las reglas del choque suponen una distinción objetiva entre reposo y movimiento, y se dificulta considerarlas desde un punto de vista relacional. Existen muchas discusiones historiográficas acerca de cómo entender esto. Nosotros no entraremos en estas disputas, sino que, siendo nuestro objetivo reconstruir la mecánica del choque, y pareciéndonos claro que el movimiento relacional trae inconsistencias en las reglas, asumiremos la consistencia del objeto a reconstruir, adjudicando una diferencia esencial entre movimiento y reposo.

Nuestra propuesta de interpretación supone que las reglas hablan, entonces, no simplemente de velocidad –que sin duda es un término relacional–, sino de rapidez –el término teórico que, intuitivamente, sería la rapidez medida desde un sistema de referencia privilegiado, a saber, aquel que está en reposo absoluto–. Pero esto engendra un problema en la aplicación de las reglas, porque, para saber qué regla debemos aplicar, debemos conocer primero su rapidez, y no sólo su velocidad, para lo cual debemos establecer el reposo absoluto como sistema de referencia privilegiado.

Por lo tanto, si no sabemos si el marco de referencia desde el que medimos está o no en reposo absoluto, no podemos medir el estado de movimiento intrínseco de los cuerpos, esto es, su rapidez. Pero, ¿puede medirse el reposo absoluto? Evidentemente no con independencia de la teoría. Pero probaremos que sí es posible hacerlo observando cómo chocan los cuerpos, es decir, *aplicando las leyes de la teoría*. Podemos averiguar si un objeto se encuentra en reposo, justamente, haciéndolo chocar con otro objeto y fijándonos en las reglas de choque, como veremos en seguida. Pero esto es precisamente lo que ocurre con los conceptos teóricos para una teoría dada. Sólo es posible determinarlos utilizando esa misma teoría. Así, sólo podemos determinar el reposo absoluto de un cuerpo mediante la aplicación de la mecánica cartesiana. Por

lo tanto, "reposo" será mecánico cartesiano-teórico. Y, evidentemente, también "rapidez" será teórico respecto de la mecánica cartesiana, porque tampoco ella podrá ser medida con independencia de la aplicación de la teoría.

Podemos mostrar que es posible calcular la rapidez de los cuerpos unívocamente y por lo tanto que es posible aplicar la mecánica cartesiana. "Rapidez", en tanto es posible ser determinado sólo presuponiendo la mecánica cartesiana, será el concepto teórico que buscábamos, y que muestra que la mecánica cartesiana no es fenomenológica. Nos vemos obligados, entonces, en la reconstrucción, a diferenciar la velocidad, que puede ser medida con independencia de la mecánica cartesiana, de la rapidez, que no.³

3. Cómo funciona el cartesiómetro

Mostraremos aquí cómo podría obtenerse la rapidez mediante la aplicación de las leyes de la teoría. Recordemos que mientras la velocidad es la variación de la posición en función del tiempo respecto de cualquier sistema de referencia,⁴ la rapidez es la variación de la posición en función del tiempo, pero respecto de un sistema de referencia privilegiado, a saber, uno que esté en *reposo absoluto*.⁵ De este modo, la relación entre la velocidad de un cuerpo en un determinado momento y su rapidez puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$r_{sr} + v_{(c,t,sr)} = r_{(c,t)}$$

Así, por ejemplo, si un cuerpo se desplaza con una velocidad de 50 km/h respecto de otro cuerpo, que utilizamos como sistema de referencia de la velocidad, que tiene una rapidez de 20km/h en la misma dirección, la rapidez del cuerpo es de 70 km/h. Es ésta, pues, la ecuación que vincula el término teórico ("rapidez") con componentes no-teóricos (la velocidad). Pero para obtener la rapidez de un cuerpo hay que conocer la rapidez del sistema de referencia y, para ello, hay que conocer el reposo absoluto. Probaremos que, aplicando las reglas del choque de Descartes, es posible, a partir exclusivamente de velocidades (términos *cartesiano*-no teóricos), obtener la rapidez.

Para determinar la rapidez, utilizaremos dos cuerpos que tienen el mismo volumen. Siendo volumen un término *cartesiano*-no teórico, no hay problema en determinar el volumen de esos cuerpos. Haremos que los cuerpos choquen a la misma velocidad, respecto de un mismo sistema de referencia que, por razones que veremos luego, llamaremos "cartesiómetro". Siendo la velocidad un concepto *cartesiano*-no teórico, tampoco hay dificultades en lograrlo. Existen sólo tres reglas que se aplican a casos de cuerpos con el mismo volumen, la 1, la 3 y la 6.

Recordemos que la primera se aplica al caso en el que parten con rapidezces iguales y contrarias y predice que, luego del choque, saldrán con las mismas rapidezces pero con sentido opuesto.

La tercera, por su parte, se aplica al caso en el que la rapidez de uno de los cuerpos es mayor que la del otro y predice que los dos cuerpos saldrán con la misma rapidez (es decir, pegados), en el sentido del cuerpo que tenía mayor rapidez y que la rapidez de ambos cuerpos será igual al promedio del valor absoluto de las rapidezces iniciales.

La sexta regla, finalmente, se aplica al caso en el que uno de los cuerpos está en reposo absoluto. La regla predice que el cuerpo que estaba en reposo saldrá con la misma dirección del cuerpo que lo chocó y una rapidez igual a $\frac{1}{4}$ de la rapidez del cuerpo que lo chocó. Y el cuerpo

que inicialmente tenía una rapidez distinta de cero rebotará saliendo con una rapidez de sentido contrario y de $\frac{3}{4}$ de su rapidez original.

La clave para poder obtener la rapidez del sistema de referencia es notar que los resultados de los choques en función de su rapidez tienen una *contrapartida observable inequívoca*, fruto de la ecuación que mostramos y de las condiciones iniciales en las que pusimos el sistema (velocidades iguales y contrarias).

Aplicación de la regla 3

Comencemos con la más fácil. Es evidente que *dos cuerpos tienen la misma rapidez si y sólo si tienen también la misma velocidad, medida desde el mismo sistema de referencia* (se desprende inmediatamente de la ecuación). Por lo tanto, si luego del choque, los dos cuerpos salen pegados, esto es, con la misma velocidad –que es lo que podemos medir–, sabremos que han salido también con la misma rapidez. Ahora bien, si es así, sólo puede tratarse de un caso de la regla 3. Y si es un caso de la regla 3, podemos calcular el valor de r_{sr} de la siguiente manera:

La regla nos dice que

$$r_{(c1,tf)} = r_{(c2,tf)} = \frac{r_{(c1,ti)} + r_{(c2,ti)}}{2}$$

Si aplicamos la ley que vincula la rapidez con la velocidad y reemplazamos las rapideces por sus relaciones con la velocidad, obtenemos:

$$r_{sr} + v_{(c1,tf,sr)} = r_{sr} + v_{(c2,tf,sr)} = \frac{v_{(c1,ti,sr)} + r_{sr} + v_{(c2,ti,sr)} - r_{sr}}{2}$$

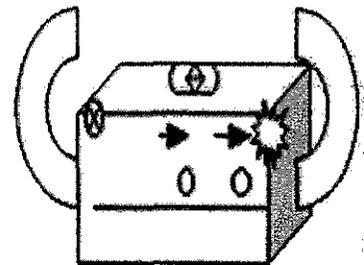
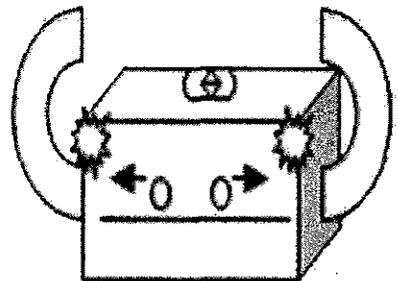
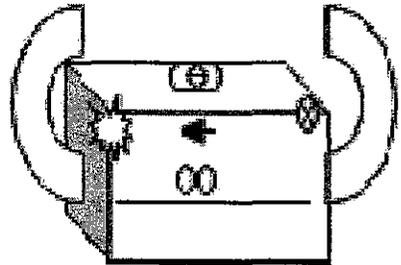
Despejando r_{sr} obtenemos que

$$r_{sr} = v_{(c1,ti,sr)} - v_{(c1,tf,sr)}$$

y a la derecha de la ecuación tenemos todas variables no teóricas (la velocidad final del sistema y las velocidades iniciales), por lo que, a partir de lo medido, puede obtenerse el valor de la rapidez del sistema de referencia.

Aplicación de la regla 1

Recordemos que, en nuestro dispositivo, los cuerpos chocan con velocidades iguales y contrarias. Ésta es una condición de nuestro sistema. Por otro lado, la regla 1 exige que, en el estado inicial, las rapideces sean iguales y contrarias. Por lo tanto, si la regla 1 se aplica en nuestro sistema, las velocidades y las rapideces deberán coincidir, por lo que la rapidez del sistema de referencia es 0 (lo cual implica que nuestro dispositivo se encuentra en reposo absoluto). Evidentemente, en esta situación, como las rapideces finales –según la regla– serán iguales y contrarias a las iniciales, así serán también las velocidades. Por lo tanto, si observamos que las velocidades finales de nuestro



sistema son iguales y contrarias a las originales, la rapidez del sistema de referencia es 0 y es el único caso en el que se puede dar la regla 1.

Aplicación de la regla 6

Queda, por lo tanto, sólo un caso. Si los cuerpos no salen pegados (regla 3) ni salen con velocidades iguales y contrarias (regla 1), será un caso de la regla 6. Como en esta regla uno de los cuerpos se encuentra en reposo absoluto y, por disposición del sistema, ambos cuerpos parten con velocidades iguales y contrarias, la rapidez del sistema de referencia (esto es, del dispositivo) será igual a la velocidad inicial del cuerpo que se encuentre en reposo. Pero, ¿cómo podemos determinar cuál de los dos está en reposo, si las velocidades iniciales de ambos cuerpos son iguales y contrarias? Analizando el estado final del sistema. La ley predice que el cuerpo en reposo saldrá despedido con una rapidez igual a $\frac{1}{4}$ de la rapidez inicial del otro cuerpo y el mismo sentido en que venía ese cuerpo y el otro, en cambio, cambiará su sentido y se alejará con una rapidez igual a $\frac{3}{4}$ de la inicial. Por otro lado, sabemos que la rapidez del sistema de referencia es igual a la velocidad inicial del cuerpo en reposo absoluto (sólo así puede estar en reposo absoluto con esa determinada velocidad). *El sentido del sistema de referencia es contrario al de la velocidad inicial del cuerpo en movimiento absoluto*—puesto que es igual a la del cuerpo en reposo absoluto—. En estas condiciones, es evidente que la regla 6 predice que la velocidad final de ambos cuerpos irá hacia el mismo lado, aunque uno se alejará con una velocidad mayor que el otro. Pues bien, el sentido del sistema de referencia es igual al de la velocidad final de los cuerpos. Puede verse más claro con las siguientes ecuaciones.

Por la configuración de nuestro sistema, sabemos que:

$$v_{(c1,ti,SR)} = x$$

$$v_{(c2,ti,SR)} = -x$$

Ahora bien, por mor de la argumentación, supongamos que el cuerpo 2 está en reposo. Puesto que $r_{SR} + v_{(c,t,SR)} = r_{(c,t)}$ y $r_{(c,t)} = 0$, $r_{SR} = -v_{(c,t,SR)}$. Por lo tanto, $r_{SR} = x$, siendo contraria a la velocidad inicial del cuerpo en movimiento absoluto. Y esto es suficiente para saber que las rapidezces iniciales serán:

$$r_{(c1,ti)} = r_{SR} + v_{(c,t,SR)} = x + x = 2x$$

$$r_{(c2,ti)} = r_{SR} + v_{(c,t,SR)} = x - x = 0$$

De aquí sabemos que, en el estado final, las rapidezces serán:

$$r_{(c2,tf)} = -\frac{3}{4} \cdot 2x = -\frac{3}{2}x$$

$$r_{(c1,tf)} = \frac{1}{4} \cdot 2x = \frac{1}{2}x$$

Transformando estas rapidezces en velocidades, recordando que:

$$v_{(c,t,SR)} = r_{(c,t)} - r_{SR}$$

obtenemos que

$$v_{(c1,tf,SR)} = r_{(c1,tf)} - r_{SR} = \frac{1}{2}x - x = -\frac{1}{2}x$$

$$v_{(cb,tf,sr)} = v_{(ca,tf)} - v_{sr} = \frac{1}{2}x - x = -\frac{1}{2}x$$

Por lo tanto, ambos cuerpos saldrán con velocidades distintas, pero en el mismo sentido. Y el sentido en el que salen es contrario al de la rapidez del cuerpo en movimiento, por lo que es el mismo sentido de la rapidez del sistema de referencia.

Es cierto que el dispositivo que hemos propuesto, bautizado “cartesiómetro”, utiliza sólo tres leyes especiales para averiguar la rapidez del sistema de referencia (aquellas que parten de cuerpos con igual volumen). Pero ello, por supuesto, no implica que con el dispositivo no puedan determinarse rapidezces de cuerpos con volúmenes distintos, ya que, conocida una rapidez, pueden conocerse todas, aplicando la primera fórmula que propusimos. También hay que destacar que no es el único cartesiómetro concebible. Sólo a modo de ejemplo repárese en la regla 4.

La regla establece que si un cuerpo más voluminoso que otro está en reposo absoluto y otro lo choca, este último rebotará con la velocidad que traía. Por lo tanto, si colocáramos en el cartesiómetro dos cuerpos con distinto volumen haciéndolos chocar a la misma velocidad y observáramos que, mientras uno, el de mayor volumen, no ha cambiado su velocidad luego del choque, el de menor volumen ha cambiado el sentido de su velocidad. La rapidez del sistema – con razonamientos análogos a los que hemos explicitado anteriormente– será igual y con sentido contrario a la del cuerpo de mayor volumen.

4. Conclusión

El objetivo del trabajo era, en primer lugar, investigar la existencia de algún concepto *cartesiano-teórico*. Analizamos la posibilidad de que la rapidez cumpla ese rol, encontrando una interpretación consistente de la mecánica cartesiana que permite su aplicación inequívoca. Así interpretada es falsa, pero ello no la hace menos científica. Creemos que el trabajo muestra, por un lado, que la interpretación propuesta debe, al menos, ser considerada seriamente y, por otro, que la metateoría estructuralista ha mostrado una vez más su fecundidad en el análisis fino de las teorías. En efecto, la causa del hallazgo de esta interpretación surge de la convicción, propia de la concepción estructuralista, de la distinción T-teórico/T-no teórico y de la existencia, en toda teoría no fenomenológica, de conceptos T-teóricos.

Notas

¹ Debido a limitaciones de espacio, este trabajo presupondrá familiaridad por parte del lector con dicha concepción. Se recomienda consultar Balzer, Moulines & Sneed (1987) o Díez & Lorenzano (2002).

² Este trabajo debe entenderse como una continuación de Lorenzano *et al.* (2007). El objetivo de ese trabajo era proporcionar una primera aproximación a la mecánica de René Descartes dentro del formato del estructuralismo metateórico. Allí dijimos que “volumen y rapidez, siendo candidatos a conceptos cartesiano-teóricos, diremos que habría razones—no definitivas y sobre las cuales no profundizaremos aquí—para optar por el de volumen como único concepto cartesiano-teórico” (Lorenzano *et al.*, 2007, p. 311). El objetivo del presente trabajo es, ahora sí, profundizar acerca de cuál debería ser el concepto cartesiano-teórico, distinguiendo además entre los conceptos de velocidad, por un lado, y de rapidez, por el otro, de modo tal de tener aquí un concepto más que allí.

³ Por otro lado, tampoco estará fuera de lugar aquí una breve aclaración de porqué el término “volumen” finalmente no debería ser considerado como T-teórico. Esto pudo llegar a pensarse si el volumen de un cuerpo determinado se identificaba con su “masa” o “cantidad de materia”. Sin embargo, la única cantidad de materia concebida por Descartes es la cantidad de extensión, es decir, la extensión espacial. Así lo establece inequívocamente en los *Principios de la*

filosofía. “[...] o que haya más materia o sustancia cuando un vaso está lleno de plomo, u oro, o cualquier otro cuerpo duro y pesado, que cuando sólo contienen aire y se considera vacío; pues la cantidad de materia de las partes no depende de su peso o dureza sino de la sola extensión, que siempre es igual en el mismo vaso” (Pr II, XIX). Y resulta claro que para determinar el volumen (tamaño, figura) o, lo que es lo mismo, la extensión de un cuerpo, entendida como su largo, ancho y profundo, y expresado mediante un solo número, resultado de la multiplicación de los valores largo, ancho y profundo de un cuerpo perfectamente homogéneo, no se necesita presuponer a la mecánica cartesiana, pudiéndose hacer así de un modo independiente.

⁴ La velocidad en la física de Descartes no es idéntica a como es entendida en la física actual. En esta última, la velocidad indica cuan rápidamente se mueve un objeto y en que dirección lo hace respecto del sistema de referencia establecido. Como el desplazamiento (cambio del vector posición) es una cantidad vectorial y el tiempo es un escalar, la velocidad es un vector. Este no es el caso en la física cartesiana.

⁵ No hay que confundir la rapidez (*vitesse*) de Descartes con la comprensión que se tiene de la rapidez en la actualidad, que muchas veces es entendida como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo que tomó recorrerla, sin sentido ni dirección, es decir, sólo como el módulo de la velocidad media en una recta, donde velocidad media se determina: $\bar{v} = r_f - r_i / t_f - t_i = \Delta r / \Delta t$. Otras veces se la encuentra en los libros actuales de física como la “rapidez de cambio de la cantidad de movimiento” que es el cambio de la cantidad de movimiento de un sistema sometido a fuerzas, determinado

$$\text{por: } dP/dt = d(\sum_i p_i)/dt = d(\sum_i m_i v_i)/dt = M \cdot a$$

Bibliografía

- Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed (1987), *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel.
- Descartes, R. (1896-1913), *Oeuvres de Descartes*, publicadas por Adam, Ch. y P. Tannery, Paris: Vrin, 11 vols.
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (2002), “La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX”, en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes. Universidad Nacional de Quilmes, pp. 13-78.
- Lorenzano, P., Blanco, D., Carman, C., Donolo, A.S., Federico, L., Gimnobilí, S., Lastiri, M., O’Lery, M. y M.E. Onaha (2007), “La mecánica de René Descartes”, *Epistemología e Historia de la Ciencia* 13 (2007): 309-316.