

## “El *cartesímetro*: una propuesta de aplicación consistente de las leyes del movimiento de Descartes”\*

Lorenzano, P.,\*\* Blanco, D.,\*\*\* Carman, C.,\*\* Donolo, A.,\*\*\* Federico, L.,\*\* Ginnobili, S.,\*\*\*\* Lastiri, M.,\*\*\*\* O’Lery, M.\*\*\*\*\* y M.E. Onaha\*\*\*\*\*

### 0. Introducción

*Le monde ou Traité de la lumière* (LM) y *Principia Philosophiæ* (Pr) constituyen los mayores desarrollos, y más sistemáticos, de la mecánica en Descartes y sientan así las bases del “cartesianismo”, que continúa desarrollándose en el siglo XVII de la mano sus seguidores, y alcanza quizás su punto máximo en la obra de un cartesiano poco ortodoxo, y muy crítico, Christiaan Huygens.

Esta y no otra fue la tradición científica con la que rompió Newton. Basta fijarse en su texto temprano, y que permaneciera inédito, “De gravitatione et æquipondio fluidorum”, que puede entenderse como una reacción crítica a los *Principia Philosophiæ* de Descartes, el lujo de detalles físico-matemáticos que Newton emplea en el Segundo Libro de los *Principia* para refutar definitivamente la hipótesis cartesiana de los vórtices, así como también que su obra máxima recibiera el nombre de *Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis* (1ª ed. 1687), en claro contrapunto con la mencionada obra de Descartes.

Existe, sin embargo, una diferencia fundamental entre estas teorías que nos interesa particularmente. La mecánica de Descartes carece del concepto de masa. 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 nuevo concepto teórico con fines explicativos.

Ahora bien, si la teoría es fenomenológica, la velocidad que Descartes predica de los cuerpos es simplemente la distancia recorrida en un lapso de tiempo dado. Se produce entonces un dilema que por ambos cuernos nos lleva a consecuencias indeseables. Si la velocidad puede ser determinada desde cualquier marco de referencia, y la naturaleza del movimiento es relacional, tal como parece sugerir Descartes en muchos pasajes, las reglas son inconsistentes. Por otro lado, si la velocidad sólo puede ser medida desde un marco de referencia privilegiado, habiendo diferencias esenciales entre el reposo y el movimiento, entonces, las reglas del choque no son inconsistentes; pero, dada la cosmología de Descartes en la que la Tierra se encuentra en movimiento, la mecánica de Descartes es inaplicable, pues no podemos saber cuál sea ese sistema de referencia privilegiado.

Utilizando el marco metateórico estructuralista, que brinda el enfoque más sofisticado disponible acerca de la estructura fina de las teorías y de la forma en que éstas se aplican,

---

\* 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/CONICET.

\*\*\* Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Nacional de Tres de Febrero/CONICET.

\*\*\*\* Universidad Nacional de Quilmes/Universidad de Buenos Aires/CONICET.

\*\*\*\*\* Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Nacional de Tres de Febrero/Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

\*\*\*\*\* Universidad Nacional de Quilmes/Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

\*\*\*\*\* Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Nacional de Tres de Febrero.

podemos mostrar que este dilema es evitable.<sup>1</sup> Ya que es posible reconstruir de un modo consistente una teoría aplicable, si consideramos que la mecánica de Descartes propone un nuevo concepto distinto al de velocidad, el de rapidez. En consecuencia, la teoría de Descartes no sería fenomenológica.

Nuestro objetivo es reconstruir la mecánica de Descartes de modo tal que sea consistente y aplicable. Mostraremos en qué sentido esto puede lograrse asumiendo que Descartes propone un concepto distinto al de velocidad, el ya mencionado de rapidez. Para ello, comenzaremos con una presentación intuitiva de esta teoría mecánica, analizaremos luego la teoriedad de los conceptos fundamentales de la teoría y, finalmente, mostraremos cómo la utilización del “cartesiómetro” permite ofrecer una presentación consistente de la teoría.

## 1. Presentación intuitiva de la mecánica de Descartes

### 1.1. La ley fundamental y los conceptos de la teoría

Partiendo de los atributos de Dios y de la suposición de que éste provee una cierta “cantidad de movimiento” a los objetos de la creación, Descartes se plantea dos posibilidades: o bien esa “cantidad de movimiento” se mantiene constante desde el mismo comienzo o bien hemos de dudar de la inmutabilidad del creador. Como era de esperar, no se permite abrazar esta segunda alternativa:

Dios (siendo) inmutable y [...] actuando siempre del mismo modo, produce siempre el mismo efecto. Suponiendo que ha puesto una determinada cantidad de movimientos en toda la materia en general desde el primer instante que la creó, es preciso sostener que conserva siempre la misma cantidad o bien creer que no actúa siempre de la misma manera. (*LM*, cap. VII)<sup>2</sup>

Aquí encontramos explicitado el enunciado legaliforme que corresponde a la ley fundamental de la mecánica de Descartes, el así llamado “principio de conservación de la cantidad de movimiento”, en el cual también es posible identificar los conceptos básicos de la teoría que nos ocupa.

En primer lugar, tenemos entidades susceptibles de moverse y, eventualmente, de colisionar, esto es, *cuerpos* (porciones de materia perfectamente sólidos o duros).

Además, y dado que la cantidad de movimiento equivale al producto del *volumen* (que Descartes denomina también *figura* o *tamaño* y que se calcula multiplicando los valores largo, ancho y profundo) por la *velocidad* (siempre de estos cuerpos), será necesario caracterizar estas dos propiedades o “modos” de los cuerpos: el *volumen* (un número positivo) y la celeridad o *velocidad* (también un número positivo, salvo cuando el cuerpo está en reposo, en que es cero). Este *volumen* proviene de la geometría y no debe confundirse (por razones que discutiremos luego) con la *extensión*, conceptualización propia y central –pero diferente– de la filosofía cartesiana.

Naturalmente, dado que esta celeridad o *velocidad* se da a través del tiempo, y que la conservación del movimiento es también transtemporal, el tiempo, y una relación de orden en ese tiempo, también constituyen conceptos básicos de la teoría.

Además, se considera el *sentido* del movimiento de un cuerpo (lo que Descartes llama *determinación –determinatio–*). Utilizaremos, por convención, el signo ‘–’ para representar que un cuerpo se mueve, con cierta velocidad, de derecha a izquierda, mientras que, en el caso

---

<sup>1</sup> Para una presentación completa y detallada de esta concepción metateórica, ver Balzer, Moulines & Sneed (1987); para una presentación sucinta, ver Díez & Lorenzano (2002).

<sup>2</sup> Una formulación similar aparece en *Pr* 2: 36.

en que el cuerpo se mueva, con cierta velocidad, de izquierda a derecha no utilizaremos ningún signo especial.

Asimismo, veremos luego la necesidad de introducir un nuevo concepto (*rapidez*), enfrentados a tomar una decisión entre hacer de la teoría una construcción falsa –aunque consistente y aplicable– o una inconsistente.

## 1.2. Las reglas de la teoría

Como insinuamos, la teoría que nos ocupa presenta, además de su ley fundamental, tres leyes que son especialización de aquella: las así llamadas “reglas de la naturaleza”.

También estas reglas aparecen en las dos obras aludidas, aunque lo hacen en un orden dispar, y con algunas diferencias sutiles. Tal es el caso de la primera ley.

(1) *La ley de “inercia”* (constancia, persistencia o perseverancia de los estados, en particular, del movimiento).

Dice Descartes en *Principia Philosophiæ*:

*Primera ley de la naturaleza: cada cosa, en lo que de ella depende, persevera siempre en su estado; y así, lo que es movido una vez continúa moviéndose siempre. [...] La primera de éstas es que toda cosa, en tanto que simple e indivisa, queda, por lo que de ella depende, siempre en el mismo estado y nunca puede cambiarse sino por causas (Pr 2: 37)*

La primera especialización puede ser formulada en dos versiones, una más general, que incluye la constancia del volumen, y otra más restringida, y que es la versión sobre la que se concentrará Descartes posteriormente, que se limita a la constancia de velocidad del movimiento. Así, si no hay cosas (según *Le monde*) o choques (según *Principia Philosophiæ*) tanto el volumen como la velocidad, se conservan.

(2) *La ley de “rectilineareidad”* (la tendencia de los cuerpos en movimiento a seguir trayectorias rectilíneas, de modo que los cuerpos que se mueven circularmente procuran alejarse de los centros de su rotación).

En *Principia Philosophiæ*, Descartes la describe de la siguiente manera:

*La segunda ley de la naturaleza es que todo es recto de suyo, y por eso las cosas que se mueven circularmente tienden siempre a separarse del centro del círculo que describen. Segunda ley de la naturaleza: cada parte de la materia, mirada por separado, nunca tiende a seguirse moviendo según ninguna línea curva, sino sólo según líneas rectas, si bien muchas se ven obligadas a torcer por el encuentro de otras, y como poco antes se ha dicho, en cualquier movimiento se produce como un círculo de toda la materia movida al mismo tiempo. (Pr 2: 39)*

(3) *La ley del “choque”*.

Descartes dice en *Le monde* (cap. VII) respecto de esta tercera ley (la segunda, en este texto) que para cualquier par de instantes, uno anterior al choque y uno posterior a éste, la suma de la cantidad de movimiento de dos cuerpos antes del choque coincide con la suma de la cantidad de movimiento de tales cuerpos después del choque. Toda ganancia (si la hubiera) en uno tiene lugar en desmedro de una pérdida equivalente en el otro.

Por su parte, en los *Principia Philosophiæ*, introduce esta regla como sigue:

*Tercera ley: que un cuerpo, al chocar con otro más fuerte, no pierde nada de su movimiento; mas chocando con otro menos fuerte, pierde tanto cuanto trasmite al otro. La tercera ley de la naturaleza es la siguiente: cuando un cuerpo en movimiento se encuentra con otro, si tiene menos fuerza para seguir en línea recta que el otro para resistirle, entonces se desvía hacia otra parte y, reteniendo su movimiento, sólo pierde la*

determinación de su movimiento; pero si tiene más, entonces mueve consigo al otro cuerpo y pierde tanto movimiento cuanto le da del suyo. (*Pr 2:40*)

De este modo, si se da el choque de dos cuerpos y la cantidad de movimiento de uno es menor al volumen del segundo, como resultado del choque el primero mantendrá su *velocidad* (“retiene su movimiento”), pero siguiendo una trayectoria con un sentido opuesto al que tenía antes de la colisión (la pérdida de *determinación* de la que habla Descartes). Por otro lado, si la cantidad de movimiento del primero es superior al volumen del segundo, entonces (otra vez) la suma de la cantidad de movimiento de dos cuerpos antes del choque coincide con la suma de la cantidad de movimiento de tales cuerpos después del choque, debido a que “mueve consigo al otro cuerpo”, perdiendo “tanto movimiento cuanto le da del suyo”.

La especialización de esta tercera da lugar a nuevos elementos teóricos: las especializaciones terminales de la teoría.

### 1.3. Las especializaciones terminales de la teoría

El tratamiento más pormenorizado que realiza Descartes de situaciones empíricas particulares aparecen bajo la forma de siete “reglas del choque”, las especializaciones terminales que nos ocupa.

En estos elementos teóricos, se da el tratamiento de tres casos. En el primero, el primer cuerpo se mueve de izquierda a derecha mientras que el segundo cuerpo lo hace de derecha a izquierda (reglas 1, 2 y 3). En el segundo caso, el segundo cuerpo está en reposo, y el primer cuerpo choca con él (reglas 4, 5 y 6). Finalmente, en el tercer caso, ambos cuerpos se mueven en la misma dirección, pero la velocidad del primer cuerpo es superior a la velocidad del segundo (regla 7, que cubre tres posibles situaciones).<sup>3</sup>

(a) *Caso I*: Antes del choque, el primer cuerpo se mueve de izquierda a derecha y el segundo cuerpo se mueve de derecha a izquierda.

*Regla 1*. Si los cuerpos tienen idéntico volumen y ambos cuerpos se mueven con igual velocidad antes del choque, la velocidad se conservará luego del choque, aunque el sentido del recorrido de ambos cuerpos será el opuesto al que tenían antes del choque (ver *Pr 2: 46*).

*Regla 2*. Si el volumen del primero es mayor al del segundo, entonces el primer cuerpo continúa su movimiento y el segundo sigue “pegado” a él, es decir, se mueve en el mismo sentido que el primer cuerpo. La velocidad de ambos cuerpos es calculable según una fórmula que ofrece Descartes<sup>4</sup> (ver *Pr 2: 47*).

*Regla 3*. Si los cuerpos tienen idéntico volumen y la velocidad del primero es mayor a la del segundo, entonces ambos seguirán juntos en el sentido del primero (es decir, el primer cuerpo continúa su movimiento y el segundo cambia su sentido, con una velocidad igual a la mitad de la suma de la velocidad inicial de ambos cuerpos (ver *Pr 2: 48*).

---

<sup>3</sup> Para todos los casos tematizados,  $q$  es el volumen,  $v$  la velocidad,  $c_1$  el primer cuerpo,  $c_2$  el segundo cuerpo,  $t_1$  un instante anterior al choque y  $t_2$  un instante posterior al choque.

<sup>4</sup>  $v(c_1, t_2) + v(c_2, t_2) = \frac{q(c_1) \cdot v(c_1, t_1) + q(c_2) \cdot v(c_2, t_1)}{q(c_1) + q(c_2)}$ .

(b) *Caso II*: El primer cuerpo choca con el segundo, estando este último en reposo.

*Regla 4*. Si el volumen del primer cuerpo es inferior al volumen del segundo, entonces éste continuará en reposo y el primero “rebotará” contra él, moviéndose, después del choque, en un sentido opuesto al que tenía antes (ver *Pr 2*: 49).

*Regla 5*. Si el volumen del primer cuerpo es mayor al volumen del segundo, entonces ambos seguirán juntos en el sentido en que se movía el primero, a una velocidad calculable según una fórmula que ofrece<sup>5</sup> Descartes (ver *Pr 2*: 50).

*Regla 6*. Si los cuerpos tienen idéntico volumen, entonces el segundo cuerpo se mueve en el sentido en que se movía el primero antes del choque a un cuarto de la velocidad que poseía el primero antes del choque. Por su parte, el primer cuerpo cambiará su sentido, deslizándose a una velocidad equivalente a tres cuartos de la velocidad que tenía antes del choque (ver *Pr 2*: 51).

*Caso III*: Ambos cuerpos se mueven en el mismo sentido, siendo la velocidad del primero mayor a la del segundo.

*Regla 7*, primera posibilidad. Si el volumen del primero es inferior al del segundo, y el exceso en velocidad en el primer cuerpo es mayor que el exceso de tamaño en el segundo cuerpo,<sup>6</sup> entonces –después del choque– el primer cuerpo le transfiere al segundo suficiente movimiento como para que ambos se muevan igual de rápido y en el mismo sentido a una velocidad calculable según una fórmula que ofrece<sup>7</sup> Descartes (ver *Pr 2*: 52).

*Regla 7*, segunda posibilidad. Si el volumen del primer cuerpo es inferior al volumen del segundo y el exceso de velocidad en el primer cuerpo es menor que el exceso de tamaño en el segundo,<sup>8</sup> entonces después del choque, el primer cuerpo cambia su sentido, manteniendo todo su movimiento, y el segundo cuerpo continúa moviéndose en el mismo sentido en el que lo hacía antes del choque. De este modo, ambos cuerpos conservan la velocidad que tenían antes del choque (ver *Pr 2*: 52).

*Regla 7*, tercera posibilidad. Si el volumen del primer cuerpo es inferior al volumen del segundo y la razón de las velocidades iniciales es igual a la inversa de los volúmenes, entonces el primer cuerpo transfiere una parte de su movimiento al otro para luego “rebotar” (ver *Pr 2*: 52F).<sup>9</sup>

## 2. Teoricidad de los conceptos fundamentales de la mecánica de Descartes

---

<sup>5</sup>  $v(c_1, t_2) = v(c_2, t_2) = q(c_1) \cdot v(c_1, t_1) / q(c_1) + q(c_2)$ . La fórmula es inferida del ejemplo dado en *Pr 2*: 50, usando el principio de conservación.

<sup>6</sup>  $v(c_1, t_1) / v(c_2, t_1) > q(c_2) / q(c_1)$ .

<sup>7</sup>  $v(c_1, t_2) = v(c_2, t_2) = q(c_1) \cdot v(c_1, t_1) + q(c_2) \cdot v(c_2, t_1) / q(c_1) + q(c_2)$ . La fórmula es inferida del ejemplo dado en *Pr 2*: 52, usando el principio de conservación. En la versión francesa, Descartes elimina la condición  $q(c_1) < q(c_2)$ .

<sup>8</sup>  $v(c_1, t_1) / v(c_2, t_1) < q(c_2) / q(c_1)$ .

<sup>9</sup> Este caso sólo se encuentra en la edición francesa. Descartes no proporciona en el texto un ejemplo del cual se pueda inferir una fórmula, pero quizás trata de decir que significa que el primer cuerpo transferiría la mitad de su rapidez al segundo cuerpo, de forma tal que, por el principio de la conservación,  $v(c_1, t_2) = v(c_1, t_1) / 2$  y  $v(c_2, t_2) = (3/2) v(c_2, t_1)$  (*Pr II* 52F).

Las teorías son usadas básicamente para explicar ciertos fenómenos. La naturaleza de la explicación científica ha sido uno de los temas tradicionalmente tratados por la filosofía de la ciencia en el marco de la denominada “concepción heredada” o “clásica” de las teorías científicas. Existe también un tratamiento de la temática en el marco de las denominadas “concepciones semánticas” o “modeloteóricas”, en particular en el de la concepción estructuralista de las teorías. La idea básica es la misma del análisis clásico, de acuerdo con el cual explicar un fenómeno significa subsumirlo bajo alguna ley, pero precisada en términos modeloteóricos. Así, llegamos al modelo de explicación de *fenómenos particulares* como *subsunción modeloteórica*, más específicamente entendida como *subsunción teórica* en patrones nómicos: “Explicar un fenómeno consiste en subsumir el fenómeno en un *patrón nómico* proporcionado por las distintas leyes, tanto fundamental/es como especial/es”.<sup>10</sup>

Si bien esto es compatible con la existencia de teorías fenomenológicas (en el sentido ya mencionado de carecer de términos teóricos), por lo general la explicación de fenómenos particulares lo es por subsunción teórica *ampliativa* en patrones nómicos. Conectando de este modo el concepto de explicación con el de *T-teoricidad*,<sup>11</sup> obtenemos la noción de explicación como *extensión* o *ampliación teórica* formulable en los siguientes términos:

La teoría *T* explica (o se “aplica exitosamente” a) un fenómeno particular si dicho fenómeno, conceptualizado *T*-no-teóricamente, se extiende o amplía con conceptos *T*-teóricos, de forma tal que se satisfacen la/s ley/es fundamental/es y las leyes especiales,<sup>12</sup> e.e. el patrón nómico.

En una publicación anterior (Lorenzano *et al.*, 2007), proporcionamos una primera aproximación a la mecánica de René Descartes dentro del formato del estructuralismo metateórico. Allí considerábamos la posibilidad de que el concepto de volumen fuese teórico en la mecánica de Descartes. En cierta medida, resultaba en un principio sugerente plantear tal supuesto a partir de identificar intuitivamente el concepto de volumen cartesiano con el concepto de masa de la mecánica clásica de partículas. La teoricidad del concepto de masa tanto para la mecánica newtoniana como para la mecánica del choque de Huygens ha sido suficientemente argumentada (Balzer, Moulines & Sneed, 1987).

Similarmente al concepto de masa en la mecánica newtoniana, el concepto de volumen fue representado en nuestro intento de axiomatización de la mecánica de Descartes como una función numérica a la que denominamos “*q*”. En los axiomas de interpretación, *q* representa una función que le asigna, a cada cuerpo, su volumen (tamaño, figura), dado en largo, ancho y profundo (un solo número, resultado de la multiplicación de los tres valores). Formalmente, entonces,  $q: C \rightarrow \mathbb{R}^+$ . En la reconstrucción bajo el enfoque estructuralista de la mecánica clásica de partículas, la función *m* representa al concepto de masa e intuitivamente expresa una relación similar a partir de la cual a una partícula es posible asignarle un valor numérico que refleje la *quantitas materiae* (Balzer, Moulines & Sneed, 1987, p. 53). 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 *Principia Philosophiæ*:

[...] 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

---

<sup>10</sup> Y demás constricciones nómicas que también son identificadas en un análisis de tipo estructuralista: las condiciones de ligadura y los vínculos interteóricos.

<sup>11</sup> La idea es que un concepto es *T*-teórico si no se puede determinar sin presuponer la aplicabilidad de *T*, si *todo* procedimiento para 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.

<sup>12</sup> Además de las condiciones de ligadura y los vínculos interteóricos.

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* 2: 19).

Determinar este tipo de conceptos, expresados a partir de funciones que asignan a elementos de un determinado conjunto valores numéricos –tales como el de masa (en el caso de la mecánica newtoniana) o de volumen (en la mecánica de Descartes)–, presupone disponer de criterios generales a partir de los cuales pueda ser identificado el valor numérico que la función adscribirá a cada uno de los elementos del dominio en cuestión; involucrando, así, la existencia de procedimientos de medición (Balzer, Moulines & Sneed, 1987, p.50).

A partir de todo lo antes dicho, y teniendo en cuenta el criterio informal de **T**-teoricidad, el concepto de volumen en la mecánica de Descartes podrá considerarse *cartesiano*-teórico, sólo si todos los procedimientos de medición involucrados en su determinación son o presuponen modelos actuales de dicha teoría mecánica. 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 la mecánica de Descartes, pudiéndose hacer así de un modo independiente.

De este modo, consideramos necesario desestimar la posibilidad de que el concepto de volumen pueda seguir considerándose como *cartesiano*-teórico y pasamos al análisis del concepto de rapidez.

En algunos pasajes, Descartes parece sostener la naturaleza relacional del movimiento, es decir, que no existe una diferencia esencial entre el reposo y el movimiento (ver, p.e., *Pr* 2: 25).

No obstante, si se concede tal cosa, nos encontramos ante consecuencias indeseables, en especial si hemos de pensar caritativamente la formulación de Descartes: si, en efecto, no existe una diferencia objetiva entre reposo y movimiento, las reglas de choque se vuelven inconsistentes.

Esto nos lleva a pensar que estas reglas suponen una distinción absoluta entre reposo y movimiento, tornándose dificultoso considerar al movimiento desde un punto de vista relacional. A los fines presentes, baste al lector saber que asumimos una diferencia esencial entre movimiento y reposo de modo de volver consistente a la teoría. Nos vemos obligados, entonces, en la reconstrucción, a diferenciar la velocidad, que puede ser medida con independencia de la mecánica de Descartes, de la rapidez, que no.

Esta decisión a la hora de la interpretación trae consigo una consecuencia importante: las reglas no hablan meramente (como las hemos interpretado hasta ahora) de la velocidad –que sin duda es un término relacional–, sino de rapidez, esto es, de la velocidad medida desde un sistema de referencia privilegiado, a saber, aquel que está en reposo absoluto. Si no es posible dar con tal cosa, entonces tampoco es posible aplicar la teoría (es decir, se vuelve una teoría consistente, pero inaplicable).

Afortunadamente, sí existe un modo, que no es independiente de la teoría, pues puede calcularse observando la manera en que chocan los cuerpos, es decir, aplicando justamente las leyes de la teoría.

Naturalmente, y como uno de los corolarios metateóricos de esta propuesta, la teoría ya no será meramente fenomenológica, pues introduce un término teórico para la teoría, el de rapidez.

Ello no quiere decir que, en vez de reconstruir la teoría real que propuso Descartes, nos propongamos reconstruir una idea platónica de ella, hecha coherente por nosotros mismos al sólo efecto de que sea reconstruible, desentendiéndonos por completo de la cuestión histórica. Sino que, más bien, como creemos que los científicos intentan, en la medida de lo posible, no proponer teorías inconsistentes –por lo menos no patentemente inconsistentes,

como sería el caso si se entendiera el movimiento de manera relacional—, mostrar que hay una versión coherente de la teoría de Descartes debería ser leído como un elemento a favor de la plausibilidad histórica de esta interpretación. Un segundo tipo de argumentación, que por razones de espacio dejaremos para otro trabajo, consistirá en señalar evidencia textual para esta interpretación historiográfica.

Pero nuestra propuesta de interpretación 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. En otro sitio (Lorenzano *et. al*, 2008), ya probamos que sí es posible hacerlo, observando cómo chocan los cuerpos, es decir, *aplicando las leyes de la teoría*, con la ayuda de un dispositivo que llamamos “cartesiómetro”. Así, sólo podemos determinar el reposo absoluto de un cuerpo mediante la aplicación de la mecánica de Descartes. Por lo tanto, “reposo” será un concepto *mecánico cartesiano*-teórico.

### 3. Cómo funciona el cartesiómetro

Brevemente mostraremos aquí cómo podría obtenerse la rapidez mediante la aplicación de las leyes de la teoría.

La relación entre la velocidad de un cuerpo en un determinado momento y su rapidez puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

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

Es ésta, pues, la ecuación que vincula el término *cartesiano*-teórico “rapidez” con los componentes *cartesiano*-no-teóricos, la velocidad.

Para determinar la rapidez, utilizaremos dos cuerpos que tienen el mismo volumen y velocidades iguales y contrarias. Siendo el volumen y la velocidad conceptos *cartesiano*-no-teóricos, no hay dificultades en lograrlo. Existen sólo tres reglas que se aplican a casos de cuerpos con el mismo volumen, las reglas 1, 3 y 6.

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.

#### *Aplicación de la regla 3*

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, sabremos que han salido también con la misma rapidez (ver fig. 1).



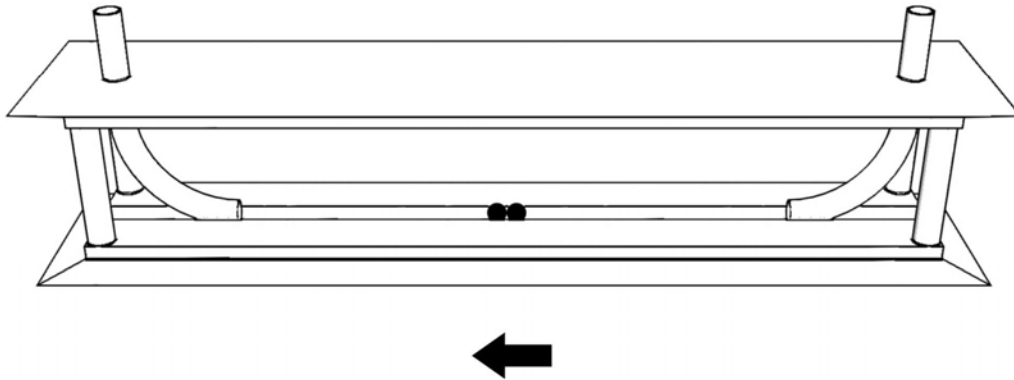


Figura 1 – Cartesiometro implicando regla 3.

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:

$$r_{(c_1, t_f)} = r_{(c_2, t_f)} = \frac{r_{(c_1, t_i)} + r_{(c_2, t_i)}}{2}$$

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

$$r_{sr} + v_{(c_1, t_f, sr)} = r_{sr} + v_{(c_2, t_f, sr)} = \frac{v_{(c_1, t_i, sr)} + r_{sr} + v_{(c_2, t_i, sr)} - r_{sr}}{2}$$

Despejando  $r_{sr}$ , obtenemos que

$$r_{sr} = v_{(c_1, t_i, sr)} - v_{(c_1, t_f, sr)}$$

y a la derecha de la ecuación tenemos todas variables *cartesiano-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*

La regla 1 exige que, en el estado inicial, las rapidezces sean iguales y contrarias. Por lo tanto, si la regla 1 se aplica en nuestro sistema, las velocidades y las rapidezces 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 rapidezces 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 (ver fig. 2).

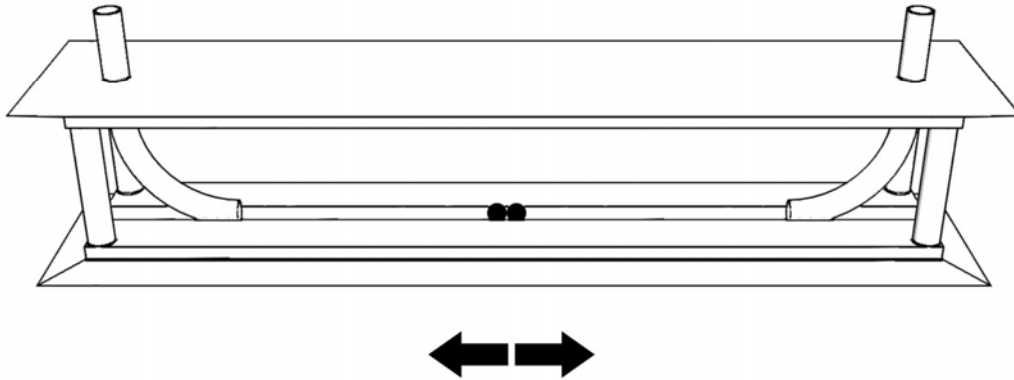


Figura 2 – Cartesiometro implicando regla 1.

*Aplicación 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. Determinaremos cuál es el cuerpo en reposo 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 en 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.

Por la configuración de nuestro sistema, sabemos que:

$$v_{(c_1, t_i, sr)} = x$$

$$v_{(c_2, t_i, sr)} = -x$$

Ahora bien, por mor de la argumentación, supongamos que el cuerpo 2 está en reposo. Puesto que:

$$r_{sr} + v_{(c_2, t_i, r)} = r_{(c_2, t_i)} = 0$$

$$r_{sr} = -v_{(c_2, t_i, sr)}$$

Por lo tanto:

$$r_{sr} = x$$

siendo contraria a la velocidad inicial del cuerpo en movimiento absoluto.

Y esto es suficiente para saber que la rapidez inicial del cuerpo 1:

$$r_{(c_1, t_i)} = r_{sr} + v_{(c, t, sr)} = x + x = 2x$$

Y la rapidez inicial de cuerpo 2 es:

$$r_{(c_2, t_i)} = r_{sr} + v_{(c, t, sr)} = x - x = 0$$

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

$$r_{(c_2, t_f)} = -\frac{3}{4}2x = -\frac{3}{2}x$$

$$r_{(c_1, t_f)} = -\frac{1}{4}2x = -\frac{1}{2}x$$

Transformando estas rapidezces en velocidades, recordando que:

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

obtenemos :

$$v_{(c_1, t_f, sr)} = r_{(c_1, t_f)} - r_{sr} = -\frac{3}{2}x - x = -\frac{5}{2}x$$

$$v_{(c_2, t_f, sr)} = r_{(c_2, t_f)} - r_{sr} = -\frac{1}{2}x - x = -\frac{1}{2}x$$

Por lo tanto, ambos cuerpos saldrán con velocidades distintas, pero en el mismo sentido (ver fig. 3). 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.

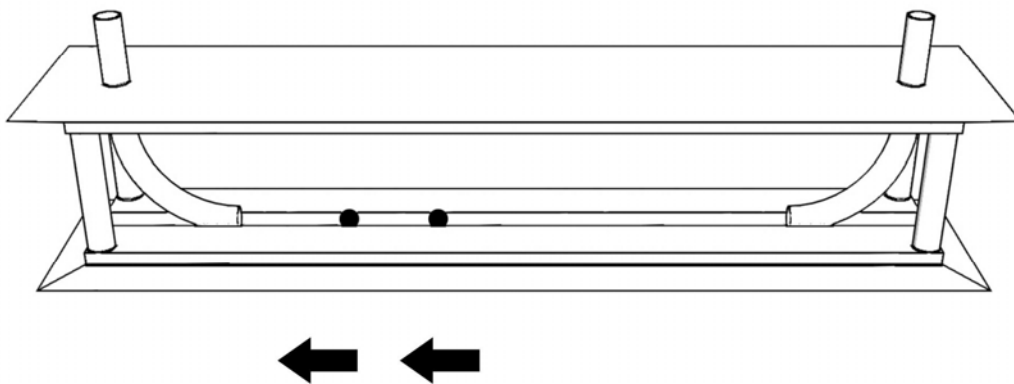


Figura 3 – Cartesiometro implicando regla 6.

Es cierto que el “cartesiómetro” propuesto 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 propuesta. También debe destacarse que no es el único “cartesiómetro” concebible.

## 5. Conclusión

En el presente trabajo nos planteamos elaborar una propuesta consistente de la mecánica de Descartes. Sugerimos que no se trata de una teoría meramente fenomenológica, sino genuinamente explicativa, ya que introduce el concepto *cartesiano*-teórico de rapidez como propio y distinto del de velocidad. El éxito de nuestro emprendimiento muestra una vez más la fecundidad del enfoque estructuralista en el análisis fino de las teorías y, a la vez, invita a pensar que la reconstrucción ofrecida podría ser la que, de hecho, tuvo en mente el Descartes histórico. Poseemos cierta evidencia textual de ello; su exposición y análisis, sin embargo, quedará para otro trabajo.

## Bibliografía

- BALZER, Wolfgang; MOULINES, C. Ulises; SNEED, Joseph D. *An Architecture for Science. The Structuralist Program*. Dordrecht: Reidel, 1987.
- DESCARTES, René. *Oeuvres de Descartes* [1896-1913]. Publicadas por Adam, Ch. y P. Tannery, Paris: Vrin, 11 vols.
- DÍEZ, José Antonio; LORENZANO, Pablo. La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX. Pp. 13-78, en: DÍEZ, José Antonio; LORENZANO, Pablo (eds.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002.
- LORENZANO, Pablo; BLANCO, Daniel; CARMAN, Cristián; DONOLO, Ana; FEDERICO, Lucía, GINNOBILI, Santiago; LASTIRI, Mariano; O’LERY, Mercedes; María Eugenia ONAHA. La mecánica de René Descartes. *Epistemología e Historia de la Ciencia* 13: 309-316, 2007.
- LORENZANO, Pablo; BLANCO, Daniel; CARMAN, Cristián; DONOLO, Ana; FEDERICO, Lucía; GINNOBILI, Santiago; LASTIRI, Mariano; O’LERY, Mercedes; María Eugenia ONAHA. Cartesiómetro o de cómo aplicar la mecánica cartesiana. *Epistemología e Historia de la Ciencia* 14: 303-309, 2008.
- NEWTON, Isaac. *De gravitatione et aequipondio fluidorum* [±1667–¿?]. Pp. 29-60, en BENÍTEZ, Laura & ROBLES José Antonio (eds). *De Newton y los newtonianos*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, 2006.
- NEWTON, Isaac. *Principia Mathematica Philosophia Naturalis*, Londini, jussi Societatus Regiae ac typis Josephi Streater; prostat apud plures bibliopolas [1687]. Traducción castellana: *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid: Editora Nacional, 1982.