¿Es MCP-teórico el término "masa"?

Adolfo García de la Sienra[63]
Instituto de Filosofía
Universidad Veracruzana

Resumen
La concepción estructuralista de las teorías mantiene que en toda teoría científica *T* hay términos —llamados *T*-teóricos— que no pueden ser determinados sin presuponer que las leyes de la teoría *T* tienen al menos una aplicación exitosa. Un ejemplo didáctico importante de término *T*-teórico aducido por los mismos estructuralistas es el de "masa" de la mecánica de partículas clásica. Sin embargo, Patrick Suppes parecía creer que, en general, es posible (y necesario) determinar los términos de cualquier teoría *T* mediante procedimientos de medición fundamental. El presente artículo considera esta polémica en relación con el término masa.

Palabras clave: Suppes, estructuralismo, términos *T*-teóricos, medición fundamental, masa.

Abstract
The structuralist view of theories maintains that in every scientific theory *T* there are terms —called *T*-theoretical— that cannot be determined without presupposing that the laws of theory *T* have at least one successful application. An important didactical example of a *T*-theoretical term, adduced by the structuralists themselves, is the term "mass" in classical particle mechanics. Nevertheless, Patrick Suppes seemed to believe that in general it is possible (and necessary) to determine the terms of any theory *T* by means of fundamental measurement procedures. The present paper considers this discussion in relation with the term "mass".

[63] Las primeras versiones de este artículo fueron presentadas en el Congreso Inaugural de la Sociedad Mexicana de Metafísica y Filosofía de la Ciencia (Orizaba, Veracruz, México, el 22 de junio de 2014) y en el IX Encuentro de Metateoría Estructuralista (Barcelona, España, julio de 2014). Agradezco a los oyentes sus útiles comentarios, críticas y observaciones. El presente artículo fue producido con el apoyo del proyecto CONACYT 127380, Filosofía de la economía.

Keywords: Suppes, structuralism, T-theoretical terms, fundamental measurement, mass.

El problema

Patrick Suppes sostiene no sólo que la medición de la masa es un logro de la Antigüedad, sino que hay un concepto unificado de ella que es compartido por varias teorías:

> Para los objetos físicos en una escala humana frecuentemente usamos una balanza de brazos iguales o de resorte para medir su masa. Los experimentos clásicos para medir la masa de un electrón son de un carácter muy diferente. También lo son, en el otro extremo de la escala, los procedimientos para medir las masas de los objetos astrofísicos. A pesar de la gran variedad de métodos empíricos para medir la masa, retenemos un concepto teórico de masa muy unificado, el cual asimismo se extiende a través de diferentes teorías. Más aún, con respecto a la cuestión de si una teoría dada entra en la medición de un concepto, no hay una respuesta única, sino variación de un contexto empírico a otro. Por ejemplo, la dinámica clásica se usa directamente en la determinación de la masa de objetos no terrestres, pero no en lo absoluto en mediciones que usan la balanza de brazos iguales. Desde luego, la teoría de la medición de la balanza fue esencialmente formulada en la ciencia antigua mucho antes de que existiera cualquiera teoría dinámica detallada.[64]

Por otro lado, los estructuralistas siempre han sostenido que la masa es un concepto teórico relativo a la mecánica clásica de partículas (MCP). Véase, por ejemplo, lo que dicen Balzer, Moulines y Sneed en la *Arquitectónica*:

> Tenemos el método clásico de medir la masa por medio de una balanza de brazos iguales. Se podría decir que las balanzas de brazos iguales no son sistemas de MCP y que, por lo tanto, hemos encontrado un método MCP independiente para la determinación

[64] Patrick Suppes, "Empirical Structures", *The Role of Experience in Science*, Erhard Scheibe (comp.), Berlín-Nueva York: Walter de Gruyter, 1988, p. 23. La traducción y el énfasis son míos.

> de la masa. Pero aquí debemos examinar las conexiones conceptuales muy cuidadosamente. Es verdad que una balanza de brazos iguales no es un modelo de MCP en un sentido directo. Ya que una descripción formal de una balanza de brazos iguales haría explicito que usamos los conceptos de cuerpo rígido y de momento angular, que no ocurren en MCP. Una balanza de brazos iguales es un modelo de la mecánica del cuerpo rígido. Por otro lado, podemos mostrar [...] que la mecánica del cuerpo rígido puede ser reducida a MCP en un sentido estricto y preciso. Pero si una teoría T puede reducirse a otra teoría T′, esto significa que T presupone semánticamente T′ —aun cuando la relación de presuposición pueda no ser vista inmediatamente—. Si se acepta esta interpretación semántica de la reducción y si suponemos que la relación de presuposición es transitiva, entonces podemos concluir en el caso presente que el uso de una balanza de brazos iguales para la determinación de la masa presupone MCP —por vía de la mecánica del cuerpo rígido y la reducción.[65]

Desde luego, la tesis de los estructuralistas no es dogmática, ya que plantea la teoricidad del término masa como una mera hipótesis. Lo que llama la atención es lo encontrado de las aserciones: “El uso de una balanza de brazos iguales para la determinación de la masa presupone MCP (por vía de la mecánica del cuerpo rígido y la reducción)” y “el uso de una balanza de brazos iguales para la determinación de la masa no presupone MCP” (de hecho, ninguna teoría dinámica). Creo que este conflicto es sintomático de cierta divergencia entre la concepción de Suppes y la estructuralista, que nunca ha sido realmente sacada a la luz. Lo que me propongo aquí es aportar elementos que permitan entender la raíz de esta divergencia. Mostraré que, en lo que concierne a los métodos de medición de la masa, Suppes esta vagamente en lo correcto —pues los métodos de medición fundamental permiten en efecto medir la masa— pero precisamente equivocado —pues en realidad no se requiere la balanza de brazos iguales para ello—.

---

[65] Wolfgang Balzer, Carles Ulises Moulines y Joseph D. Sneed, *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: D. Reidel, 1987, p. 105. Hay traducción al español: *Una arquitectónica para la ciencia. El programa estructuralista*, Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2012.

La medición mediante la balanza

Está claro que si el concepto de masa pudiese ser definido en términos de los conceptos cinemáticos, la cuestión habría quedado zanjada. La discusión acerca de la definibilidad de la masa se ha dado usualmente con referencia a la axiomatización de la MCP de McKinsey, Sugar y Suppes. Usando el método de Padoa, estos autores establecieron, de una vez por todas, que el concepto de masa no puede ser definido no en términos de conceptos cinemáticos, ni siquiera al conjuntar éstos con el de fuerza. Se han propuesto reconstrucciones alternativas de MCP que parecen cuestionar ese resultado, pero Jammer ha reseñado la implausibilidad de esos intentos, en cuya clarificación filosófica, por cierto, Andreas Kamlah desempeñó un importante papel.

Lo que me ocupa aquí es el cuestionamiento que Suppes parece estar haciendo al criterio estructuralista de teoricidad, que es independiente de la cuestión de la interdefinibilidad de los conceptos. Suppes admite que el concepto de masa no es definible en términos de conceptos cinemáticos y, no obstante, sugiere que hay casos de mediciones de masa que no requieren hacer uso de leyes dinámicas.

¿Por qué dice eso Suppes? Cuando habla de la teoría de la medición de la balanza, se refiere sin duda a la obra de Arquímedes, específicamente al libro I de *Sobre el equilibrio de los planos*.[66] Por lo demás, el uso de la balanza como una manera de medir cantidades de bienes es muy antiguo.[67]

De hecho, en la ley mosaica aparecen los conceptos de peso, balanza justa y medida justa: “No cometan injusticias falseando las

---

[66] *Cfr*. Patrick Suppes “Limitations of the Axiomatic Method in Ancient Greek Mathematical Sciences”, en David Gruender, Jaakko Hintikka y Evandro Agazzi (eds.), *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology. Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science,* vol. I, Dordrecht: D. Reidel, 1980, donde reconstruye esa teoría mediante el concepto de estructura conjuntiva (*conjoint*). Para una traducción del texto de Arquímedes al inglés, véase Thomas Little Heath, *The Works of Archimedes*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010. La primera edición de esta obra data de 1897.

[67] Como lo señala Jammer (*Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, Nueva York: Harper & Row, 1964, pp. 16-17), se menciona en *El libro de los muertos* y en Génesis 23:16.

medidas de longitud, de peso y de capacidad. Usen balanzas, pesas y medidas justas".[68]

La "justicia" de la balanza consistía en tener "brazos iguales". Este concepto es empírico y se refería a una balanza de brazos geométricamente muy parecidos y que se equilibraban en torno a un centro (fulcro). Dadas las unidades de peso,[69] la "justicia" de la pesas consistía en que pesaran las unidades que representaban. No hay duda de que el concepto de peso servía en la práctica para medir cantidades de bienes de diferentes tipos. Sin embargo,[70] ni en el Antiguo Israel ni en las demás naciones hasta la época de Arquímedes se llegó a tener un concepto general de masa en el sentido de *quantitas materiae* ni mucho menos de masa inercial: "El peso no era concebido como una cantidad dinámica universal o una fuerza, como en la ciencia moderna, proporcional a la cantidad de materia o masa (en una y la misma localidad), sino más bien como una propiedad de los cuerpos, una cualidad, como el color, el olor o la fragilidad".[71]

¿Cómo pudo entonces la teoría de la medición mediante la balanza de Arquímedes proporcionar las bases para una medición predinámica de la masa? Creo que no pudo hacerlo, por lo menos no en la Antigüedad, pues ni siquiera se contaba con el concepto de masa como tal.

Surgimiento del concepto de masa

No hay duda de que la balanza de brazos iguales proporciona un método para medir pesos de objetos de tamaño manipulable por los humanos, como ciertas mercancías usuales. La pregunta es si también puede ser utilizable para determinar la masa sin presuponer el aparato conceptual de la dinámica. Creo que ello es posible y que, si los escolásticos hubieran contado con el aparato conceptual de la teoría de la medición fundamental, hubieran podido medir la masa de algunos cuerpos. Ésta sería una manera de entender la tesis de Suppes.

---

68 *Levítico* 19:35.

69 En el Antiguo Israel eran seis: talento (33kg), mina (550gr), siclo (11gr), pim (7gr), becá (5.5gr), guerá (0.5gr). *Cfr. Biblia de Estudio* NVI Arqueológica, pp. 1497, 2128.

70 Max Jammer, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, Nueva York: Harper & Row, 1964, p. 29.

71 *Ibid.*, p. 17. La traducción es mía.

Los escolásticos llegaron a concebir el concepto de masa —que fue el punto de partida del concepto de masa inercial de Kepler—. La discusión entre los discípulos de Tomás de Aquino acerca del sustrato del cambio en la transubstanciación condujo a Gil de Roma a formar el concepto de *quantitas materiae* como medida de la masa o materia, independiente de las determinaciones de volumen o peso. Como lo explica Jammer:

> El punto de partida de Gil, como se expone en la proposición 44 de sus teoremas concernientes al Cuerpo de Cristo, es el problema tomista concerniente a la persistencia de los accidentes en la hostia eucarística, en particular los de la condensación y la rarefacción. La solución del Aquinate de tomar la cantidad (*quantitas dimensiva*) como el sujeto para estos accidentes no es para Gil completamente satisfactoria, pues en el caso de la condensación (esto es, el incremento perceptible en densidad), por ejemplo, lo que cambia es precisamente la cantidad misma, y la cantidad *qua* cantidad cambiante no puede ser un accidente de la cantidad *qua* cantidad como sujeto que sustenta el cambio [como sustrato]. La dificultad desaparece una vez que se supone que no es una y la misma cantidad la que se halla en discusión.[72]

La teoría de la *duplex quantitas* resuelve la dificultad al distinguir claramente el volumen (*dimensiones determinatae*) de la masa (*dimensiones indeterminatae o quantitas materiae*). Con esta distinción, el concepto de densidad de un cuerpo —que tenía un significado empírico para Gil y sus coetáneos, pues podía observarse a simple vista el cambio de densidad en algunas sustancias— podía ser definido, sin el uso de la balanza, como la razón de la *quantitas materiae* al volumen. La definición es correcta y aún es utilizada por los químicos en la actualidad, pero el concepto de peso de Gil, todavía concebido en líneas aristotélicas, no le hubiera podido servir para llevar a cabo la medición de ella, por lo que carecía de significado operacional.[73] Está claro que dentro del aparato conceptual de Gil

---

72 *Ibid.,* pp. 45-46

73 *Ibid.*, pp. 44–48. Para una exposición de las concepciones de Gil de Roma sobre este punto, véase Annaliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jarhundert*, Roma: Storia e Letteratura, 1949.

de Roma era posible hacer comparaciones cualitativas de las densidades (por ejemplo, de la misma sustancia) sin hacer uso de la balanza, *i. e.*, sin pesar cuerpos.

Además, la distinción de Gil aportaba elementos para modificar el concepto de peso, pues era empíricamente observable que unos cuerpos eran más densos que otros. El concepto de Gil permite generalizar el concepto de material de una especie —como el oro— al de masa como sustrato general del cambio sustancial, en particular (como creía Gil) de la transubstanciación. De aquí sólo hay un paso a ver el peso como un procedimiento de medición general de la masa. Claramente, al pesar oro o cualquier otro material, los comerciantes estaban midiendo cantidades.

Al disponer de este concepto, es factible concebir que la balanza de brazos iguales permita hacer comparaciones de masas. En el contexto de la teoría de la medición fundamental extensiva, Krantz señala:

> [Una] relación de comparación para la masa se desarrolla frecuentemente usando una balanza de brazos iguales. (Cuando se han de juzgar objetos con densidades menores a la del aire, la comparación se hace en un vacío.) Los requerimientos principales para tal balanza son que debiera tener tan poca fricción como fuera posible y que si *a* y *b* se balancean cuando a está en un plato y *b* en el otro, entonces también deben balancearse cuando sus revierten sus locaciones. La concatenación es simplemente interpretada como la colocación de objetos juntos en un platillo.[74]

Si se muestra que esta relación de comparación satisface ciertos axiomas, es posible medir las masas de ciertos cuerpos sin hacer uso de la constante *g* de intensidad del campo gravitatorio terrestre, es decir, sin hacer uso de las leyes dinámicas.

Si bien la teoría de la *duplex quantitas* terminó siendo rechazada por la escuela tomista hacia finales del siglo XIII,[75] los Oxford Calculators retomaron la distinción en el siglo XIV y desarrollaron

---

74 David Krantz, Duncan Luce, Patrick Suppes y Amos Tversky, *Foundations of Measurement*, vol. I, Mineola: Dover, 2007, p. 29.

75 Principalmente por Tomás de Sutton y Godofredo de Fontaines. *Cfr*. Jammer, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, p. 48.

el concepto de masa como una magnitud conjuntiva, como una cantidad compleja derivada de la magnitud y la densidad tomadas conjuntamente. Lo que me propongo mostrar enseguida es que, si los Calculadores de Oxford hubieran leído *Foundations of Measurement*, hubieran podido producir una medición fundamental de la masa a partir de comparaciones cualitativas entre volúmenes y densidades, incluso sin hacer uso de la balanza. No es posible regresar en la historia, pero sí puedo mostrar que hay al menos un caso de medición de la masa que no presupone las leyes dinámicas.

Medición fundamental de la masa

Ricardo Swineshead introdujo cuatro leyes en las que revelaba su concepto de masa como una cantidad definida de materia. El Calculador —ése era su apodo— las formulaba del siguiente modo:[76]

Postulados de Swineshead

(S1) Si dos cuerpos tienen la misma masa, entonces el que ocupa mayor volumen es menos denso.

(S2) Si dos cuerpos son iguales en volumen e igualmente densos, tienen la misma masa.

(S3) Si dos cuerpos son desiguales en volumen e iguales en densidad, entonces el que tiene mayor volumen tiene una masa mayor.

(S4) Si dos cuerpos son iguales en volumen y desiguales en densidad, el que es menos denso tiene una masa menor.

Nada impide denotar con el símbolo $\succsim$ la comparación cualitativa entre las masas de cuerpos dados. Si V y D son los conjuntos de volúmenes y densidades de ciertos cuerpos, la expresión $ap \succsim bq$ significa que un cuerpo con volumen a y densidad p tiene mayor masa que un cuerpo con volumen b y densidad q. Las relaciones $\sim$ y $\succ$ se definen de la manera usual. Como volumen y densidad son magnitudes independientes, es posible derivar sendas comparaciones entre volúmenes y masas a partir de la relación $\succsim$. El volumen a

[76] James A. Weisheipl, "The Concept of Matter in Fourteenth Century Science", en Ernan McMullin (comp.), *The Concept of Matter in Greek and Medieval Philosophy*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1965, p. 167.

es (cualitativamente) mayor o igual que el volumen b y se escribe a $\gtrsim 1$ b si y sólo si $ap \gtrsim bp$ para toda densidad p. Por analogía, se dice que la densidad p es (cualitativamente) mayor o igual que la densidad q y se escribe $p \gtrsim 2$ q si y sólo si $ap \gtrsim aq$ para todo volumen a. Omitiré los subescritos de esta relaciones derivadas, pues el contexto no permite confusión.

Con esta notación, los postulados de Swineshead pueden ser formulados como sigue:

(S1) Si $ap \sim bq$ y $a > b$, entonces $q > p$.
(S2) Si $a \sim b$ y $p \sim q$, entonces $ap \sim bq$.
(S3) Si $a > b$ y $p \sim q$, entonces $ap > bq$.
(S4) $a \sim b$ y $p > q$, entonces $ap > bq$.

De hecho, como mostraré más abajo, estos postulados se deducen de los axiomas que definen las estructuras de medición conjuntiva.

DEFINICIÓN 1. ❅ es una estructura de medición conjuntiva si y sólo si existen V, D y $\gtrsim$, tales que, para todo a, b, c en V, y p, q, r en D:

(0) ❅ $= \langle$ ` $V \times D, \gtrsim \rangle$
(1) $ap \gtrsim bq \gtrsim bq \gtrsim ap$;
(2) Si $ap \gtrsim bq$ y $bq \gtrsim cr$, entonces $ap \gtrsim cr$;
(3) Si $ap \gtrsim bp$, entonces $aq \gtrsim bq$;
(4) Si $ap \gtrsim aq$, entonces $bp \gtrsim bq$;
(5) Si $ap \gtrsim bq$ y $br \gtrsim cp$, entonces $ar \gtrsim cq$;
(6) Hay un p' en D tal que $ap \sim bp'$;
(7) Hay un a' en V tal que $ap \sim a'q$;
(8) Axioma arquimediano.

El axioma (1) dice que la relación $\gtrsim$ es conectada en el conjunto V x D; es decir, que dos cuerpos cualesquiera siempre pueden ser comparados con respecto a su masa. El axioma (2) dice que, si un cuerpo es más masivo que uno segundo, y éste a un tercero, el primero tiene que ser más masivo que el tercero. Los axiomas (3) y (4) expresan que el volumen es independiente de la densidad y la densidad del volumen, es decir, si un cuerpo con volumen a y densidad p es más masivo que un cuerpo con volumen b y tiene la misma densidad, entonces la relación se mantendrá entre dos cuerpos con los mismos volúmenes si se cambia la densidad de ellos (siendo la misma nueva densidad la de ambos). La explicación del axioma (4) es análoga, pues sustituye "volumen" por "densidad" y viceversa. El axioma (5) es la ley de doble cancelación. Es una condición necesaria para la existencia de una representación de $\succsim$ por la siguiente razón: supóngase que tal representación existe, de manera que hay funciones φ1 y φ2 tales que

$$\varphi 1(a)\, \varphi 2(p) \geq \varphi 1(b)\, \varphi 2(q) \text{ si y sólo si } ap \succsim bq$$

En tal caso, la suposición de que $ap \succsim bq$ y $br \succsim cp$, dado que las densidades y los volúmenes no son negativos, implica

$$\varphi 1(a)\, \varphi 2(p)\, \varphi 1(b)\, \varphi 2(r) \geq \varphi 1(b)\, \varphi 2(q)\, \varphi 1(c)\, \varphi 2(p)$$

De donde se infiere, cancelando φ1(b) φ2(p) en ambos lados de la desigualdad,

$$\varphi 1(a)\varphi 2(r) \geq \varphi 1(c)\varphi 2(q)$$
O
$$ar \succsim cq$$

Este axioma se verifica en cada caso experimentalmente; (6) y (7) son axiomas de resolubilidad y dicen que, dados dos volúmenes *a, b*, y densidad *q*, siempre es posible encontrar una densidad p' tal que $ap \sim bp'$. Esto es plausible pues, "en principio, dos sustancias en polvo o laminadas con diferentes densidades pueden ser combinadas en proporciones tales que generan cualquier valor intermedio de densidad".[77] Una consideración análoga vale para el volumen. El axioma arquimediano también es plausible, pues se interpreta en este caso al afirmar que toda secuencia estándar de densidades (o volúmenes) acotada es finita.

A continuación derivo los axiomas de Swineshead a partir de los axiomas de la medición conjuntiva.

[77] Krantz *et. al.*, *op. cit.*, vol. I, p. 484.

PROPOSICIÓN 1. Si $ap \sim bq$ y $a > b$ entonces $q > p$.

Demostración: Supóngase que $ap \sim bq$ y $a\ i > b$. Supóngase también, per contra, que $p \gtrsim q$. Por independencia de los componentes, se tiene $ap > bp$ y $bp \gtrsim bq$, de donde se deriva $ap > bq$, contradiciendo la hipótesis.

PROPOSICIÓN 2. Si $a \sim b$ y $p \sim q$ entonces $ap \sim bq$.

Demostración: Supóngase que $a \sim b$ y $p \sim q$. Por independencia, $ap \sim bp$ y $bp \sim bq$. Por transitividad, se deriva $ap \sim bq$.

PROPOSICIÓN 3. Si $a > b$ y $p \sim q$ entonces $ap > bq$.

Demostración: Si $a > b$ y $p \sim q$, por independencia se tiene $ap > bp$ y $bp \sim bq$. De aquí se deriva, por transitividad, $ap > bq$.

PROPOSICIÓN 4. Si $a \sim b$ y $p > q$ entonces $ap > bq$.

Demostración: La demostración es enteramente análoga a la de la proposición 3.

El siguiente es el teorema de representación para las estructuras de medición conjuntiva.

TEOREMA 1. Sea $\langle V x D, \gtrsim \rangle$ una estructura de medición conjuntiva. Entonces existen funciones de valores reales $\varphi 1$y $\varphi 2$ sobre V y D, respectivamente, tales que, para a y b en V y p y q en D

$ap \gtrsim bq$ si y sólo si $\varphi 1(a)\varphi 2(p) \geq \varphi 1(b)\varphi 2(q)$.

Más aún, *si* $\varphi' 1$ y $\varphi' 2$ son otras dos funciones cualesquiera con la misma propiedad, entonces existen números reales α, $\beta 1$, $\beta 2 > 0$ tales que

$\varphi' 1 = \beta 1\ \varphi \alpha 1$

y

$\varphi' 2 = \beta 2\ \varphi \alpha 2$

DEMOSTRACIÓN: Para una demostración detallada del teorema de representación para estructuras conjuntivas, véase el texto de Krantz.[78]

[78] *Ibid.*, vol. I, CAP. 6.

Desde luego, el uso de las balanzas de brazos iguales permite hacer comparaciones entre pares de volúmenes-densidades, pero hacia el siglo XIV era posible hacer comparaciones cualitativas entre densidades incluso sin apelar a la balanza. Más aún, se atribuye a Hipatia de Alejandría, notable científica que vivió a finales del siglo IV y principios del V, la construcción del primer densímetro (*hydrometer*, en inglés), mediante el que es posible medir la densidad de un fluido sin necesidad de calcular antes su masa ni su volumen. Está claro, entonces, que el concepto de densidad, así como el de volumen, es bastante antiguo y tenía significado operacional. Es fácil elegir como unidad un cierto volumen de una sustancia homogénea —como el agua— y obtener la medición predinámica de la masa como sigue. Supóngase que la unidad de volumen es *a* y la densidad *p*. Sean $\beta 1 = 1/\varphi 1\ (a)$, $\beta 2 = 1/\varphi(p)$ y $\alpha = 1$. Entonces $\varphi' 1(a) = \beta[\varphi 1(a)]\alpha = 1$ y $\varphi' 2\ (p) = \beta[\varphi 2(p)]\ \alpha = 1$. Así, la masa de ese volumen de agua es $\varphi'(ap) = 1$ y todos los demás cuerpos se miden tomando éste como unidad.

El enfoque de la medición de la masa en términos de volúmenes-densidades se puede combinar con el de la comparación de masas a través de una balanza de brazos iguales, pero se requiere una condición adicional para demostrar que la medida conjuntiva $\varphi 1$ es también extensiva.[79]

Conclusión

Creo haber hecho plausible que algún caso (elemental) de una medición no dinámica de la masa es posible mediante la metodología de la teoría de la medición fundamental, con base en conceptos y comparaciones que ya eran asequibles a los Calculadores de Oxford del siglo XIV. Cuando Kepler introdujo su nuevo concepto de masa inercial, no estaba rechazando el concepto de masa recibido, sino que encontró una propiedad de la masa como ésta se había entendido hasta entonces:

> [Conectó] la noción de *quantitas materiae* de los escolásticos, o, en la terminología de Kepler, la *copia materiae*, con su nuevo concepto de masa inercial. Desde luego, es posible interpretar la

[79] *Ibid*, vol. I, pp. 484 y ss.

> expresión "cantidad de materia confinada en un volumen dado" como si denotara "densidad", en cuyo caso Kepler obviamente concibe su "inercia" como proporcional a la densidad de la materia.[80]

Se debe a Newton la formulación final de las propiedades inerciales de la masa, pero el concepto de ella con el que comienzan los *Principia* es desde luego heredado de los Calculadores de Oxford: "El concepto de materia, o masa, como la 'cantidad de materia', '*arising from its density and bulk conjointly*', fue en realidad desarrollado en el siglo XIV por los Calculadores de Oxford, quienes tuvieron considerable influencia en el desarrollo del pensamiento científico occidental".[81]

La definición newtoniana es desde luego correcta y además no era operacionalmente vacua, según espero haber mostrado en este trabajo.

Si esto es así, he exhibido un caso de medición de la masa que no requiere el uso de las leyes dinámicas. Sin embargo, como el concepto de masa no es definible en términos de los conceptos cinemáticos (tiempo y posición), parecería que este concepto es dinámico, aunque es factible producir la medición de la masa de algunos cuerpos sin presuponer la validez de las leyes dinámicas. Esto plantea una dificultad a la tesis estructuralista de que lo que caracteriza a los términos teóricos de una teoría T es que no es posible encontrar ninguna medición de ellos sin presuponer las leyes de T. Esto requiere un ulterior refinamiento y precisión de la tesis estructuralista, pero ello es algo que rebasa los objetivos del presente trabajo.[82]

Bibliografía

Balzer, Wolfgang, Carles Ulises Moulines y Joseph D. Sneed, *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: D. Reidel, 1987. Hay traducción al español: *Una arquitectónica*

---

80 Jammer, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, p. 56.

81 Weisheipl, *op. cit.*, p. 148.

82 Un esfuerzo en esa dirección se encuentra en José A. Díez, "A Program for the Individuation of Scientific Concepts", *Synthese* 130, pp. 13-48.

para la ciencia. El programa estructuralista, Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2012.

Biblia de Estudio NVI Arqueológica, Miami: Editorial Vida, 2009.

Díez, José A., "A Program for the Individuation of Scientific Concepts", *Synthese* 130, pp. 13-48.

Heath, Thomas Little, *The Works of Archimedes*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

Hintikka, Jaakko, David Gruender y Evandro Agazzi (comps.), *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology. Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science*, vol. I, Dordrecht: D. Reidel, 1980.

Jammer, Max, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, Nueva York: Harper & Row, 1964.

______, *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy*, Princeton: Princeton University Press, 2000.

Krantz, David, Duncan Luce, Patrick Suppes y Amos Tversky, *Foundations of Measurement*, Mineola: Dover, 2007.

Maier, Annaliese, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jarhundert*, Roma: Storia e Letteratura, 1949.

McKinsey, J., A. C. Sugar y Patrick Suppes, "Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics", *Journal of Rational Mechanics and Analysis* 2 (2), pp. 253-272. Hay traducción al español: "Fundamentos axiomáticos para la mecánica de partículas clásica", *Lecturas Filosóficas 1*, Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1978.

McMullin, Ernan (comp.), *The Concept of Matter in Greek and Medieval Philosophy*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1965.

Scheibe, Erhard (comp.), *The Role of Experience in Science*, Berlín-Nueva York: Walter de Gruyter, 1988.

Suppes, Patrick, "Archimedes's Anticipation of Conjoint Measurement", en *Proceedings of the 13th International Congress of the History of Science*, Moscú: Nauka Publishing House, 1971.

______, "Empirical Structures", en Erhard Scheibe (comp.), *The Role of Experience in Science*, Berlín-Nueva York: Walter de Gruyter, 1988.

______, "Limitations of the Axiomatic Method in Ancient Greek Mathematical Sciences", en Jaakko Hintikka, David Gruender y Evandro Agazzi (eds.), *Theory Change, Ancient Axiomatics, and*

Galileo's Methodology. Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science, vol. I, Dordrecht: D. Reidel, 1980.

Weisheipl, James A., "The Concept of Matter in Fourteenth Century Science", en Ernan McMullin (comp.), *The Concept of Matter in Greek and Medieval Philosophy*, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1965.