# Análisis de un caso de reducción homogénea

*María de las Mercedes O'Lery*†

**Resumen**

El modelo clásico de reducción supone dos condiciones: *conectabilidad* y *derivabilidad* (Nagel, 1935, 1949, y principalmente 1961, cap. XI; Kemeny & Oppenheim, 1956).

El estructuralismo ha sido uno de los primeros enfoques en responder a los problemas que presentaba este modelo de reducción advirtiendo la necesidad de partir de una concepción no sintáctica de las teorías científicas, pero manteniendo el espíritu de las condiciones de conectabilidad y derivabilidad. Estas condiciones formales aparentan ser no problemáticas en el caso de las reducciones homogéneas. El objetivo de este trabajo será considerar esta premisa a la luz de un caso de reducción homogénea, el cual ha sido suficientemente analizado por la concepción estructuralista como lo es la reducción de la mecánica del choque a la mecánica newtoniana.

## Introducción

Los análisis de Nagel junto a los de Kemeny y Oppenheim acerca de la reducción en ciencia permitieron establecer dos intuiciones básicas acerca de dicha relación: *a*) las teorías involucradas en un fenómeno de reducción están de algún modo vinculadas semánticamente; *b*) la teoría reductora ofrece aseveraciones más estrictas acerca del mundo de lo que lo hace la teoría reducida. Estas son las intuiciones que están a la base de las dos condiciones que establece el modelo clásico de reducción: *conectabilidad* y *derivabilidad* (Nagel, 1935, 1949, y principalmente 1961, cap. XI; Kemeny & Oppenheim, 1956). Estas condiciones para establecer formalmente una reducción no han sido problematizadas, sin embargo, en el caso de las reducciones de tipo homogéneas. Nagel mismo afirma

† Universidad de Buenos Aires (UBA-CBC). Universidad Nacional de Quilmes (CEFHIC). Para contactar a la autora, por favor, escribir a mercedesolery@gmail.com. Esta investigación se ha realizado gracias al financiamiento de los proyectos: PICT-2018-3454 (ANPCyT, Argentina) y UNTREF 32/19 80120190100115TF y 80120190200069TF (Universidad Nacional de Tres de Febrero). Especial agradecimiento a los evaluadores anónimos de la versión preliminar de este trabajo por la atenta lectura y los precisos comentarios al mismo.

que este tipo de reducciones conllevan, a lo sumo alguna complejidad menor, que no afecta el cumplimiento de estas condiciones formales.

En el presente trabajo nos interesará detenernos a analizar si esta eventual complejidad es en efecto, en todos los casos, inocua para establecer las condiciones de la reducción. Bastará para ello que pueda exponerse un caso de reducción respecto del cual podamos coincidir en no cuestionar su carácter de reducción homogénea y en el que, además, la condición de conectabilidad, en términos de Nagel, se vea afectada de un modo tal que no pueda cumplimentarse la condición de deducibilidad. Para ello se tomará como caso de análisis la reducción de la mecánica del choque a la mecánica newtoniana, en la cual una clase de fenómenos queda absorbida bajo el ámbito de aplicación de una clase más vasta y cuyo caso difícilmente pueda objetarse como un ejemplo claro de reducción homogénea.

Para encarar este análisis se tomará en cuenta lo siguiente. Por un lado, desde el estructuralismo se han ofrecido reconstrucciones para la mecánica del choque que permiten hacer visible su relación interteórica con la mecánica newtoniana (Balzer & Mühlhölzer, 1982; Moulines, 1984; Moulines, 1985; Balzer, Moulines & Sneed, 1987). Por otro lado, el estructuralismo ha sido uno de los primeros enfoques en responder a los problemas que adolecía el modelo nageliano de reducción advirtiendo la necesidad de partir de una concepción no sintáctica de las teorías científicas, pero manteniendo el espíritu de las condiciones de conectabilidad y derivabilidad. A partir de ello, la discusión que se propone en este trabajo supone evaluar la premisa de no problematicidad de las reducciones homogéneas a la luz del caso, suficientemente analizado por el estructuralismo, de la reducción de la mecánica del choque a la mecánica newtoniana.

## Reducción homogénea

Nagel (1961), como es bien sabido, distingue dos tipos de reducciones: las heterogéneas y las homogéneas. Para ejemplificar a este último tipo de reducciones, apela a dos casos. El primero de ellos es el de la reducción de la mecánica de cuerpos rígidos a la mecánica newtoniana. Este sería un claro caso de cuando una teoría es inicialmente formulada para una clase restringida de fenómenos y posteriormente se extiende abarcando una clase más vasta. El segundo caso es el de la reducción de las Leyes de Galileo acerca del movimiento de los cuerpos terrestres a la mecánica newtoniana. En este caso se trataría de la absorción de dos clases de fenómenos (movimiento de cuerpos terrestres y cuerpos celestes) bajo un mismo ámbito de aplicación (mecánica newtoniana). Para Nagel, en una reducción homogénea, las leyes de la teoría reducida no presentan términos descriptivos que no hayan sido usados aproximadamente con el mismo significado en las leyes de la teoría reductora (Nagel, 1961, p. 339). A partir de que el vocabulario de ambas teorías es homogéneo, puede considerarse no sólo que se satisfará una relación deductiva entre los enunciados de ambas, sino que, además, puede esperarse que la condición de conectabilidad se cumpla prescindiendo de suposiciones adicionales que permitan vincular el significado de los términos de la teoría reducida con los de la teoría reductora. De ahí que Nagel, y en general el debate en torno a la reducción interteórica, reste importancia al tratamiento de este tipo de reducciones y prefiera dedicarles atención especial a los casos de reducción heterogénea. Incluso, si bien Nagel reconoce que algunos casos de reducción homogénea pueden mostrar algún grado de complejidad, asume que ésta no llega a problematizar las condiciones formales de conectabilidad y deducibilidad.

Por su parte, desde la concepción estructuralista de la ciencia se ofrece una caracterización formal para la relación de reducción que mantiene el espíritu de las condiciones formales de Nagel, pero partiendo de una noción no sintáctica sino modeloteórica de las teorías. Las condiciones formales para una relación interteórica de reducción, en este marco, se han ido elaborando desde los trabajos de Wolfgang Balzer a inicios de los 80' llegando a la versión más actual de dicha noción en *An Architectonic for Science* (Balzer, Moulines & Sneed, 1987).

Si bien en esta última caracterización para la reducción no aparece mencionado el aspecto ontológico para tener en cuenta al momento de analizar una eventual relación de reducción entre dos teorías, poco tiempo antes de dicha publicación, Moulines advertía lo siguiente:

> Existe al menos un aspecto adicional de la reducción que es pasado por alto [...] que me gustaría llamar "el aspecto ontológico". [...] para una imagen completa de una relación reductiva entre dos teorías, hay que tener en cuenta algún tipo de relación entre los dominios respectivos. De lo contrario, cuando somos confrontados con un ejemplo particular de un par reductivo, sentiríamos que todo lo que tenemos es una relación matemática ad hoc entre dos conjuntos de estructuras, tal vez por casualidad teniendo las propiedades matemáticas que exigimos para la reducción, pero sin decir realmente algo sobre "el mundo". (Moulines, 1984, p. 55)

De este modo, Moulines introducía una condición ontológica adicional para establecer una auténtica reducción entre teorías. A partir de esta condición, establecer el vínculo reductivo entre un par de teorías supone, además de las condiciones formales para la reducción interteórica, comprobar la existencia de un vínculo ontológico entre estas.

En el caso de una reducción homogénea, es esperable tanto para Nagel como para el estructuralismo, que el vocabulario de ambas teorías involucradas no problematice la posibilidad de conectabilidad. En la caracterización estructuralista, la condición de conectabilidad nageliana se asegura a partir de que la reducción interteórica puede establecerse si, entre otras cosas, ambas teorías están "globalmente correlacionadas" a nivel de sus marcos conceptuales. Y es, entonces, la reducción ontológica la condición adicional que intenta precisar aun más de qué modo ha de darse esta correlación a nivel de los dominios.

En la definición de reducción ontológica, Moulines establece una reducción de tipo homogénea como aquel tipo de vínculo reductivo entre teorías en el cual se presenta *identidad* a nivel ontológico entre los dominios de las teorías. Es decir, entre aquellas clases de entidades acerca de las cuales las teorías se ocupan. Esta identidad exigida entre dominios puede ser total $D = D^*$, es decir, cuando ambas teorías hablan de lo mismo; o parcial si $D \subseteq D^*$, cuando las entidades supuestas para una de esas teorías pueden considerarse una clase especial de aquellas entidades supuestas para la otra.

Por otro lado, la relación será heterogénea cuando entre dominios pueda establecerse algún tipo de *correlación* que suponga un vínculo ontológico más complejo que el de una mera identidad. Por ejemplo, cuando las entidades acerca de las cuales se ocupa una de esas teorías pueden concebirse, cada una de ellas, como una combinación o compuesto conformado por una o más de aquellas entidades acerca de las cuales se ocupa la otra teoría. Formalmente, por ejemplo, $D \subseteq D_1^* \times D_2^*$.

Además, la reducción ontológica homogénea será clasificada como *pura*, cuando pueda establecerse que todos los dominios de la teoría reducida mantienen un vínculo homogéneo (es decir, de identidad) con los dominios de la teoría reductora. Mientras que será considerada *mixta* cuando puede evidenciarse que algunos dominios de la teoría reducida mantienen un vínculo homogéneo con los dominios de la teoría reductora, pero al menos uno de ellos se vincula heterogéneamente con uno o más dominios de la teoría reductora.

### *Un caso concreto*

La relación entre la mecánica del choque y la mecánica de partículas satisfaría, en principio, los requisitos nagelianos para una reducción homogénea en la medida en que las leyes de la mecánica del choque no aparentan presentar términos descriptivos que no hayan sido usados aproximadamente con el mismo significado en las leyes de la mecánica de partículas.

Desde el análisis formal estructuralista, el vínculo entre estas teorías es capturado efectivamente mediante una relación de reducción (Balzer & Mühlhölzer, 1982; Moulines, 1984; Moulines, 1985; Balzer, Moulines & Sneed, 1987). Y, más concretamente, una reducción homogénea pura (Moulines, 1984).

Formalmente, se ha establecido que ambas están "globalmente correlacionadas" a nivel de sus marcos conceptuales. Es decir, formalmente, se cumple que $\rho \subseteq M_p^*(MCP) \times M_p(MCCH)$.

En términos estructuralistas, se da una relación formal de reducción $\rho$ entre las clases de modelos potenciales de ambas teorías: MCP (mecánica clásica de partículas) y MCCH (mecánica clásica del choque). Pero, además, la relación establecida es tal que da cuenta de la intuición de que la mecánica de partículas (MCP es el primer miembro del producto cartesiano) sea la teoría reductora, mientras que la mecánica del choque sea la teoría reducida.

Cada una de las clases $M_p^*(MCCH)$ y $M_p(MCCH)$, para una y otra teoría, reúne a un conjunto de modelos ($x^*$ y $x$, respectivamente) los que, a su vez, expresan el marco conceptual de cada teoría. Así, los modelos potenciales para la mecánica clásica de partículas se presentan como estructuras del tipo $x^* = \langle P^*, T^*, S^*, \mathbb{N}^*, \mathbb{R}^*, c_1^*, c_2^*, s^*, m^*, f^* \rangle$ mientras que los que corresponden a la mecánica del choque serían $x = \langle P, T, \mathbb{R}, v, m \rangle$. En concreto, lo que este formalismo expresa es que ambas teorías coinciden en afirmar una serie de entidades (partículas e instantes temporales) y una propiedad de las partículas (masa), pero se distinguen en el modo de entender la velocidad de las partículas y la ocurrencia de fuerzas, las que sólo están supuestas para la mecánica de partículas.

En lo que respecta al aspecto ontológico, en la medida en que los dominios básicos de la mecánica del choque $P$ y $T$ se identifican con los dominios básicos de la mecánica de partículas, esto es $P \subseteq P^*$ y $T \subseteq T^*$, es que se establece que el vínculo entre estas teorías es el de una reducción ontológica homogénea. Esto es lo que se sigue si se respeta la caracterización original de la condición de reducción ontológica (Moulines, 1984). Además, siendo que $P$ y $T$ agotan los dominios básicos presentes en la axiomatización de la mecánica del choque, se satisface también el que la relación ontológica sea homogénea pura.

Esta caracterización, sin embargo, puede ser reformulada en términos de la noción de *subestructura parcial escalonada* (O'Lery, 2018, 2023). Partiendo de esta noción, la condición formal para una reducción ontológica de tipo homogénea exigiría que los modelos de la teoría reducida sean subestructuras parciales escalonadas $\eta$ de los modelos de la teoría reductora. En el caso puntual de las teorías consideradas, esta condición exige formalmente que $x \in M_p$ $(MCCH)$ $\eta$ $x^* \in M_p^*$ $(MCP)$, es decir, debe satisfacerse que para toda $s_i \hat{\in} x$ existe al menos una $s_k^* \hat{\in} x^*$ tal que $s_i \in \Theta(s_k^*)$. En un lenguaje no formal, se exige que toda subestructura de $x$ (es decir, todo dominio, función o relación supuesta en la reconstrucción de la mecánica del choque) sea conjunto escalón de al menos una subestructura parcial de $x^*$ (esto es, de al menos un dominio, función o relación supuesta en la reconstrucción de la mecánica de partículas). Como la noción de conjunto escalón permite formalizar la identidad y la correspondencia supuestas en la condición de reducción ontológica, lo anterior puede expresarse como sigue:

> Para establecer formalmente una reducción ontológica homogénea entre un par de teorías, es necesario establecer que *al menos uno* de los dominios, funciones o relaciones supuestas en la reconstrucción de la presunta teoría reducida se identifican con al menos uno de los dominios, funciones o relaciones supuestas en la reconstrucción de la presenta teoría reductora.

La exigencia mínima para *al menos uno* de los componentes ya asegura que la reducción sea homogénea. Sin embargo, si se toma en cuenta la caracterización ofrecida por Moulines para la reducción homogénea pura mencionada antes, entonces para evidenciar que la relación entre la mecánica del choque y la mecánica de partículas da cuenta de una reducción de este tipo, es necesario que *todos* los componentes de la mecánica del choque se identifiquen con al menos uno de los componentes de la mecánica de partículas.

Esta reformulación de la condición de reducción ontológica en términos de subestructuras parciales escalonadas hace posible analizar de un modo más preciso el vínculo ontológico pues obliga a revisar todo el marco conceptual, no sólo los dominios básicos. Y, en el caso concreto de la reducción de la mecánica del choque a la mecánica de partículas, se ha mostrado que las funciones de velocidad y masa de la mecánica del choque pueden ser formalizadas como conjunto escalón de dominios de la mecánica de partículas, evidenciando una relación de correspondencia entre esos conceptos y no una identidad.[2] Esto lleva a concluir que el vínculo ontológico entre esas teorías supone también heterogeneidad, y de ahí que deba ser considerado como una reducción ontológica mixta y no pura. Más aun, en la medida en que toda función o relación se construye a partir de dominios, pero de un modo más complejo que el de una mera identidad, es inmediato concluir que, formalmente, siempre supondrán un vínculo heterogéneo.

Sin embargo, el ejemplo de la relación entre la mecánica del choque y la mecánica de partículas sigue aparentando ser, al menos intuitivamente, un ejemplo claro de reducción homogénea pura. De hecho, hasta ahora no se ha pensado en objetar que la masa en la mecánica del choque es usada en esta teoría de un modo similar al que es usada la masa en la mecánica de partículas. De modo que nos encontramos ante la necesidad de efectuar un análisis más fino acerca de algunos de los conceptos involucrados a fin de poder confirmar, o no, la intuición fijada sobre este caso concreto.

### *En busca de respuestas*

Hasta ahora, el análisis del vínculo entre la mecánica del choque y la mecánica de partículas se ha llevado a cabo considerando una versión de la mecánica del choque prenewtoniana y como constructo teórico más o menos acabado a partir de los aportes de Christiaan Huygens, Christopher Wren y John Wallis.

Sin embargo, más allá del reconocimiento que el propio Newton hiciera de estos investigadores (ver Schliesser, 2011, p. 109), el trabajo de sistematización de las leyes del choque, en especial, el realizado por Huygens quedó en algún sentido invisibilizado por parte de los manuales de la época, tal como lo describe Bell:

> Gravesande's *Mathematical Elements of Natural Philosophy* (1721) was more up to date and contained a summary of Huygens's work on impact without, however, an ack-

[2] La cuestión aquí es cómo evidenciar de manera más clara el vínculo conceptual entre las funciones presentes en dos teorías entre las cuales se presume algún tipo de vínculo reductivo. Para ello se ha propuesto (O'Lery, 2023) evaluar la correspondencia a nivel de las tipificaciones de las funciones. En base a ello, para el caso concreto de la relación entre *MCCH* y *MCP*, la correspondencia en cuanto a los dominios básicos $P$ y $P^*$ permitiría establecer una tipificación de la función masa en *MCCH* a partir de los dominios básicos de *MCP*, a saber, $m \in Pot(\pi_1 \langle P^*, \mathbb{R}^* \rangle \times \pi_2 \langle P^*, \mathbb{R}^* \rangle)$. Esta tipificación expresaría el vínculo conceptual requerido para la reducción ontológica entre las funciones $m$ y $m^*$. Del mismo modo, a partir de la correspondencia establecida de los dominios básicos $P \subseteq P^*$ y $T \subseteq T^*$, el vínculo conceptual requerido para la reducción ontológica podría ser expresado mediante una tipificación de la función velocidad en *MCCH* en base a los dominios $P^*$, $T^*$ y $\mathbb{R}^*$ de *MCP*: $v \in Pot(\pi_1 \langle \langle P^*, T^* \rangle \times \langle \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^* \rangle \rangle \times \pi_2 \langle \langle P^*, T^* \rangle \times \langle \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^* \rangle \rangle)$. Así, a partir de estas dos tipificaciones, para el caso de la función masa se tendría que $m \in \Theta(P^*, \mathbb{R}^*)$, es decir, $m$ es conjunto-escalón sobre $(P^*, \mathbb{R}^*)$. Y, en el caso de la función velocidad, tendríamos que $v \in \Theta(P^*, T^*, \langle \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^* \rangle)$, esto es, $v$ es conjunto-escalón sobre $(P^*, T^*, \langle \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^* \rangle)$. Es así como, la manera en la que conceptos como masa o velocidad son formalmente establecidos como conjunto-escalón sobre dominios de *MCP* $(m \in \Theta(P^*, \mathbb{R}^*)$ y $v \in \Theta(P^*, T^*, \langle \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^*, \mathbb{R}^* \rangle))$ muestra su correspondencia con más de un dominio de *MCP* lo que constituye, en términos de Moulines, un vínculo heterogéneo.

> nowledgement of the source. This work was dedicated to Newton and is an interesting guide to the scientific heritage of the seventeenth century as it was passed on to the eighteenth-century reader. (Bell, 1950, p. 116)

Manuales como los de Gravesande trasmitieron los conceptos de las teorizaciones físicas del siglo XVII al siglo siguiente (Bell, 1950, p. 109). Sin embargo, de acuerdo con Schliesser (2011, p. 109), en lo que respecta a análisis postgalileanos y postcartesianos del movimiento, el *Horologium Oscillatorium* de Huygens de 1672 es el trabajo paradigmático de este tipo antes de la publicación de los *Principia* de Newton. Y, lo mismo podría afirmarse acerca de su *De motu corporum ex percussione*[3] (en delante *De Motu*), obra en la cual aparece la versión más completa de la mecánica del choque de Huygens, en lo que respecta al análisis de los choques.

Se desconoce la fecha exacta de la versión manuscrita del *De Motu*, aunque se presume posterior a 1673. Aun así, cartas y otros manuscritos hallados muestran que su interés en formular reglas del choque que reemplacen a las de Descartes se remonta a 1652 (Hyslop, 2012).

En base a lo hasta aquí mencionado, concediendo que el análisis de la reducción ontológica supone considerar con algo más de detenimiento aspectos ligados a la semántica de algunos de los conceptos involucrados en las teorías en cuestión, y reconociendo la importancia de los aportes de Huygens para el establecimiento de la teoría de choques, es que comenzaremos por rastrear en la conceptualización de choques ofrecida por Huygens. El objetivo es poder aproximarnos a una comprensión más clara de la teoría de Huygens a fin de repreguntarnos por el vínculo que tienen los conceptos empleados por Huygens para dar cuenta de los choques con los presentes en la mecánica de partículas.

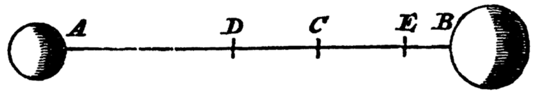
## El tratamiento de un fenómeno de choque en Huygens

Consideremos el modo en que Huygens trata un evento particular de choque. Tomaremos para ello el primero de los casos ofrecido en la *Propositio IX* del *De Motu* (p. 386) la cual enuncia lo siguiente:

> Dados dos cuerpos desiguales que chocan directamente, y dado que ambos o solo uno de ellos está en movimiento, y dada la velocidad de cada uno o de solo uno si el otro está en reposo, encuentre la velocidad por la cual cada uno se mueve después de la colisión.

Analicemos, entonces, la situación en la que dos cuerpos desiguales, A y B, chocan. Huygens lo grafica mediante una representación geométrica de las velocidades de los cuerpos involucrados en el choque (*De Motu*, Fig. 15):

[3] Esta obra se publica por primera vez en el año 1703 en su *Opúscula Postuma* a partir de una copia manuscrita corregida por el propio Huygens.



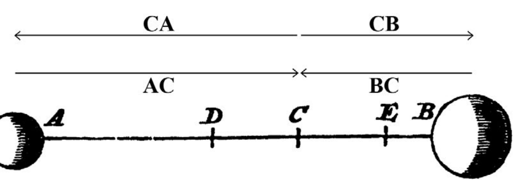

Donde A es la magnitud o tamaño del cuerpo A, B lo es del cuerpo B. D y C son los puntos en los cuales se producen los impactos según sea el marco de referencia.

El evento es tal que los cuerpos impactan entre sí en el punto D de este segmento. De modo que, antes del choque, la velocidad de A queda graficada mediante el segmento AD y la del cuerpo B mediante el segmento BD.[4] La cuestión será, entonces, establecer la velocidad con que cada uno de ellos se mueve luego del choque. Para determinarla, Huygens apela a considerar a este escenario como ocurriendo en un marco de referencia arbitrario respecto de un marco de referencia de centro de gravedad. La resolución de este problema en el marco de centro de gravedad permitirá luego obtener la velocidad adquirida por los cuerpos en el marco de referencia arbitrario supuesto.

El marco de centro de gravedad es aquel en el cual las velocidades iniciales de los cuerpos son inversamente proporcionales a sus magnitudes. En este caso, el escenario de este evento en un marco de referencia de centro de gravedad supone que los cuerpos impactan en el punto C del segmento, pues $\frac{A}{B}=\frac{BC}{AC}$.

Huygens, entonces, apela a la *Propositio VIII* (*De Motu*, p. 381) en la cual sentencia que si dos cuerpos cuyas velocidades son inversamente proporcionales a sus magnitudes chocan entre sí, entonces cada uno rebota con la misma velocidad que tenía antes de la colisión.

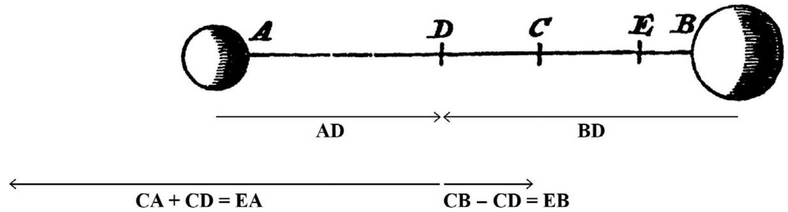
De modo que, las condiciones antes y después del impacto en un marco de referencia de centro de gravedad serán estas:




La resolución en el marco de centro de gravedad le permite resolver las velocidades posteriores al impacto en cualquier otro marco de referencia arbitrario que se mueva a una velocidad constante respecto de este marco de centro de gravedad.

Así el impacto primeramente planteado, donde el choque se produce en el punto D, ocurre en un marco de referencia arbitrario que se mueve a una velocidad constante (el segmento CD) con respecto a este marco de centro de gravedad. Tomando en cuenta las velocidades finales en este marco de centro de gravedad y aplicando el principio de transformación de velocidad galileano, Huygens concluye que la velocidad alcanzada por los cuerpos luego del impacto será:

[4] En este análisis geométrico, Huygens parece estar haciendo un tratamiento escalar de la velocidad donde cada segmento determinaría el módulo del vector velocidad.




Lo interesante aquí, sin embargo, es que mientras el evento en el marco de centro de gravedad respeta el principio de conservación de movimiento tal y como lo conocemos, es decir, concibiendo al *momentum* como el producto de la masa por la velocidad, el mismo evento, pero desde un marco de referencia arbitrario, no lo hace. Es decir, si se asume que por "magnitud" de cuerpo se está pensando en la "masa" de este, la igualdad $A.AD+B.BD=A.EA+B.EB$ no se cumple. Este resultado coindice con lo previsto por Huygens en su *Propositio VI*: "Cuando dos cuerpos chocan entre sí, la cantidad de movimiento encontrado en ambos tomados juntos antes de la colisión no siempre se conserva después de la colisión, sino que puede aumentar o disminuir" (*De Motu*, p. 378).

De ahí que, para Huygens la ley de conservación del movimiento cartesiana no se cumple en todos los casos. Lo que sí puede esperarse en todos los casos es que se cumpla la equivalencia afirmada en su *Propositio XI*:

> Si dos cuerpos chocan entre sí, y si la relación de sus magnitudes y sus velocidades se da en números o en líneas, entonces la suma de sus magnitudes multiplicadas por los cuadrados de sus respectivas velocidades es igual antes y después de la colisión. (De Motu, p. 389)

Es decir, puede constatarse que, en el choque ejemplificado, tanto desde un marco de referencia de centro de gravedad como desde cualquier marco de referencia arbitrario que se mueva a una velocidad constante respecto de este, se cumple que $A.(AD)^2 + B.(BD)^2 = A.(EA)^2 + B.(EB)^2$. Esta ecuación es la que hoy formaliza a la ley de conservación de energía cinética. Sin embargo, no tiene esas pretensiones en la conceptualización de los choques de Huygens. El objetivo, parecería más bien, encontrar un modo en que pueda tomarse en cuenta el sentido de las velocidades de los cuerpos, pero evitando los valores negativos. Estas ecuaciones datan de notas manuscritas y cálculos realizados por Huygens en 1652, en el intento por probar algebraicamente los desaciertos en las reglas del choque de Descartes. Los cálculos en esos manuscritos sugieren que Huygens era reacio a aceptar la existencia de velocidades negativas (Hyslop, 2012) y de allí el recurso de elevar al cuadrado las velocidades.

## Conclusiones

A modo de resumen, hasta aquí nos hemos ocupado de la originalmente asumida aproblemáticidad de las reducciones de tipo homogéneas. Lo hemos hecho a partir de analizar con algo más de detalle la relación de entre la mecánica del choque y la mecánica de partículas. Hemos expuesto cómo este ejemplo es capturado por el análisis estructuralista, a partir del cual se ha mostrado que el mismo cumple las condiciones para ejemplificar una reducción ontológica homogénea pura. Por otro lado, hemos mostrado cómo, desde una reformulación de la condición de reducción ontológica en términos de subestructuras parciales escalonadas se hace posible considerar de un modo más preciso el vínculo ontológico de todo el marco conceptual. Sin embargo, desde el marco de esta reformulación, el caso en cuestión ya no podría ser considerado un ejemplo de reducción homogénea pura, sino mixta. Hemos visto cómo los conceptos que resultan interesantes para analizar en este caso son los de masa y velocidad.

En el camino de búsqueda de una respuesta a estas diferencias, hemos creído conveniente comenzar a rastrear el modo en que se entienden estas magnitudes en la mecánica del choque de Huygens, considerándola la sistematización más importante de la teoría de choques prenewtoniana. A partir de la exposición de cómo Huygens resuelve un caso concreto de choque, tenemos razones para sospechar que su modo de entender la magnitud de un cuerpo es la de peso y no la de masa. Esto ya conllevaría problemas para establecer la reducción formal, dado que la misma se supone también en lo que respecta a las condiciones de ligadura de los conceptos. Y, en este caso, la condición de ligadura de invariancia que se impone sobre la masa no vale en el caso del peso. En lo que respecta a la velocidad, debería revisarse el modo en que hasta ahora se ha establecido el vínculo entre la hasta ahora presumida velocidad escalar de la mecánica del choque con la velocidad vectorial de la mecánica de partículas, dado que lo antes visto hace pensar que Huygens tiene ya una idea de velocidad que supone de algún modo el sentido del movimiento.

Por supuesto, muchas de las respuestas a las cuestiones aquí planteadas y sugeridas exigen un análisis más completo que excede los límites de este trabajo. Nos contentamos aquí con haber enumerado razones que permitan hacernos revisar los presupuestos asumidos acerca de las reducciones homogéneas en general, y acerca de la reducción de la mecánica del choque a la mecánica de partículas en particular.

## Bibliografía


Balzer, W. (1982). *Empirische Theorien: Modelle, Strukturen, Beispiele.* Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-663-00169-0

Balzer, W. (1985). Incommensurability, Reduction and Translation. *Erkenntnis*, *23*(3), 255-267. https://doi.org/10.1007/BF00168293

Balzer, W., & Mühlhölzer, F. (1982). Klassische Stoßmechanik. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, *13*, 22-39. https://doi.org/10.1007/BF01801183

Balzer, W., Moulines, C. U., & Sneed, J. D. (1987). *An Architectonic for Science. The Structuralist Program.* Reidel. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3765-9

Bell, A. (1950). *Christian Huygens and The Development of Science in the Seventeenth Century*. Edward Arnold & Co.

Gravesande, W. J. (1747). *Mathematical Elements of Natural Philosophy*. Pater-Nofter-Row.

Huygens, C. (1703). *De motu corporum ex percussione*. En *Opuscula Postuma*, Cornelius Boutesteyn. Christiaan Huygens' The Motion of Colliding Bodies [1977] (R. Blackwell, Trad.). *Isis*, *68*(4), 574-597. https://doi.org/10.1086/351876

Hyslop, S. (2012). Algebraic Collisions. Challenging Descartes with Cartesian Tools. *Foundatios Sciences*, *19*, 35-51. https://doi.org/10.1007/s10699-012-9313-8

Kemeny, J. G., & Oppenheim, P. (1956). On Reduction. *Philosophical Studies*, *7*(1-2), 6-19. https://doi.org/10.1007/BF02333288

Moulines, C. U. (1984). Ontological Reduction in the Natural Sciences. In W. Balzer, D. A. Pearce & H. J. Schmidt (Eds.), *Reduction in Science: Structure, Examples, Philosophical Problems* (pp. 51-70). Reidel. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6454-9_5

Moulines, C. U. (1985). Tipología axiomática de las teorías empíricas. *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, *17*(51), 41-69. https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.1985.587

Nagel, E. (1935). The Logic of Reduction in the Sciences. *Erkenntnis*, *5*(X), 46-52. https://doi.org/10.1007/BF00172282

Nagel, E. (1949). The Meaning of Reduction in the Natural Sciences. In R. C. Stouffer (Ed.), *Science and Civilization* (pp. 99-135). University of Wisconsin Press.

Nagel, E. (1961). *The Structure of Science. Problems in the Logic of Explanation*. Harcourt, Brace & World, Inc.

O'Lery, M. (2018). Reducción y estructuralismo. *Perspectivas*, *3*(2), 121-137. https://doi.org/10.20873/rpv3n2-42

O'Lery, M. (2023). Ontological reduction: the reduction of Classical collision mechanics to Classical Particle Mechanics. In C. Abreu (Ed.), *Philosophy of Science in the 21st Century. Contributions of Metatheoretical Structuralism* (En prensa). NEL/UFSC.

Schliesser, E. (2011). Newton's Challenge to Philosophy: A Programmatic Essay. *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, *1*(1), 101-128. https://doi.org/10.1086/658906