

LAS REGLAS DEL IMPACTO: DESCARTES Y CLARKE

RULES OF IMPACT: DESCARTES AND CLARKE

RAMIRO CEBALLOS MELGUIZO

Universidad de Pamplona, Colombia. ramirocem@yahoo.es

RECIBIDO EL 21 DE JULIO DE 2014, APROBADO EL 26 DE SEPTIEMBRE DE 2014

RESUMEN ABSTRACT

Las reglas del impacto son dispositivos teóricos formulados por Descartes para determinar cómo los cuerpos aumentan, disminuyen o desvían sus movimientos por el choque con otros. Tales reglas aparecen claramente formuladas en *Los principios de la filosofía* de 1644. El objetivo del presente artículo es analizar la forma en que se establecen dichas reglas mediante la aplicación de la tercera ley de la naturaleza. El contexto en el cual se enmarca este análisis está representado por las discusiones en torno a la interpretación de las relaciones entre física y metafísica en la obra cartesiana.

The impact rules are theoretical devices conceived by Descartes to determine how bodies increase, decrease or veer their movements, due to the strike with others. Such rules are visibly formulated in *The Principles of Philosophy* in 1644. The focus point of this article is to analyze how the mentioned rules are established through the application of the third law of nature. The context in which this analysis is framed is represented by the arguments around the interpretation of the relations between physics and metaphysics in the Cartesian work.

PALABRAS CLAVE KEY WORDS

Clarke, Descartes, física, inercia, metafísica, reglas del choque.

Clarke, Descartes, physics, inertia, metaphysics, rules of crash.

En *El mundo. Tratado de la luz*, de 1633, Descartes (1989) había hecho ya una referencia a las reglas del choque o reglas del impacto¹. Tales reglas aparecerán claramente formuladas en *Los principios de la filosofía* de 1644, a título de dispositivos para determinar cómo los cuerpos aumentan, disminuyen o desvían sus movimientos por el choque con otros.

En *Los principios de la filosofía*, Descartes (1995) sostiene que dichas reglas están contenidas en la tercera ley de la naturaleza². La forma de establecer estas reglas mediante la aplicación de dicha ley constituye el objetivo central de este artículo. El contexto en el cual se enmarca este análisis de las reglas del choque está representado por las discusiones en torno a la interpretación de las relaciones entre física y metafísica en la obra cartesiana. Una discusión semejante la ha realizado con detalle y brillantez Desmond Clarke en su obra *La filosofía de la ciencia de Descartes*. Al final hago algunas consideraciones al respecto, manteniéndome en la órbita de la interpretación de Clarke.

El propósito concreto de Clarke al exponer detalladamente el razonamiento cartesiano sobre las reglas del choque es aportar pruebas y argumentos en torno al papel de la experiencia en la ciencia cartesiana. Se trata de una formulación en apariencia novedosa que constituye una crítica a ciertas versiones tradicionales que ponderan en forma exagerada, y en cierto modo ingenua, el alcance de la razón en la constitución de los conceptos físicos de Descartes. En términos generales Clarke está desmontando la idea, cuya pervivencia en los estudios cartesianos no entraremos a juzgar aquí, de que la física cartesiana se deduce de su metafísica, entendiendo por deducción la derivación lógicamente estricta de sus proposiciones en física a partir de unos principios autoevidentes defendidos en su filosofía como principios metafísicos³.

El análisis de Clarke, que apunta a la relación de las reglas con las leyes de la naturaleza, es suficientemente ilustrativo cuando se trata

¹ Hacia el final del capítulo séptimo dice: "aún podría introducir varias reglas para determinar en particular cuándo, y cómo, y en qué cantidad, el movimiento de cada cuerpo puede ser desviado, aumentado o disminuido por el encuentro con otros: lo cual comprendería sumariamente todos los efectos de la naturaleza" (*El mundo* 127-9).

² "Las causas particulares de los cambios que acontecen a los cuerpos, están todas comprendidas en esta regla, al menos, aquellas causas que son corporales" (*Los principios* 102).

³ En la primera parte de *Los principios de la filosofía* Descartes compendia los principios metafísicos, pero también epistemológicos que conforman sus hallazgos filosóficos, especialmente en sus *Meditaciones metafísicas*. Estos principios no son únicamente el conocimiento de Dios y del alma, sino también aquellas nociones o axiomas primeros que son conocidos mediante la luz natural de la razón.

de comprender las nociones básicas de la física cartesiana relativa a los impactos de los cuerpos; ello constituye una etapa importante en su defensa del empirismo de Descartes, de la cual me voy a valer aquí en mi propósito de presentar esta relación concreta de las reglas del choque y su vínculo con las leyes de la naturaleza.

Las leyes y las reglas

La física cartesiana se presenta como un abordaje de la naturaleza basado en la construcción de modelos teóricos a partir de los cuales se pueden generar explicaciones de las apariencias inmediatas, es decir, de los fenómenos. Dichos modelos se construyen a través de conceptos mecánicos y geométricos que describen los comportamientos de las partes materiales del mundo.

La verdad de dichos modelos se establece de acuerdo con su capacidad explicativa (Cf. Turró 15) y no ya conforme al testimonio de los sentidos. Este rasgo del racionalismo se ha convertido en axioma del proceder moderno de las ciencias naturales. Otra cosa diferente es la pretensión de derivar la explicación de todos los fenómenos a partir de la razón pura, sin necesidad del recurso a la experiencia. Esta pretensión del racionalismo no tiene ya adeptos. Sin embargo, Descartes creía en buena medida en este ideal de explicación racional pura.

Su física, independientemente de cuáles hallazgos puntuales se le reconozcan como propios y cuán arcaicos resulten hoy en términos del saber positivo vigente, es sin duda un modelo representativo de la mayor significación en términos de lo que la ciencia moderna exige como procedimiento de elaboración explicativa de la realidad natural y concretamente física, destacándose en ella el aspecto de elaboración hipotético-deductivo. En efecto, con su perspectiva racionalista estricta, Descartes “rompe con la ciencia inductivo-cualitativa y la ontología substancialista a ella subyacente, y echa los cimientos de lo que constituirá [...] la base epistemológica sobre la que se asienta el proceder constructivo de la nueva ciencia” (Turró 16).

En *El mundo. Tratado de la luz*, Descartes inicia su proyecto de construcción de un modelo físico del mundo siguiendo el ideal de relacionar deductivamente los cimientos metafísicos con las explicaciones de los fenómenos (Cf. Clarke 98). Concretamente, en el capítulo 6 se inicia esta construcción con la postulación de la materia en el espacio, sin atribuirle

ninguna cualidad o propiedad metafísica aparte de las cualidades simples de tamaño forma y movimiento (Cf. Clarke 102).

Las propiedades mencionadas son constitutivas de la materia y Dios la crea con ellas juntamente. Una vez creada la materia, Dios le impone unas leyes o reglas de acuerdo con las cuales se desenvuelve y conduce para producir el mundo en su variedad fenoménica. La índole de esta acción creativa de Dios se supone idéntica a su acción de conservación. Dios no interviene caprichosamente en el mundo, sino que lo crea en un acto inicial que se debe entender como atemporal a partir del cual el universo continúa una marcha autónoma, conduciéndose como un orden subsistente que se rige en todos los detalles por estas prescripciones que son accesibles a nuestra razón⁴.

Las leyes que Dios impone de entrada a la materia, según Descartes (1989), son tres:

cada parte de la materia en particular permanece siempre en un mismo estado mientras el encuentro con otras no le obliga a cambiarlo. (*El mundo* 111)

Cuando un cuerpo impele otro, no puede darle ningún movimiento si él no pierde simultáneamente igual cantidad del suyo, ni restarle si el suyo no aumenta en igual cantidad. (Ibíd. 117)

Cuando un cuerpo se mueve, aunque su movimiento se haga con frecuencia en línea curva y aunque no pueda efectuarse ninguno que no sea circular en cierto sentido [...] no obstante cada una de sus partes en particular tiende siempre a proseguir el suyo en línea recta. (Ibíd. 123)

En *Los principios de la filosofía* Descartes (1995) formula de nuevo estas leyes con leves cambios e invirtiendo el orden de la segunda y tercera ley:

cada cosa permanece en el estado en que está mientras que nada modifica ese estado. (*Los principios* 97)

⁴ “El recurrir a Dios se convierte en la premisa necesaria o condición de posibilidad que dota de sentido y validez al mundo existente. Una vez satisfecha esta exigencia, la acción divina es innecesaria para explicar el complejo entramado de las relaciones fenoménicas” (Benítez “Descartes” 9).

Todo cuerpo que se mueve tiende a continuar su movimiento en línea recta. (*Los principios* 100)

[...] si un cuerpo en movimiento choca con otro más fuerte que él, no pierde nada de su movimiento; ahora bien, si encuentra otro más débil y que puede mover, pierde tanto movimiento como comunica al otro. (Ibid. 101)

Esta tercera ley, la segunda según *El mundo*, aunque se la puede llamar ley de la conservación del movimiento (Cf. Clarke 230), es más propiamente una ley de la transmisión del mismo (Cf. Benítez, “Descartes” 12) o, simplemente, una ley del choque (Cf. Lorenzano *et al.*) que se relaciona con un principio metafísico de conservación de la cantidad del movimiento, derivado de la inmutabilidad de la acción de Dios (Cf. Descartes, *Los principios* Cap. VII). De esta ley, dice Descartes, se deducen las reglas del choque (las cuales se explicitan en el texto de 1644, siendo 7 en total). Para facilitar la comprensión del análisis de estas reglas adoptaré la formulación que hace Clarke de ellas, lo mismo que la terminología con la que describe y organiza las propias leyes, como se verá a continuación.

La reescritura de Clarke

En la terminología de Clarke se considera la siguiente formulación de las tres leyes naturales, a la que el autor denomina “traducción de partes relevantes de las leyes de la naturaleza” (219). A ellas se refiere con la denominación P3-P5. P₁ y P₂ corresponden a dos principios físicos igualmente importantes en la ciencia de Descartes. P₁ afirma que la esencia de la materia es la extensión y P₂ indica que son 3 los tipos de partículas elementales y que sus diferencias se reducen a los aspectos de tamaño figura y movimiento. Ambos son enunciados por Clarke en una lista que comprende otros 3, justamente las tres leyes naturales, y que el autor establece como principios físicos F1-F5 (94). El cambio de denominación P1-P5 obedece a que ahora los llamará postulados. Estas son las tres leyes naturales que enuncia Clarke, remitiéndose a los *Principios*:

P3: cualquier cosa, en tanto que simple e indivisa, permanece en la misma condición tanto como sea, y no cambia jamás sin la intervención de causas externas.

P4: ninguna porción de materia, considerada por sí misma, tiende a mantener su movimiento en línea curva, sino en línea recta; aunque [...] debido al contacto con otras partículas [...] en todo movimiento hay algún tipo de curva creado por todas las partículas de materia que se mueven simultáneamente.

P5: cuando un cuerpo en movimiento choca con otro, si posee menos fuerza para continuar en línea recta que el otro para resistírsele, entonces sufre una deflexión hacia una dirección distinta y, aunque retiene su movimiento, pierde su determinación de movimiento; en el caso de que posea una fuerza mayor, entonces movería, a su vez, al otro cuerpo y perdería tanto de su movimiento propio como le fuera transferido al otro cuerpo⁵.

Con respecto a las reglas de choque Clarke ha hecho una abreviación del texto de Descartes, que aparece en *Los principios de la filosofía*, y adopta una terminología que simplifica y aclara el tema⁶. Nos permitimos citar en extenso esta abreviación, con la cual emprenderemos luego el análisis de las reglas. Dice el autor:

consideremos dos cuerpos, B y C, que se mueven con velocidades iniciales V_b y V_c antes de colisionar. Después del impacto entre ambos sus velocidades son V_b' V_c' . El símbolo Q [...] se empleará para referirse a lo que Descartes denomina tamaño o cantidad de materia de un cuerpo. Según esta terminología las reglas del choque se escribirían como sigue:

R1: Si $Q_b = Q_c$, y si B y C se mueven en sentidos opuestos, serán reflejados tras el impacto sin ningún cambio en su velocidad.

R2: Si $Q_b > Q_c$, y si el resto de las condiciones son las mismas que en el caso anterior, entonces los dos cuerpos viajarán en el sentido inicial de B sin ningún cambio en la velocidad.

⁵ En el texto de *Los principios*, que hemos usado, las leyes citadas aparecen en los párrafos 37, 39 y 40, respectivamente.

⁶ Otro modo de presentar las reglas del choque es la de Lorenzano *et al.* (2008), quienes las clasifican como tres casos especiales, según las peculiaridades de sus movimientos.

R3: Si $Q_b = Q_c$, $V_b > V_c$, y si B y C se mueven en sentidos opuestos, entonces ambos cuerpos viajarán en la dirección de B después de colisionar, y $V_b' = V_c'$.

R4: Si $Q_b < Q_c$, y si $V_c = 0$, entonces B será reflejado siempre al colisionar con C sin importar cuál fuera la velocidad inicial de ambos, y $V_b = V_b'$.

R5: Si $Q_b > Q_c$, y el resto de las condiciones son las mismas que en R4, entonces tanto B como C se moverán en la dirección inicial de B tras el impacto, y $V_b' = V_c'$.

R6: Si $Q_b = Q_c$, y persisten las mismas condiciones que en R4, entonces B será reflejado al impactar sobre C, y C comenzará a moverse en la dirección inicial de B; $V_c' = 1/4V_b$ y $V_b' = 3/4V_b$.

R7: Si B y C se mueven en la misma dirección y B sigue a C de modo que $V_b > V_c$, entonces tenemos tres posibilidades

I) Si $Q_c < Q_b$, o si $Q_c > Q_b$ y $Q_c/Q_b < V_b/V_c$, entonces B y C continuarán moviéndose en la misma dirección inicial tras el choque, y $V_b' = V_c'$;

II) Si $Q_c > Q_b$, y $Q_c/Q_b > V_b/V_c$, entonces B será reflejado al impactar con C, y mantendrá su movimiento original por completo;

III) Si $Q_c > Q_b$, y $Q_c/Q_b = V_b/V_c$, entonces B transferirá parte de su movimiento a C al impactar, y será reflejado con el resto de su movimiento inicial.
(220-21)

Descripción y análisis de las reglas

Para determinar cómo los cuerpos varían sus movimientos, a través de la aplicación de P_5 , es decir, mediante la tercera ley de la naturaleza, Descartes dice que basta con calcular "cuánta fuerza hay en cada uno de estos cuerpos, bien para mover, o bien para resistir el movimiento

porque es evidente que el que posee mayor fuerza, siempre debe de producir su efecto *e impedir el efecto del otro*" (*Los principios* 105).

Para llevar a cabo esto, es necesario aclarar primero el concepto cartesiano de fuerza. Este concepto está relacionado con la posibilidad de calcular la cantidad de materia de un cuerpo tanto si está en reposo como si está en movimiento. A juicio de Clarke, Descartes no distingue entre masa y materia o entre masa y peso y, puesto que describe la materia en términos de extensión, se excluiría de su teoría cualquier distinción entre cuerpos más o menos densos. Sin embargo, Descartes alude repetidamente en su obra a la densidad y solidez relativa de los cuerpos. La noción cartesiana de la densidad no puede construirse a partir de su concepto de materia, pues no hay en él ninguna pista *a priori* de los tipos de partículas que conforman la materia, ni de su forma o tamaño (Cf. Clarke 222-3).

La noción de densidad se reduce en Descartes a una imagen operativa cuyo modelo es la esponja (Ibíd. 222-3). Los cuerpos son más densos mientras menos esponjosos sean, es decir, mientras menos intersticios posean rellenos de partículas de cierto tipo, las cuales se deben suponer como menos densas. Esta noción es de todas maneras insuficiente cuando se trata de calcular la cantidad de materia de los cuerpos. Es, más bien, una hipótesis para salirse del atolladero al que lo conduce la idea de materia como extensión, es decir, a un mundo de una sola materia de densidad uniforme (Ibíd. 224).

Aunque el concepto de densidad resulta muy problemático, Descartes puede suponer sin ningún problema que los cuerpos poseen mayor cantidad de materia, ya sea por tener tamaños mayores o por ser más sólidos. La cantidad de materia tampoco es determinable por el peso. Descartes define el peso como la fuerza que un cuerpo ejerce en su movimiento hacia el centro de la tierra, al igual que es función de la cantidad de materia, del tamaño y de la resistencia del medio. En efecto, en una carta a Mersenne, del 23 de febrero de 1643, Descartes escribe:

si dos cuerpos recorren la misma distancia en el mismo tiempo, decimos que tienen la misma velocidad; pero si uno de los dos posee más materia, ya sea por su tamaño o solidez, entonces precisará más fuerza para alcanzar la misma velocidad que el otro. (Ibíd. 224)

Así, la cantidad de materia de un cuerpo sería proporcional a su volumen y solidez. Consecuentemente, la solidez de un cuerpo, su tamaño, su velocidad y la resistencia que oponen los otros cuerpos a su paso determinan la fuerza que puede ejercer al chocar con otros (Cf. Clarke 225).

A la hora de calcular esta fuerza hay que considerar la cantidad de movimiento, que depende de la cantidad de materia y de la velocidad (Ibíd. 225). Pero la relación entre fuerza y movimiento depende también del área de la superficie del cuerpo, así como de otras condiciones circunstanciales, como rugosidades del terreno, efectos del viento, entre otras. Descartes (1995) propone, entonces, unas condiciones ideales para la aplicación de las reglas del choque. Se trata, evidentemente, de aislar ciertas variables para controlar y medir mejor. En estas condiciones ideales tendremos que la fuerza dependerá exclusivamente de la cantidad de materia y de la velocidad (Cf. *Los principios* 105).

Siendo Q la cantidad de materia de un cuerpo y V su velocidad, QV sería su cantidad de movimiento. La fuerza de un cuerpo es proporcional a su cantidad de movimiento, es decir, fuerza = materia x velocidad. Sin embargo, para poder aplicar P5 a las distintas colisiones entre cuerpos, que sería lo único necesario de hacer en estas condiciones ideales, es preciso medir la fuerza con la que los cuerpos en reposo se resisten al movimiento. A un cuerpo en reposo no puede calcularse la fuerza por su mero peso. Para medir esta fuerza es preciso un método. Clarke reconstruye el proceso mental que habría seguido Descartes para ello, suponiendo este razonamiento: para mover dos cuerpos, M y N , con cierta velocidad S , es obvio que será necesaria más fuerza para mover el que posea mayor cantidad de materia o mayor superficie. Si ambos se mueven tras el impacto con una velocidad S , y M posee más materia que N , entonces M tiene mayor fuerza motriz. Ya que M solo puede haber adquirido su fuerza al inicio por lo que, de acuerdo con P3, tenderá a conservar intacta su fuerza siendo necesaria una fuerza inicial mayor para moverlo en comparación con N . Pero si M tiene mayor superficie, hallará mayor resistencia del medio; para compensar esto necesita mayor fuerza de impulsión para mantener la misma velocidad que N . A este primer tipo de resistencia Descartes lo denomina inercia natural del cuerpo. El segundo tipo de resistencia depende del medio en el que se mueve el cuerpo, aunque representa tan solo parte de la inercia que existe cuando un cuerpo pasa de la condición de reposo a la de movimiento o viceversa (Cf. Clarke 227).

En las condiciones ideales establecidas por Descartes solo es importante la llamada inercia natural. Así, queda establecido que la fuerza de un móvil para continuar su movimiento en línea recta es función de su velocidad y cantidad de materia; y la fuerza 'inercial' de un cuerpo para resistirse es función de su cantidad de materia y de la velocidad adquirida en caso de ser impulsado por otro (Cf. Clarke 228).

Además, debe tenerse en cuenta la dirección en que actúan estas fuerzas. Descartes (1995) menciona la oposición de movimientos en dos sentidos: cuando hay oposición de velocidad y cuando la oposición es de direcciones; en este último caso habla de determinación (Cf. *Los principios* 104)⁷.

El propósito de las reglas del choque es proporcionar un procedimiento para calcular el resultado de movimientos opuestos. En las tres primeras reglas las determinaciones (direcciones) son contrarias; en las cuatro reglas restantes se oponen las velocidades (Cf. Clarke 229). Clarke afirma en este punto que, como consecuencia del análisis cartesiano acerca de la fuerza necesaria para impulsar móviles de distinta cantidad de materia, en concordancia con la ley de conservación del movimiento y con sus aclaraciones acerca de la oposición de movimientos podemos pensar que lo único que falta es aplicar P5 a las distintas situaciones planteadas en las reglas (Ibíd. 230).

Para facilitar la aplicación de P5 Clarke lo descompone en dos teoremas:

T1: en toda colisión el cuerpo con mayor fuerza de movimiento o mayor inercia natural es el que predomina⁸.

$$T2: QbVb + QcVc = QbVb' + QcVc'$$

El principio de conservación del movimiento del sistema se expresa por este segundo teorema, que puede leerse como: la suma de las fuerzas iniciales es igual a la suma de las fuerzas finales (Ibíd. 230). Aplicando estos dos teoremas se procede a derivar las reglas cuyos resultados se pueden describir así:

⁷ "[...] hay dos formas de contrariedad. A saber, la que se da entre el movimiento y el reposo o bien entre la velocidad y la lentitud del movimiento [...]; por otra parte, la que se da entre la determinación que un cuerpo tiene a moverse hacia cierto punto y la resistencia que oponen los otros" (*Los principios* 104).

⁸ El predominio significa dos cosas: (i) que un cuerpo obliga a otro a cambiar la dirección del movimiento; y (ii) que lo obliga a aumentar su velocidad de movimiento o a comenzar a moverse si estaba en reposo (Cf. Clarke 230).

Regla 1: en este caso ni el cuerpo B ni el cuerpo C tienen una más fuerza que el otro, pues tienen igual tamaño e igual velocidad. De acuerdo con T1 ninguno predominará. De acuerdo con T2 deben mantener sus velocidades iniciales para que el sistema total no pierda movimiento.

Regla 2: el cuerpo B tiene mayor tamaño (cantidad de materia), por tanto, tiene mayor medida de movimiento; tras el choque con C continúa moviéndose en la dirección inicial. C es reflejado, pero conserva su velocidad, por lo cual no obstaculiza el movimiento de B y este, en consecuencia, no necesita transferirle movimiento.

Regla 3: aquí V_b es mayor que V_c y ambos cuerpos tienen la misma cantidad de materia. B tiene, entonces, más fuerza que C y predominará de acuerdo con T1; pero si esto fuera todo, C se movería por delante de B con velocidad inferior a la de B, por lo que obstaculizaría el paso de este, haciendo que el T1 no se cumpliera. B debe transferir parte de su movimiento a C, lo que permite que ambos se muevan en la dirección inicial de B⁹.

Regla 4: para esta regla, lo mismo que para la Regla 6, Descartes dio soluciones distintas. Una de ellas es la versión que aparece en los *Principios* y la otra aparece en la correspondencia (Cf. Clarke 231). La regla 4 se aplica en el caso de que C esté en reposo, B se mueva hacia C con cierta velocidad V_b , y Q_b sea menor que Q_c .

Solución a: si seguimos la misma línea argumental que dicta P5, entonces B debe transferir parte de su movimiento a C y los dos cuerpos continuarán la marcha en la dirección inicial de B. Si la velocidad de B es suficientemente grande y la diferencia entre la cantidad de materia de B y C no lo es tanto, la experiencia muestra que los dos cuerpos se mueven tras el impacto en la misma dirección de B. Aplicando el mismo raciocinio de la regla 3 ambos cuerpos tendrán la misma velocidad final (Ibíd. 232).

Descartes resume la solución para estas condiciones en una carta a Mersenne del 25 de diciembre de 1639. Se trata de una interpretación

⁹ Clarke dice que la mínima cantidad de movimiento que B transfiera basta para que ambos se muevan en la misma dirección (231). Esto, sin embargo, no es del todo exacto puesto que el movimiento que B debe transferir a C para igualar las cantidades de movimiento ha de ser la mitad de la diferencia inicial.

posible de la aplicación de P5 en la que se mantiene la idea, contenida en el teorema 1, de que para determinar las consecuencias de estas colisiones se debe tener en cuenta solo la fuerza del cuerpo en movimiento y la fuerza inercial del cuerpo en reposo, pues siempre sucederá que el primero, generalmente, transfiere parte de su movimiento al segundo, para luego moverse juntos con igual velocidad (Cf. Clarke 232). Pero es lógico también imaginar un quiebre de este teorema cuando la inercia de C prevalezca sobre la fuerza de movimiento de B y este sea reflejado en el choque (Ibíd. 232).

Esta otra solución (*solución b*) es la que aparece en *Los principios* y fue enunciada así:

si el cuerpo C fuera de dimensiones superiores al cuerpo B [...] y si el cuerpo C se encontrara en reposo absoluto [...] sea cual sea la velocidad con la que el cuerpo B pudiera alcanzar a C, nunca tendría fuerza para poner a C en movimiento. Por el contrario, el cuerpo B sería lanzado hacia el mismo lado del que había procedido. (*Los principios* 106)

La razón por la cual Descartes adopta esta solución para las reglas 4 y 6 es la siguiente: si B transfiere la cantidad de movimiento necesaria para que C se mueva, la cantidad de movimiento que le queda a B puede llegar a ser menos de la mitad de su valor inicial. En este caso, C tendría una inercia natural mayor para oponerse al movimiento que la fuerza de B para predominar en la colisión. En este sentido contradiría el teorema 1 de P5. Como la inercia, en tanto que fuerza, depende de la velocidad que el móvil pueda alcanzar al ser impulsado, C tendría mayor inercia a medida que aumenta la velocidad de B; por eso el cuerpo de menor tamaño siempre será reflejado.

Clarke se pregunta por qué el cuerpo B no puede perder más de la mitad de su propia fuerza. Y halla una posible respuesta en la hipótesis supuesta por Descartes de que las reglas dependen de un principio (ciertamente no contenido en P5), según el cual el cambio que ocurre en los choques entre cuerpos será siempre el mínimo posible; por ello es que en el caso de la regla 4 el cuerpo B cambia de dirección en lugar de perder más de la mitad de su movimiento. Esto es, que el cambio de dirección está más de acuerdo con un principio nuevo que sería el principio de acción mínima (Cf. Clarke 236-7).

Regla 5: en este caso, donde $V_c = 0$ y Q_b es mayor que Q_c , B moverá a C transfiriéndole suficiente movimiento para hacer que ambos se muevan tras el impacto con igual velocidad. Como Q_c es menor que Q_b , la cantidad final de movimiento de C es menor que la mitad de la cantidad inicial de B. Por tanto, C tiene menor fuerza inercial para resistirse al movimiento en relación con la fuerza de B para causarlo. Y la velocidad final de B y C se determina por la aplicación del teorema 2 (Cf. Clarke 237).

Regla 6: en el caso de la primera solución, las condiciones son las mismas que las de la regla 4, excepto que $Q_b = Q_c$. En este caso B transfiere la mitad de su cantidad de movimiento inicial a C y ambos se moverán en la dirección inicial de B, con $\frac{1}{2}$ de la velocidad inicial de B. La segunda solución implica los mismos razonamientos aplicados en el caso de la regla 4. La solución sería, entonces, que B transfiera tan solo un cuarto de su movimiento a C y que sea reflejado con $\frac{3}{4}$ de su velocidad inicial (Ibíd. 237).

Regla 7: las primeras dos partes de esta regla tienen estas peculiaridades. La primera es un análogo de la regla 4 donde se restringe la ley que implica la reflexión del cuerpo con menor cantidad de materia. La segunda hace prevalecer la inercia (como en 4) y el cuerpo B, por ser menor y tener un exceso de velocidad inferior al exceso de tamaño correspondiente a C, será reflejado por completo. La tercera posibilidad es la siguiente: que C sea mayor que B y que el cociente de las cantidades de materia sea igual al cociente de las velocidades. En este caso se aplican, por analogía, los resultados de la regla 6 (Ibíd. 238).

En este análisis es remarcable cómo Descartes introduce una hipótesis auxiliar, a saber, el principio de acción mínima, para los casos de las reglas 4 y 5, lo cual le ayuda a “especificar cuándo la inercia de un cuerpo en reposo es mayor que la fuerza de un cuerpo que choca con él” (Ibíd. 238). Esto basta para mantener el argumento de Clarke según el cual tampoco las reglas del choque son deducidas de las leyes, del mismo modo que tampoco las leyes mismas se deducen de los principios metafísicos¹⁰, específicamente de la idea de Dios y de la característica de su actuar, como en muchos puntos sostiene Descartes. Esto significa que una deducción lógicamente estricta de las reglas a partir de la tercera

¹⁰ Una presentación de los argumentos y de las referencias acerca de este asunto se hallan en el capítulo 4 del texto de Clarke que hemos venido comentando.

ley no es defendible. Pero también es claro que una derivación de las reglas del choque es imposible sin contar con las leyes como principios.

El estatuto de las reglas es, pues, el de “esbozos de cómo es posible aplicar las leyes de la naturaleza a problemas específicos dentro de la dinámica” (Clarke 240). En este punto, el citado autor señala también que el carácter hipotético de estas reglas se extiende a la condición misma de las leyes de la naturaleza, que serían “hipótesis muy generales, las cuales se encuentran en concordancia con nuestra experiencia de los fenómenos físicos simples” (Ibíd. 240).

Una discusión detallada de las ideas de Clarke tendría que contar con una evaluación cuidadosa del carácter fáctico o contraexperimental de estas reglas. Aquí no se abordará la cuestión y solo apuntaré algo que podría ser pertinente en caso de acometerse una tarea como esa: Clarke afirma que el concepto de inercia es el corolario que se desprende del análisis de la fuerza de un cuerpo en reposo como relativa a la cantidad de movimiento adquirible tras el impacto (Ibíd. 227). Esto resulta desconcertante, pues es gracias a la aplicación de la tercera ley de la naturaleza que un análisis como ese es posible; el propio autor afirma la necesidad de contar con dicha ley en el análisis. La pregunta que surge como consecuencia sería: ¿qué tipo de inercia es la que se deduciría de este análisis si en él ya se está contando con el enunciado P3, del cual es parte esencial el concepto de inercia? Es posible que se trate de una exageración que sintoniza muy bien con su énfasis y justifica la tesis de que la metodología cartesiana cuenta en medida suficiente con la experiencia.

La idea que Descartes se forja del mundo material se basa en la reducción y homogenización del universo y en la búsqueda de una explicación ordenada para la diversidad de los fenómenos, sobre la base de su unidad material y remitiendo la explicación de su variedad a los aspectos meramente cuantitativos (Cf. Benítez “La filosofía” 42). Efectivamente, el mundo creado por el Dios cartesiano no es el mundo “multiforme, lleno de colorido y cualitativamente determinado [...] de nuestra experiencia y vida diarias [...] sino un mundo matemático estrictamente uniforme, un mundo de geometría hecha realidad...” (Koyré 98)¹¹.

¹¹ “[...] es preciso, pues, admitir que hay cosas corporales existentes. Sin embargo, no son enteramente tal como las percibimos por los sentidos, pero todas las cosas que yo percibo clara y distintamente, comprendidas en el objeto de la geometría, existen verdaderamente” (*Meditaciones* 85). Aquí está expresado el rasgo básico de la nueva ciencia natural moderna, la cual, aunque se desarrolla abandonando la experiencia, se convierte en la clave capaz de descifrarla (Cf. Blanché 74).

Con igual énfasis mantuvo la idea de derivación deductiva de las leyes físicas a partir de la metafísica y concretamente a partir de la idea de Dios. Este modelo interpretativo no se corresponde con lo que hoy se entiende por deducción. No obstante, también es cierto que fue ese énfasis deductivo el que le da el sello de modernidad a su filosofía de la naturaleza. Descartes coincide con Galileo, el otro gran pionero del moderno espíritu científico, en la exigencia de un conocimiento preciso de la naturaleza mediante nociones rigurosamente inteligibles; sin embargo, mientras Galileo acentúa el carácter experimental de la nueva ciencia, lo mismo que la precisión cuantitativa, Descartes subraya el carácter demostrativo, insistiendo en la evidencia de las razones y en su encadenamiento deductivo (Arango 268).

Este ideal, que se expresa de muchas otras maneras en la obra de Descartes, manifiesta la esperanza de garantizar la idoneidad de nuestras facultades e implica una idea de la ciencia en la que los cimientos metafísicos se relacionen deductivamente con las explicaciones de los fenómenos (Cf. Clarke 99). Sin embargo, como han insistido muchos de los comentaristas de la obra cartesiana no solo la forma de entender esta conexión es muy vaga, sino que la permanente invocación de los principios metafísicos como Dios, el alma y la duda constituiría, más bien, una especie de rodeo tendiente a absolutizar la conciencia racional y que se confunde con el propósito de imponer al mundo las necesidades del pensamiento y representación geométricos (Cf. Arango 230). La idea de un Dios garante de la física se diluye, en efecto, rápidamente, pues por su carácter infinito escapa también a nuestro intelecto, quedando reducido a causa eficiente del mundo (Cf. Clarke 97), aunque al mismo tiempo dejando espacio para que busquemos, con nuestra razón natural, las explicaciones del mundo que nos resulten más evidentes¹².

De conformidad con lo anterior, las justificaciones que se proponen en la construcción del modelo del universo material en *El mundo* no son explícitamente metafísicas sino, más bien, formas muy sencillas de comprender la materia (Ibíd. 102)¹³. La presentación misma de las tres

¹² "La idea de Dios que tendría un valor objetivo absoluto, más allá del pensamiento, queda firmemente nivelada por la evidencia matemática y aquello que iba a constituir la garantía de la racionalidad es garantizado precisamente por ésta" (Arango 232). Esta idea ha sido compendiada por Hamelin (1949), en términos de que "la metafísica cartesiana es [...] sobre todo una propedéutica del conocimiento en general" (35).

¹³ La ausencia de indicaciones de una derivación metafísica de las suposiciones básicas de la física cartesiana permite a Clarke, incluso, ironizar acerca de que "quizá Dios al crear las leyes de la naturaleza tal y como lo hizo proporcione un ejemplo de la teoría habitualmente atribuida a Descartes" (103).

leyes de la naturaleza en *Los principios* “implica una interesante mezcla de análisis conceptual, corroboración empírica y explicación metafísica” (109). En consecuencia, debemos entender la conexión presuntamente deductiva de la física y la metafísica como una relación mucho más ambigua y rica: la metafísica establecería la posibilidad de que la física sea un tipo de conocimiento cierto, proporcionando el conocimiento de la causa primera, la cual explica la actuación de las causas secundarias del movimiento; los argumentos metafísicos o metodológicos determinan qué tipo de entidades pueden considerarse explicativas en física y qué tipo de argumentos son pruebas (Cf. *Los principios* 117).

Finalmente, por lo que hace referencia a las reglas del choque su examen muestra que las mismas no se deducen simplemente a partir de las leyes (Ibíd. 112). Tampoco Descartes insiste obstinadamente en aplicarlas a los fenómenos físicos en contra del testimonio de la experiencia. Estas reglas no son, pues, un caso aislado en lo relativo a la forma en que debería ser entendida la deducción de las ideas físicas de Descartes a partir de la metafísica y no son “ni más ni menos a priori que el resto de la ciencia cartesiana” (Clarke 241).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arango, I. *La reconstrucción clásica del saber. Copérnico-Galileo-Descartes*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 1993. Impreso.

Benítez, L. “Descartes y el significado de la filosofía mecanicista”. *Revista Digital Universitaria*. Web. Abr. 2013 <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num3/art19/mar_art19.pdf>.

---. “La filosofía natural en René Descartes”. *Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM*. Web. 17 nov. 2013 <http://dspace.unav.es/dspace/bitstream/10171/4425/1/171_3.pdf>.

Blanché, R. *La epistemología*. Barcelona: Oikos-Tau, S.a. ediciones, 1973. Impreso.

Clarke, D. *La filosofía de la ciencia de Descartes*. Madrid: Alianza Editorial, 1986. Impreso.

Descartes, R. *Meditaciones metafísicas*. Madrid: Alfaguara, 1977. Impreso.

---. *El mundo. Tratado de la luz*. Barcelona: Antropos, 1989. Impreso.

---. *Los principios de la filosofía*. Madrid: Alianza Editorial, 1995. Impreso.

Hamelin, O. *El sistema de Descartes*. Buenos Aires: Losada, 1949. Impreso.

Koyré, A. *Del mundo cerrado al universo infinito*. México: Siglo XXI editores, 1979. Impreso.

Lorenzano, P. *et al.* "El cartesiómetro: una propuesta de aplicación consistente de las leyes del movimiento de Descartes". Web. 17 nov 2013 <<http://plorenzano.files.wordpress.com/2008/12/lorenzano-et-al-cartesic3b3metro-y-las-leyes-del-movimiento-de-descartes-para-afhic.pdf>>.

Turró, S. "Estudio introductorio". R. Descartes. *El mundo. Tratado de la luz*. Barcelona: Antropos, 1989. 7-42. Impreso.

Como citar:

Ceballos, Ramiro. "Las reglas del impacto: Descartes y Clarke". *Discusiones Filosóficas*. Jul.-dic. 2014: 113-129.