

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVIII JORNADAS

VOLUMEN 14 (2008)

Horacio Faas
Hernán Severgnini

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Cambio conceptual parcial: un instrumento para explicar la inconmensurabilidad entre teorías

Marcelo Leonardo Levinas*

En este trabajo se analizan los cambios que se han operado a lo largo de la historia en ciertos conceptos fundamentales que adoptaron un rol determinante en la caracterización y determinación de los fenómenos más importantes asociados al estudio del movimiento. Su historia muestra cómo algunos de estos conceptos han sido adoptados o abandonados, muchas veces de forma drástica, mientras que otros han sido retomados, reformados o reformulados. El *cambio conceptual* es un proceso asociado a la construcción y al desarrollo del conocimiento que implica una modificación en el significado de determinadas nociones y que involucra la incorporación, la adaptación o la eliminación de otros conceptos también necesarios para alcanzar la descripción de los fenómenos. En tal sentido, los cambios conceptuales suelen comprender un conjunto de nociones transformadas de manera más o menos drástica. Se vinculan, directamente, con las modificaciones operadas en la interpretación de experiencias conocidas (mentales o reales) y con los objetivos perseguidos en el diseño de experimentos nuevos con vistas a corroborar o refutar determinadas hipótesis.

Teniendo en cuenta que en el marco de toda teoría emergente se plantean nuevas relaciones entre las nociones fundamentales, y con vistas a poder realizar un análisis más minucioso y profundo de los procesos de adopción de sentido, introducimos la noción de *cambio conceptual parcial*. La identificación de estas modificaciones parciales en los conceptos permite mejorar las condiciones para discutir la siguiente cuestión fundamental: ¿en qué medida existe continuidad o discontinuidad entre determinadas teorías físicas? Es debido a esto que resulta de fundamental importancia atender a las formas con las que cada pensador considerado, ha provocado o contribuido a provocar cambios abruptos en algunas “zonas” de un concepto —esto es saltos y discontinuidades— a la vez que invariencias en otras “zonas” —esto es persistencia y continuidad. Orwell, en su novela titulada *1984*, hace referencia a la represión ejercida por el Estado a través de los formadores —en realidad deformadores— de opinión, y a los intentos de reducción del pensamiento a través de la eliminación de distintos matices interpretativos que podían ofrecer las palabras, a la que se sumaba una eliminación completa de los sinónimos. Dice un funcionario: “¿cómo habrá crimal [alguien que para el régimen es un delincuente del pensamiento] si cada concepto se expresa claramente con una sola palabra, una palabra cuyo significado esté decidido rigurosamente y con todos sus significados secundarios eliminados y olvidados para siempre?”. Para evitar esta situación, tan común en la enseñanza de la ciencia a todos los niveles, es que resulta importante considerar los cambios parciales, los matices que los conceptos fundamentales han tenido a lo largo de la historia y comprender las razones para que *no* se hayan mantenido esclerotizados ni en su definición ni en su participación en un esquema explicativo. Es por esto que, para la mejor comprensión del contenido de una teoría y de sus implicancias, de los

* CONICET-UBA. Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). Departamento de Historia, Facultad de Filosofía y Letras

supuestos de los que hace uso y de las anomalías que posee, no deberíamos, someternos, como los ciudadanos de 1984, al estado final asumido por un concepto. Es por eso, y en lo que hace en particular al problema del movimiento de los cuerpos, que adquiere interés exponer algunos cambios conceptuales operados en aquellos pensadores más relevantes que participaron de la larga transición entre la física aristotélica y la newtoniana, estudio que debería extenderse a la mecánica analítica o racional.

Queremos aclarar que, dado que nuestro trabajo es incipiente, algunas de nuestras afirmaciones serán formuladas a modo de conjeturas más que de hipótesis, hasta tanto se complete nuestra investigación del problema.

Digamos, para comenzar, que partimos de la base de suponer que la característica fundamental de las físicas y las cosmologías aristotélicas y newtonianas, consiste en su enorme coherencia interna. Esto es así a pesar de la existencia de anomalías aparentemente insalvables, propias de cualquier teoría. Pero además, en ambas teorías los conceptos fundamentales prácticamente carecen de cualquier ambigüedad en sus significados. De acuerdo con Piaget y García: "...los hechos (considerados como tales) y los conceptos que los traducen están integrados [en Aristóteles] en un sistema lógico impecable que explica su éxito, multiseccular, ya que fue necesario esperar hasta Newton para encontrar otro sistema tan coherente" (Piaget y García, 1989, 37). Esta es la razón a partir de la cual ambos sistemas –el aristotélico y el newtoniano– han tenido tanta influencia en la historia del conocimiento, y por qué históricamente se los ha tomado como los sistemas referentes. De hecho, la llamada revolución científica ha consistido en el reemplazo de la física, astronomía y cosmología expuestas en la *Física*, en la *Metafísica* y en *Del Cielo* de Aristóteles, por la física, astronomía y cosmología de Newton expuestas en los *Principia*. Sin embargo, y este es un dato absolutamente relevante, la solidez de estas teorías no se presenta en aquellos autores que han desarrollado sus ideas en el intervalo que separó a ambos sistemas arquetípicos del pensamiento.

Nuestra tesis es que, si tomando estas dos teorías bien consolidadas –la aristotélica y la newtoniana– se observa que, en términos kuhnianos, existe un importante grado de inconmensurabilidad, es porque se está "atendiendo", en realidad, a los "extremos" –a un punto de partida y a un punto de llegada– de un desarrollo. Pero, a su vez, se oculta el verdadero proceso de construcción de los conceptos, del largo y traumático proceso de redefinición de los problemas, de las características cambiantes de la observación y la experiencia, y de los objetivos de la explicación científica. Serían, precisamente, los cambios operados en los conceptos lo que constituiría el elemento más representativo de la historia de la física, y no los estados iniciales y finales de los procesos, o, como decíamos recién, sus extremos, representados en las teorías de Aristóteles y Newton. Esto reivindica el hacer historia de la ciencia con cierta minuciosidad, dirigida a identificar los cambios conceptuales parciales. Nuestra tesis, por lo tanto, se completa afirmando que, estudiados los procesos intelectuales que "condujeron" a la adopción de una teoría en lugar de la otra, la discontinuidad en el contenido de ciertos conceptos fundamentales y su inconmensurabilidad, podrían ser explicados a partir de que en los autores que sirvieron de intermediarios entre Aristóteles y Newton es posible identificar rupturas en algunas "zonas" de una teoría y continuidad con respecto a otras "zonas" de la misma teoría. En términos históricos, esto significa que cada autor, en lo que hace al papel y al contenido de los conceptos que

conformaban la vieja teoría (la aristotélica) o que conformarían la nueva (la newtoniana), ha estado ligado a la tradición en relación con algunos conceptos o "zonas" de los conceptos, y, por el contrario, ha anunciado la física moderna en otras "zonas" de esos mismos conceptos o de conceptos nuevos. En otras palabras, lo que se supone una revolución científica es, en este caso, el resultado de cambios bruscos parciales coexistiendo con continuidades también parciales, manifiestas en otros aspectos de los problemas. En consecuencia, resulta necesaria una complementación entre los aspectos epistemológicos que atienden a la estructura de una teoría y los históricos que determinan su desarrollo, así como una complementación entre los elementos que definen los contextos de justificación y aquellos que nos permiten estudiar los contextos de descubrimiento.

Creemos que los cambios conceptuales parciales tienen lugar cuando coexisten diferentes sentidos de lo real. Queremos decir con esto que los cambios conceptuales en las historias o narrativas científicas determinan, a la vez que transforman, lo que se considera real, ya que la propia elección y construcción de los conceptos es el aspecto fundamental de la construcción de sentido. En consecuencia, si dos teorías radicalmente diferentes se refieren a realidades distintas, el hecho de que en un mismo autor —que ha trabajado en la transición entre ambas teorías— puedan coexistir conceptos que en una teoría consolidada resultarían incompatibles entre sí, indica que pueden estar operando simultáneamente diferentes sentidos de lo real. Así la teoría atomista se opone a la continuidad de la materia en el punto en que sostiene la existencia de partículas diferenciadas entre sí, separadas por vacío, y, sin embargo, para el atomista antiguo el átomo sólo puede ser entendido como un indivisible físico (aunque matemáticamente divisible) porque posee "partes adheridas"... de manera continua. Esto es, coexisten dos sentidos de continuidad de la materia y de la forma de existencia o realidad de la continuidad. Descartes creía en la existencia de un *plenum* y, a la vez, en la existencia de partículas, por lo que no era ni un continuista pleno ni un atomista genuino. A su vez, la imposibilidad del vacío es una tesis cartesiana (al igual que en Aristóteles) en contra de Galileo; sin embargo, Descartes —al igual que Galileo— define la inercia en contra de Aristóteles, para quien un movimiento sublunar infinito era imposible, precisamente ¡a causa de la inexistencia del vacío! En estos casos se han manifestado, claramente, cambios conceptuales parciales. ¿Cuál sería un cambio conceptual completo? Por ejemplo el del concepto "Tierra" cuando lo asociamos a sus definiciones extremas. En el caso aristotélico se trata de un cuerpo inmóvil situado en el centro de un universo limitado, compuesto de elementos más o menos ordenados de acuerdo con sus respectivos lugares naturales, cuerpos que se rigen por una física diferente a la de los cielos. En cambio, en el caso de Newton la Tierra consiste en un cuerpo que se mueve en torno al Sol siguiendo la ley de atracción universal; se trata de un cuerpo compuesto de partículas que se atraen entre sí, situado en un universo sin lugares naturales y que no posee centro debido a que es infinito. Ahora bien, la ley de atracción universal es del todo incompatible con el concepto de lugar natural, como también lo es la de un universo limitado con la de uno infinito. Los conceptos Tierra en Aristóteles y en Newton, por lo tanto, se refieren a objetos diferentes y en este sentido sus respectivos contenidos son inconmensurables. Sin embargo, autores como Copérnico, Kepler o Galileo han empleado, de manera simultánea y combinada, algunas de estas características contradictorias para definir o establecer qué cosa era la Tierra. Así, por ejemplo, Galileo logró

combinar la hipótesis de una Tierra en movimiento con la de los lugares naturales, dos hipótesis ligadas a ideas, en principio, incompatibles en los sistemas aristotélico y newtoniano, como ya hemos visto. Son ejemplos de cambios conceptuales parciales.

En el cuadro siguiente se expone, de manera muy general y resumida, las posiciones adoptadas por algunos pensadores relevantes respecto de ciertas nociones que han tenido un rol fundamental en la elaboración de las teorías aristotélica y newtoniana:

	Lugar natural	peso en tanto propiedad intrínseca	movimientos circulares como naturales	Impetu	Inercia	vacío	Continuidad de la materia	Movimiento de la Tierra	acción a distancia	éter	Universo infinito
Demócrito	No	No	No	No		Sí	No*	No	No		Sí
Aristóteles	Sí	Sí	Sí	No	No*	No	Sí	No	No	Sí	No
Filopón	No	Sí		Sí	No	Sí				No	No
Oresme				Sí	No			No*		Sí	No*
Copérnico	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No		No
Bruno	No	No		Sí	No	Sí*	No	Sí	No	Sí	Sí
Kepler	No	No	No	No	Sí*	Sí		Sí	Sí*	No*	No
Galileo	Sí	Sí	Sí*	No	Sí*	Sí	No	Sí	No		No
Descartes	No	No	No	No	Sí	No	Sí*	Sí	No	Sí	Sí
Newton	No	No	No	No	Sí*	Sí	No	Sí	Sí*	Sí*	Sí

Es necesaria una importante aclaración:

SÍ o NO para cada ítem no implica que los diferentes autores le hubiesen otorgado un único o el mismo sentido a un concepto. Muchos SÍ o NO adquieren, en sí mismo, una suerte de cambio conceptual parcial de diferente carácter en cada caso. Por ejemplo, Kepler introduce la inercia en su explicación de los movimientos planetarios pero le otorga un *status* exactamente opuesto al que históricamente subsistiría, ya que considera que la inercia es una suerte de *resistencia a mantener* el estado de movimiento. Otro ejemplo: Bruno cree en el vacío y lo asocia al espacio, sin embargo sostiene que el *status* del espacio es el de estar totalmente ocupado, por lo que debe existir un *plenum*. Podemos decir –como sostiene Koyré– que en Bruno el vacío no posee existencia física aunque sí metafísica.

Examinemos algunas de las diferentes posturas (señaladas con *) adoptadas frente a los conceptos:

Demócrito: NO a la *continuidad de la materia*; sin embargo los átomos son continuos.

Aristóteles: NO a la *inercia*, pero cierto tipo de movimiento inercial sería teóricamente posible “si hubiese vacío”.

Oresme: NO al *movimiento de la Tierra*, pero no es posible discernir racionalmente si la Tierra se mueve o no se mueve; sólo a partir de un acto de fe. Trasladado el problema a las *Sagradas Escrituras* para que “decidan”, se concluye que la Tierra *no* se mueve.

Oresme: NO a un *universo infinito*, pero un tal universo es teóricamente posible.

Bruno: SÍ al vacío: el espacio es vacío, pero el vacío existe metafísicamente y no físicamente ya que el espacio está lleno de materia.

Kepler: SÍ a la *inercia* como resistencia a mantener el movimiento, o sea, un sentido opuesto al actualmente admitido.

Kepler: Sí a la *acción a distancia*, pero la atracción entre cuerpos parece ocurrir por la influencia de alguna fuerza del tipo elástica que, o bien actúa a la distancia o a través del éter.

Galileo: Sí a que **todos los movimientos naturales son circulares** si acaso la inercia galileana es considerada como circular. Sí a que los *movimientos circulares son naturales* en los cielos.

Descartes: Sí a la *continuidad de la materia*. Sí a que el universo está lleno de éter, pero los cuerpos están compuestos de partículas que chocan entre sí.

Newton: Sí a que la *inercia* se activa **sólo** con la presencia de una fuerza aplicada al cuerpo.

Newton: Sí a la *acción a distancia*, pero también Sí a la posible existencia del éter, lo que implica ambigüedad.

¿Cuáles serían las razones fundamentales para que se hayan producido estos cambios conceptuales? Las encontraremos en las diversas formas de *matematizar* la naturaleza y en la culminación de este intento en la física moderna. Esta matematización se tradujo en una primera etapa (hasta Newton inclusive) en un *geometrización* y posteriormente, cuando se formuló la mecánica racional, en una *algebrización*. En los *Principia* se emplea un lenguaje geométrico, mientras que la mecánica analítica se ha desarrollado empleando un lenguaje algebraico. Es por esto que Lagrange escribió: "Los métodos que expongo no demandan ni construcciones ni razonamientos geométricos o mecánicos, sino solamente operaciones algebraicas, sujetas a una marcha regular y uniforme. Quienes gustan del Análisis verán con placer cómo la mecánica se convierte en una nueva rama del álgebra, y me estarán agradecidos por haber extendido así su dominio (Lagrange, *Mecanique analytique*, 1788).

El contenido de los *Principia*, se expuso siguiendo los lineamientos deductivos de los *Elementos* de Euclides. En geometría se establecen razones entre magnitudes homogéneas y proporciones entre razones: por ejemplo $f_1.f_2$, $a_1.a_2$, medidas en el mismo intervalo de tiempo. Galileo, Kepler y Newton hablaban de proporciones o razones. Posteriormente, las razones se sustituyeron por cocientes y las proporciones por igualdades: $f_1/f_2=a_1/a_2$ o $f/a=P/g=m$, siendo m una constante característica del cuerpo. Por eso Euler en 1752 enunció la 2ª ley de Newton tal como la conocemos ahora: *fuerza = masa x aceleración*, totalmente diferente al enunciado de Newton ya que el empleo del álgebra implicaba la definición de magnitudes más que de figuras. En efecto, en los *Principia*, la Segunda Ley de movimiento se expresa de esta manera: "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza" (*Principia*, Segunda Principio), o sea, en términos geométricos. Observemos que el único concepto que ha sobrevivido de este último enunciado es el de "fuerza", paradójicamente, el más resistido por los matemáticos que elaboraron la mecánica posterior a la de Newton, sin duda más completa, y en la que los principios de Newton aparecen como teoremas derivados del principio de mínima acción o del principio de los trabajos virtuales de D'Alembert; en definitiva, de las ecuaciones de Lagrange. En Newton mismo la noción de fuerza posee "zonas" oscuras.

Por todo esto creemos que existen dos conceptos *llave* que podemos identificar como característicos del profundo cambio conceptual operado desde la física aristotélica hasta la mecánica moderna:

a) El concepto de *fuerza* como *causa de la variación de un estado de movimiento*, estrechamente vinculado al cambio conceptual de nociones fundamentales tales como velocidad,

trayectoria, acción, inercia, peso, masa, vacío, medio, lugar natural, caída libre, aceleración, acción a distancia, etc., incluyendo la noción de espacio y la de tiempo (como parámetro). A partir de cambios conceptuales *parciales*, estas nociones, como hemos visto, han podido coexistir en muchos casos y de diferente manera, en cada uno de los pensadores. El contenido del concepto de acción o fuerza reemplazando al de causa ha sido fundamental, al margen de si con ella se denotaba algo efectivamente existente. Es que este concepto no ha escapado a las generales de la ley y también a tenido una historia traumática, a punto tal que, según vimos, en los mecánicos modernos la tendencia fue la de negar la existencia de fuerzas.

b) El concepto de *magnitud*. La relación entre magnitudes ha constituido el elemento fundamental de la física moderna dado que permitió una nueva interpretación cuantitativa de las características del fenómeno natural. Está noción "resolvió" el conflicto histórico entre la matemática y la física. En la noción de "magnitud" se establece una estrecha y por demás elegante relación entre el elemento matemático —representado por un *número* (cantidad abstracta), y la noción física correspondiente a la *unidad* (cantidad concreta). Cada magnitud está relacionada cuantitativamente con un concepto físico (y con otros conceptos y magnitudes) a través de alguna definición, principio o ley física. La consolidación de la magnitud como concepto en sí mismo, en correspondencia con la universalidad de todas las leyes físicas, es lo que explica la definitiva conversión de la física terrestre aristotélica —que rechazaba el empleo de la matemática— a los principios y leyes formuladas matemáticamente en la física moderna que serían aplicadas a todo el universo.

Nuestro programa consiste en profundizar el análisis de todas estas afirmaciones y el de tomar más conceptos e identificar más cambios parciales, como así también incluir un mayor número de autores, como ser Epicuro, Lucrecio, Ptolomeo, de Cusa, Leonardo, Digges, Gilbert, Bacon, Beckman, Benedetti, Cavalieri, Leibniz, Laplace, Lagrange, Euler o D'Alembert, a pesar de que para muchos de ellos seguramente no podremos completar todos los cuadros de la tabla.

Digamos, como conclusión, que ahondando el análisis, sutizando las diferencias y encontrando contradicciones, a veces inadmisibles desde un punto de vista lógico, podremos mejorar nuestra comprensión, tanto de los nexos como de las diferencias entre los contextos de justificación y descubrimiento, admitir la continuidad a la vez que la discontinuidad conceptual y explicar por qué en un mismo autor históricamente "situado" entre la física aristotélica y la moderna, no sólo pueden coexistir diferentes tradiciones científicas, sino también conceptos viejos con conceptos nuevos. La incommensurabilidad entre una teoría nueva que reemplaza a otra y que predica la existencia de una "nueva" realidad, sería, entonces, el producto del establecimiento de nuevos principios y también de una redefinición drástica de los conceptos a través de cambios parciales (drásticos) operados a lo largo de la historia.

Bibliografía

Landau L. y Lifshitz E., *Mecánica*, Bilbao, Reverté, 1970.

Newton, I., *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687). *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Barcelona, Altaya, 1993

Orwell, G., 1984, Barcelona, Ediciones Destino, 1981

Piaget, J y García J., *Psicogénesis e historia de la ciencia*, México, Siglo XXI, 1982.

Koyré, A., *Del mundo cerrado al universo infinito*, México, Siglo XXI, 5ª edic., 1986.

Solís C. y Sellés M., *Historia de la ciencia*, Madrid, Espasa-Calpe, 2005