

Artículo original

## La inconmensurabilidad kuhniana y las generalizaciones simbólicas: un análisis a partir de la comparación de dos paradigmas teóricos de la física

### Kuhnian incommensurability and symbolic generalizations: A comparative analysis of the two theoretical paradigms of physics

 Lina Marcela Cadavid-Ramírez\*, Mateo Arias Vélez

Universidad Católica Luis Amigó, Medellín-Colombia

#### Resumen

Dado que las teorías son léxicos cuyos términos no pueden traducirse asertivamente, la relación existente entre ambas sería de inconmensurabilidad, pero ¿dicho supuesto se extiende a las generalizaciones simbólicas de una teoría? Para dar respuesta a esta cuestión en los términos de la propuesta de la inconmensurabilidad local tal como la concibe Thomas Kuhn, en este artículo se comienza analizando qué términos de las formulaciones de la física clásica y la física einsteniana son conmensurables o inconmensurables, para poder examinar luego la incompatibilidad en las generalizaciones simbólico-matemáticas de las teorías en cuestión. Se concluye que ambas teorías son inconmensurables tanto en su taxonomía conceptual como en el ámbito matemático.

**Palabras clave:** Inconmensurabilidad local; Mecánica newtoniana; Física relativista; Taxonomía lexical; Generalización simbólica.

#### Abstract

Since theories are lexicons whose terms cannot be translated assertively, the relationship between the two would be that of incommensurability but, does this assumption extends to the symbolic generalizations of a theory? To answer this question in terms of the concept of local incommensurability as conceived by Thomas Kuhn, in this article I initially analyze which terms of the formulation of classical and Einsteinian physics are commensurable and which, incommensurable, to then examine the incompatibility of the symbolic-mathematical generalizations of the theories in question. The conclusion is that the two theories are incommensurable both from the standpoint of their conceptual taxonomy and the mathematical field.

**Keywords:** Local incommensurability; Newtonian mechanics; Relativity theory; Lexical taxonomy; Symbolic generalizations.

#### Introducción

En el ensayo que escribe Ian Hacking para conmemorar el 50 aniversario de la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas*, el filósofo e historiador de la ciencia canadiense señala que, posiblemente, Kuhn continuó, en vez de disolver de manera definitiva, la filosofía de la ciencia del Círculo de Viena. La afirmación, ya de por sí sugestiva, se hace justamente en el apartado sobre el término inconmensurabilidad, el cual, según (Gentile, 1996), encontraría antecedentes en la filosofía de Carnap. Según la autora, Kuhn exagera su distancia con los postulados de la “concepción heredada” en filosofía de la ciencia, incluso el mismo Carnap (Gentile, 1996) plantea su acuerdo con Kuhn en cuanto a las consideraciones lingüísticas de su teoría sobre la posibilidad o la imposibilidad de traducir sin pérdida los términos entre teorías científicas.

**Citación:** Cadavid-Ramírez LM, Arias-Vélez M. La inconmensurabilidad kuhniana y las generalizaciones simbólicas: un análisis a partir de la comparación de dos paradigmas teóricos de la física. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(175):377-386, abril-junio de 2021. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1258>

**Editor:** Rubén Ardila

**\*Correspondencia:**

Lina Marcela Cadavid-Ramírez;  
[lina.cadavidra@amigo.edu.co](mailto:lina.cadavidra@amigo.edu.co)

**Recibido:** 2 de julio de 2020

**Aceptado:** 10 de marzo de 2021

**Publicado:** 17 de junio de 2021



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Ahora bien, si como señala **Moulines** (2011) el libro de Kuhn representó una revuelta historicista y la delineación de una filosofía histórica de la ciencia, que puso bajo otra perspectiva problemas de la lógica de la investigación científica, también es cierto que ciertos aspectos de este reconocido libro no lograron llevar hasta las últimas consecuencias su talante historiográfico - un ejemplo podría reconocerse en la misma noción de inconmensurabilidad, cuyo carácter global se abandona privilegiando uno local (**Durán**, 1996) -, que termina por ser el interés de Kuhn años después de su planteamiento original en *La estructura*.

El filósofo estadounidense se acoge a la metáfora lingüística en los textos de la década de los 80 (**Lorenzano & Nudler**, 2012), dando lugar a la denominada versión débil de la inconmensurabilidad, cuyas tesis se centran en los problemas de traducción entre diferentes comunidades lingüísticas, acercándose con ello, según (**Gentile**, 1996) a las ideas desarrolladas por Carnap en su obra *Verdad y confirmación*.

La inconmensurabilidad local kuhniana supone que las teorías científicas son como léxicos conformados por términos vinculados entre sí por un tipo de holismo local, que impide que uno de ellos pueda individualizarse del resto del entramado conceptual para traducirse de una teoría a otra. Con el advenimiento de una revolución científica, las piezas de una teoría “encajan para formar un todo integral que tuvo que romperse y reformularse en el camino hacia” otra teoría (**Kuhn**, 1989, p. 71). Así, no hay ningún modo de corregir las ideas de una teoría sin reconstruir la mayor parte de su vocabulario y leyes. Los científicos aprenden a reconocer objetos en el mundo según un criterio de similitud-disparidad que clasifica y discrimina a partir de características comunes, por tanto “son pocos los términos o expresiones [de un vocabulario científico] con referente que se aprenden separadamente, o del mundo o uno de otro” (**Kuhn**, 1989, p. 130).

Una de las causas de la inconmensurabilidad sería la recategorización de un término en el paso de una teoría a otra, ya que después de una revolución, con el cambio de las categorías y los referentes, el nuevo vocabulario no puede contener el anterior. Así, cuando una teoría no logra explicar un fenómeno surgen anomalías locales, una vez que el científico fracasa en su intento de hacer pequeños ajustes en las discrepancias, se hace necesario un cambio general que consiste en alterar el significado de las categorías que componen el vocabulario de una teoría.

En contraste, autores como **Popper** (1975) o **Einstein** (1983; 1986; 1999), han afirmado que, aunque los términos de dos taxonomías sean diferentes, los símbolos matemáticos que usan sí pueden ser equiparables, pero según **Kuhn** (2002), los símbolos que parecen ser iguales en dos taxonomías en realidad no se relacionan del mismo modo con el mundo, pues sus significados son distintos. Ahora bien, el propósito de este artículo es revisar este aspecto de la inconmensurabilidad local con respecto a las generalizaciones simbólicas entre dos teorías científicas para evaluar si, incluso en este aspecto, es posible sostener la postura kuhniana, cuestión que señalaría la novedad que se introduce en la visión local y que podría restarle debilidad e, incluso, darle un cariz más audaz que el de un problema de taxonomía entre términos devenidos intraducibles tras una revolución.

El análisis comparativo basado en los supuestos kuhnianos que se presenta a continuación está sustentado en un estudio de los elementos conceptuales y las generalizaciones simbólicas de las teorías físicas de Newton y de Einstein a la luz de la noción de inconmensurabilidad tal como fue desarrollada por Kuhn en textos como *La estructura de las revoluciones científicas* (2013), *Cambio de teoría como cambio de estructura: comentarios sobre el formalismo de Sneed* (1977), *Conmensurabilidad, Comparabilidad y Comunicabilidad en ¿Qué son las revoluciones científicas?* (1989), y los capítulos *Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación* (1975), *Algo más sobre paradigmas y Objetividad, juicios de valor y elección de teorías*, de su libro *La tensión esencial* (1993). Para contrastar las teorías de Newton y de Einstein, se han tenido en cuenta los escolios de los *Principios matemáticos de la filosofía natural* (2011) de **Newton** y *Sobre la teoría de la relatividad* (1999) de **Einstein**, lecturas que fueron complementadas con el estudio de

la *Relatividad para principiantes* (2012) y *Los hoyos negros y la curvatura del espacio-tiempo* (2014) de Shahen Hacyan, la *Teoría clásica de los campos* del *Curso de física teórica* (1992) de Landáu y Lifshitz y, por último, los relatos de **Barbara Lovett Cline** en *Los creadores de la nueva física* (1980).

## Discusión

### *La mecánica clásica y la teoría de la relatividad*

La física newtoniana quedó consignada en la obra *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, cuya primera versión fue publicada en 1687 bajo la supervisión de Edmond Halley. Los *Principia* se inauguran con las definiciones de materia, masa, inercia, fuerza centrípeta, movimiento, espacio y tiempo, y se hace “la distinción entre las nociones «absolutas, verdaderas y matemáticas» de espacio, tiempo, lugar y movimiento, y las nociones «relativas, aparentes y comunes»” (Maudlin, 2014, p. 40). Esta distinción será crucial en el desarrollo de la física hasta Einstein. A diferencia de la mecánica actual, las demostraciones matemáticas de los *Principia* son de corte puramente geométrico y no algebraico, y la carencia de técnicas algorítmicas complicó, posteriormente, su análisis detallado. Aún en algunas demostraciones de los dos primeros libros hay rasgos de cálculos de curvaturas, métodos de integración o series infinitas mediante el método de fluxiones, sin embargo, Newton no ofreció detalle alguno sobre “técnicas altamente algorítmicas” (Guicciardini, 2007, p. 78). Durante el siglo XVIII se intentó aplicar matemáticas algorítmicas a la mecánica newtoniana con el fin de simplificarla, el resultado fueron dos líneas: la británica, con una metodología de corte geométrico muy al estilo estrictamente newtoniano y la francesa, que trató de alejarse del método geométrico y apostó al cálculo analítico. La obra de Newton llegó a Francia a través de Voltaire, quien, fascinado por los hallazgos de los *Principia*, se encargó de convencer a la marquesa de le Chatelet, “una de las mujeres matemáticas más destacadas de la historia” (Hacyan, 2014, p. 15), de traducir los *Principia*. Luego, “tanto ella como sus colegas Maupertuis, D’Alembert y otros contribuyeron a propagar la nueva ciencia. Era necesario, sin embargo, reescribir a Newton en un lenguaje matemático más claro y manejable” (Hacyan, 2014, p. 15). El trabajo por renovar los postulados dinámicos de Newton a un lenguaje matemático más simple y general atrajo la atención de muchos de los matemáticos y geómetras más ilustres de la época.

Así surge la llamada mecánica analítica, una versión algebraica de la mecánica newtoniana que permite estudiar los sistemas inerciales en igualdad de términos sin cambiar las leyes de Newton, y cuyo objetivo sería postular principios generales para deducir algebraicamente ecuaciones diferenciales de movimiento y lograr describir los fenómenos dinámicos con mayor precisión. La mecánica de Newton y las formulaciones de la analítica se agrupan todas en la denominada mecánica clásica (Poggi-Varaldo, et al., 2006). El primero en trabajar una nueva mecánica fue el matemático Leonhard Euler, quien desarrolló un enfoque de la dinámica analítica con funciones que representan expresiones analíticas, dando paso a la ‘desgeometrización’ del cálculo en favor de funciones simbólico-matemáticas, como la fórmula  $f=ma$  para la segunda ley.

Jean Le Rond D’Alembert también contribuyó a la transformación aritmética de la mecánica newtoniana. D’Alembert estableció, a partir de la segunda ley de Newton, que el conjunto de fuerzas externas e inerciales forman un estado total de equilibrio dinámico (Romero, 2007). Con ello, Euler y D’Alembert introducen la mayoría de las ecuaciones de la mecánica clásica y sus notaciones matemáticas, sin embargo, estas solo encontrarían su versión definitiva 45 años más tarde con la mecánica de Joseph Louis Lagrange. En su obra *Mécanique Analytique* (1788), reformuló y complementó los avances en mecánica realizados desde los *Principia* hasta sus días. Esta formulación desarrolla, por primera vez, un modo matemático, general y uniforme de la mecánica newtoniana que resolvía todos los problemas relacionados con el movimiento de los cuerpos. Otro físico destacado en el desarrollo de la matematización de la mecánica mediante el método analítico fue Pierre-

Simon Laplace, quien introdujo los últimos descubrimientos de su época que explicaban los fenómenos anómalos en el movimiento lunar o en las órbitas de Saturno. Entre sus aportes se cuenta la famosa ecuación de Laplace reformulada luego por Poisson.

Ahora bien, la formulación lagrangiana de la mecánica newtoniana no fue la única que se hizo. William Rowan Hamilton se dedicó al estudio de las obras de Newton y Laplace para aplicar sus hallazgos en óptica a la mecánica. Hamilton se dio cuenta de que los sistemas físicos y ópticos obedecen a un principio variacional común que da como resultado una nueva formulación de la mecánica analítica, diferente de la de Lagrange y caracterizada por la denominada función hamiltoniana ( $H(pq) = p \cdot q' - L$ ), posteriormente desarrollada por Jacobi y Poisson, quienes introducen una estructura geométrica en el espacio de fases de la mecánica lagrangiana. Los resultados alcanzados por Hamilton hicieron posible su aplicación a la mecánica cuántica años más tarde. Así pues, la mecánica analítica posee dos formulaciones diferentes (lagrangiana y hamiltoniana) fundadas en la mecánica newtoniana que logran describir un mismo fenómeno a partir de métodos distintos.

Esta fue la mecánica que Einstein recibió y de la cual se apartó en aspectos esenciales. Einstein publica en 1905 la teoría de la relatividad especial o restringida. Según esta, cuando se estudia un suceso en dos sistemas de referencia distintos que se trasladan en línea recta y con un movimiento uniforme, se puede determinar objetivamente dicho suceso por medio de las transformaciones de Lorentz, es decir, las leyes de la mecánica son las mismas sin importar el sistema de referencia. En este sentido, la teoría de la relatividad restringida no dispone de un sistema de referencia privilegiado, esto es, un espacio absoluto (Lovett-Cline, 1980).

La teoría de la relatividad está sustentada sobre dos principios: el principio de relatividad (todos los sistemas inerciales son equivalentes por medio de transformaciones) y el principio de constancia de la velocidad de la luz (esta se mueve siempre a la misma velocidad en cualquier sistema de referencia inercial) (Einstein, 1983). El establecimiento de estos dos principios trajo consigo una nueva visión del espacio y el tiempo. Pocos años después, con los aportes de Minkowski, se unifican ambas categorías en un solo concepto: el espacio-tiempo. Según Einstein (1983), este se corresponde con una estructura cuasi-euclidiana de la realidad conformada por tres coordenadas espaciales y una temporal.

Desde 1908 Einstein comenzó a trabajar en la generalización del principio de relatividad con el propósito de extender la teoría restringida a una que tuviera en cuenta los cambios en las aceleraciones y los efectos gravitatorios. El problema que introdujo la teoría de la relatividad general cuestionaba la distinción de la mecánica clásica entre masa pesante o gravitatoria y masa inercial, según la cual las aceleraciones horizontales dependen de la inercia de un cuerpo, en tanto que las aceleraciones verticales efectuadas por la fuerza de gravedad son siempre constantes; así, todos los cuerpos, sin importar su material o tamaño, caen siempre a la misma velocidad en ausencia de la fricción que supone el aire. Esta distinción era incompatible con el principio de relatividad, razón por la cual Einstein propuso alcanzar una equivalencia entre los dos tipos de masa.

Se comenzó la elaboración de una teoría general de la relatividad que explicara el movimiento de un cuerpo expuesto a un campo gravitatorio. De este modo, el espacio-tiempo casi euclidiano de la primera formulación se reemplazó por un espacio curvo (riemmeniano) en el que los objetos afectados por un campo gravitacional no describen líneas rectas sino geodésicas determinadas por la estructura del espacio-tiempo. Esto permitió que “las ecuaciones que expresan las leyes de la naturaleza [fueran] covariantes con respecto a todas las transformaciones continuas de las coordenadas. Este es el principio de *relatividad general*” (Einstein, 1983, p. 158). Según Einstein (1983) la velocidad de la luz marca un límite al movimiento y velocidad de los cuerpos que, si es sobrepasado, acarrea cambios en el cuerpo que se traslada. La masa es también una medida de la energía de un cuerpo, por ello, cuando una partícula se mueve a una velocidad cercana a  $c$  (velocidad de la luz) comenzará a aumentar sus cantidades de energía.

### ***Inconmensurabilidad y generalizaciones simbólicas***

En términos generales, los elementos intraducibles entre ambas teorías son de dos clases: los términos homónimos, cuyas relaciones y significados han cambiado o han sido reformulados por completo, y los términos nuevos, que no poseen traducción directa de una teoría a otra. Entre los términos reformulados por la relatividad están la noción de fuerza, reemplazada por la idea de campo gravitatorio –según **Maudlin** (2014), la idea de fuerza newtoniana no es la misma que la usada en la actualidad, aquella se corresponde “más bien con lo que hoy se llamaría un “impulso”, es decir, la acción de una fuerza a través de un cierto intervalo de tiempo” (p. 46)–.

Otro ejemplo puede evidenciarse en la reformulación de la noción de masa, la cual es constante en la mecánica clásica, en tanto que en la einsteniana es variable (**Kuhn**, 2013), ya que una de las modificaciones esenciales que realizó Einstein a los fundamentos de la física clásica fue la coincidente “correspondencia entre la masa de un cuerpo, considerada como fuente de gravedad en la ley de la gravitación de Newton, y la masa de un cuerpo como medida de la inercia en las leyes del movimiento de Newton” (**Lovett-Cline**, 1980, p. 291). Según **Einstein** (1983) “la teoría de la relatividad debe su existencia al hecho empírico de la igualdad numérica entre la masa inerte y el peso de los cuerpos, un hecho fundamental para el que la mecánica clásica no proporciona ninguna interpretación” (p. 55), de modo que fue necesaria la reformulación de este principio para hacer general la teoría de la relatividad especial, para lo cual Einstein introdujo modificaciones que, desde la perspectiva kuhniana, son recategorizaciones teóricas que permitían vincular la inercia y la gravedad.

Un tercer ejemplo lo encontramos en el término aceleración: para la relatividad “la aceleración de un cuerpo que cae no es independiente de su velocidad horizontal o energía interna del sistema” (**Einstein**, 1983, p. 95), de tal forma que la aceleración, a diferencia de lo que ocurre en la mecánica newtoniana, no es solo una relación entre la masa y la fuerza sino que hay una relación con la gravedad, con el principio de equivalencia de las masas y con el presupuesto de un espacio continuo y relativo.

Entre los términos intraducibles está el de energía. Según la relatividad, la cantidad de energía siempre será equivalente a la masa cuando la velocidad del cuerpo se acerque a la de la luz. Así, para aumentar la velocidad de un cuerpo hay que proporcionarle energía, lo que se manifiesta en un aumento de la masa del cuerpo, lo cual contrasta con las relaciones taxonómicas de la mecánica newtoniana, en las que para aumentar la velocidad de un cuerpo es necesario imprimirle una fuerza, lo que no modifica en modo alguno su masa. De este modo, el holismo local del elemento masa, como lo señala **Kuhn** (2002), impide que este concepto pueda ser individualizado y luego conservado dentro de la relatividad. En el paso de la taxonomía newtoniana a la einsteniana el concepto de masa se ha visto alterado y redefinido tanto en las relaciones con otros términos de la misma categoría como con los referentes del mundo.

Pero el cambio más radical entre la mecánica de Newton y la relatividad de Einstein se efectuó sobre las concepciones de tiempo y espacio y, por ende, sobre las estructuras generales de ambas teorías. Según **Kuhn** (2002) “para la transición de Newton a Einstein, el cambio de léxico más significativo reside en el vocabulario cinemático anterior para el espacio y el tiempo” (p. 95). Recuérdese que la noción de «absoluto» pasó a la mecánica relativista con la connotación de inmóvil, inactivo o compartido por todos los puntos, relación inexistente en la primera formulación de la mecánica de Newton. Cabe resaltar que el espacio-tiempo relativista también es abstracto y matematizable, rasgos que le otorgan naturaleza absoluta al tiempo y al espacio newtoniano. A partir de esta caracterización, las nociones newtonianas y einstenianas parecen relacionables o deducibles entre sí. Pero en sentido estricto no son iguales.

Con la formulación de la teoría de la relatividad especial, el tiempo y espacio absolutos pierden precisión empírica; por otra parte, “con el descubrimiento de la relatividad de la simultaneidad, el tiempo y el espacio fueron fusionados en un único continuo [...] Así el espacio físico fue extendido a un espacio de cuatro dimensiones que también incluye la

dimensión del tiempo” (Einstein, 1983, p. 90). En síntesis, la mecánica relativista restringida hace uso de sistemas de coordenadas para especificar el sistema de referencia que estudia, sin embargo, estas nociones —sistemas de coordenadas y sistemas inerciales— se encuentran ausentes en la formulación inicial de la mecánica newtoniana. La necesidad de un sistema de coordenadas lo introduce por la mecánica analítica para que las leyes de la teoría clásica “puedan enunciarse en forma algebraica” (Maudlin, 2014, p. 63), como en la mecánica analítica posterior de Euler; por otra parte, la noción de un marco de referencia desaparece casi completamente con la relatividad general y es reemplazada por ecuaciones diferenciales.

Ahora, con respecto a los métodos de transformación que usan ambas teorías, el principio de relatividad se hace efectivo gracias a que las coordenadas entre dos sistemas de referencia pueden relacionarse entre sí a través de las transformaciones de Lorentz; sin embargo, tal principio y tales transformaciones son inexistentes en la formulación de los *Principia*, al igual que el uso mismo de coordenadas, que solo fueron introducidas por la mecánica analítica del siglo XVIII. Esta, por su parte, relaciona coordenadas espaciales y temporales a través de otro conjunto de transformaciones, las denominadas galileanas, que no son aplicables para la relatividad.

Después de esta presentación general, este análisis se centra, justamente, en las generalizaciones simbólicas o simbología matemática usada para expresar el mundo. Afirma Kuhn:

En las ciencias, particularmente en la física, las generalizaciones suelen encontrarse ya en forma simbólica:  $f = ma$ ,  $I = V/R$  o  $\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2m(E-V)\psi}{h^2}$  o  $8\pi^2 m (E - V)\psi/h^2 = 0$ . Otras se expresan en palabras: “la acción es igual a la reacción”, “la composición química está en proporciones fijas por peso”, o “Todas las células provienen de células”. Nadie negará que los miembros de una comunidad científica emplean por costumbre expresiones como éstas en su trabajo [...] sin un compromiso compartido respecto de un conjunto de generalizaciones simbólicas, la lógica y las metamatemáticas aplicarían rutinariamente en el trabajo de una comunidad (1993, p. 322).

Según lo anterior, la equivalencia matemática no sería un argumento a favor de la conservación léxica entre teorías, pues “sería posible hallar núcleos estructurales que fueran simbólicamente idénticos para las dos teorías, pero la identidad de las mismas sería sólo aparente. Es decir, las dos utilizarían teorías distintas del espacio-tiempo para especificar sus funciones teóricas” (Kuhn, 1977, p. 156). El autor también afirma que con las anomalías las leyes de una teoría son revisadas y modificadas para tratar de superarla, sin embargo, tras este escrutinio el científico puede hacer ecuaciones que parecen versiones examinadas, pero en realidad las nuevas secuencias de símbolos se conectan con el mundo de una manera muy diferente a las ecuaciones precedentes. En palabras de Kuhn:

Tras una revisión de este tipo —digamos la transición al vocabulario einsteniano— uno puede escribir secuencias de símbolos que parecen versiones revisadas de la segunda ley [de Newton] o de la ley de la gravedad. Pero la semejanza es engañosa, porque en las nuevas secuencias algunos símbolos se conectan a la naturaleza de un modo diferente del que los símbolos correspondientes lo hacían en las antiguas, diferenciando así situaciones que, en el vocabulario anterior, eran las mismas. Son los símbolos utilizados para términos cuya adquisición implicaba leyes que han cambiado de forma con el cambio de teoría: las diferencias entre las viejas leyes y las nuevas se reflejan en los términos adquiridos con ellas. Cada uno de los léxicos resultantes, entonces, da acceso a su propio conjunto de mundos posibles y los dos conjuntos son disjuntos. Las traducciones que involucran términos introducidos con las leyes alteradas son imposibles (2002, p. 95).

En la relatividad de Einstein, la generalización simbólica de la segunda ley de Newton ( $f = ma$ ) (introducida en realidad por Euler) aunque se usará ya no representaría lo mismo que en la mecánica clásica, ya que la segunda ley de Newton, al igual que la mayoría de las generalizaciones simbólicas, es una solución estándar a problemas aprendidos por los estudiantes en su formación científica, en este sentido:

Esta expresión simbólica es, sin embargo, más un esquema de ley que una ley. Hay que volverla a escribir en una forma simbólica diferente para cada problema físico antes de que la deducción lógica y matemática se apliquen a ella. Para la caída libre se convierte en  $mg = \frac{m d^2 z}{dt^2}$  para el péndulo es  $mg \sin \theta = -ml \frac{d^2 \theta}{dt^2}$  para los pares de osciladores armónicos toma la forma de dos ecuaciones, la primera de las cuales se puede escribir así:  $m^1 \frac{d^2 s_1}{dt^2} + k_1 s_1 = k_2 (d + s_2 - s_1)$ ; y así sucesivamente (Kuhn, 1977, p. 442).

En efecto, la segunda ley de Newton es un esquema flexible que permite el hallazgo de relaciones de similitud que dotan con una estructura al mundo o, en palabras de Kuhn, una “*gestalt* newtoniana”. La ecuación de la segunda ley se volvió el centro y el fundamento de la mecánica clásica, y, desde la perspectiva de la lógica, esta puede situarse en el núcleo de la teoría. Con la introducción de la mecánica relativista esta ecuación sufre cambios que modifican esa estructura del mundo newtoniana. Por ejemplo, a partir del principio de equivalencia —que afirma la igualdad entre la masa inerte y la masa gravitatoria— Einstein modifica la segunda ley del movimiento newtoniano para hacerla consistente con la idea de campo gravitatorio. Esta reformulación no solo descubre nuevas relaciones para el término masa, también redefine la noción de aceleración de un cuerpo. Según **Einstein**:

La ecuación de Newton del movimiento en un campo gravitatorio desarrollada completamente es: (Masa inerte). (Aceleración) = (Intensidad del campo gravitatorio). (Masa gravitatoria). Es evidente que sólo en el caso de ser numéricamente iguales las masas gravitatoria e inerte resulta la aceleración independiente de la naturaleza del cuerpo (1986, p. 114).

De ahí que en la relatividad la segunda ley de Newton sea sustituida por una ecuación de campo gravitatorio. Autores como **Popper** (1975) sostienen que ambas teorías poseen puntos en común, por ejemplo, la ecuación de Poisson, sin embargo, para Kuhn dicha ecuación no es newtoniana, sino que es introducida por la mecánica analítica del siglo XVIII. Sin embargo, como lo afirma **Einstein** (1983), esta ecuación tuvo que ser complementada para llegar a la ecuación general de campo, es decir, cuando se está en una condición de  $v < c$  (velocidad inferior a la de la luz) la ecuación general de campo de la relatividad puede reducirse a la ecuación de Poisson usada en la mecánica clásica analítica. No obstante, la ecuación de Poisson es modificada conceptualmente en la taxonomía relativista, ya que “la estructura del campo gravitatorio difiere fundamentalmente de la que está de acuerdo con la teoría de Newton. La diferencia reside en el hecho de que el potencial gravitatorio no posee un carácter escalar sino tensorial” (**Einstein**, 1986, p. 151). Por ello, en la ecuación general de campo Einstein introduce tensores como el de Ricci (R<sub>mv</sub>), el de energía (T<sub>mv</sub>) o el métrico (G<sub>mv</sub>), que son incompatibles con las ecuaciones de la mecánica clásica. Es cierto que la ecuación de Poisson sirve como modelo para la ecuación general del campo de la relatividad, pero, con las alteraciones introducidas en este, los referentes que se toman en ambas ecuaciones varían notablemente.

Podría afirmarse, por otra parte, que al compartir la constante de gravitación universal —escrita como  $G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ —, ambas teorías gozan de un aspecto conmensurable, no obstante, **Einstein** (1986) argumenta que con la introducción de esta constante la estructura de la gravedad descrita en la ecuación general de campo no es la misma que en la mecánica newtoniana, razón por la cual acuña una nueva constante que lleva su nombre y que se expresa como  $G_E = \frac{8\pi G}{c^2}$ , la cual relaciona el tensor de curvatura del campo gravitatorio y el tensor de energía provocado por la materia que genera al campo.

Así, aunque las ecuaciones de Einstein parezcan reformulaciones de las de Newton, estas ya no se relacionan de la misma manera con el mundo (Kuhn, 1977) y, en consecuencia, la relatividad no contendría matemáticamente la mecánica newtoniana. No obstante, Einstein cree que la teoría de la relatividad no modifica *grosso modo* las ecuaciones matemáticas usadas en la mecánica clásica y, en este sentido, la teoría de Newton podría estar contenida como aproximación matemática en la relatividad. Pero **Kuhn** (1977) considera esto como un argumento circular que se basa en el afán de ratificar

una traducibilidad completa, pues, aunque desde el punto de vista matemático las teorías se conserven, desde un punto de vista conceptual no son consistentes entre sí. El mismo **Einstein** sostiene que:

Desde el punto de vista cuantitativo [la relatividad] solo modifica la teoría de Newton en forma mínima, pero desde el punto de vista cualitativo, en cambio, la modificación es profunda. La inercia, la gravitación y el comportamiento métrico de los cuerpos y relojes fueron reducidos a una única cualidad del campo. Dicho campo, a su vez, fue reducido como dependiente de los cuerpos (1983, p. 68).

Por consiguiente, y en consonancia con la tesis de Kuhn, la teoría de la relatividad es inconmensurable con los términos básicos de la mecánica clásica, a pesar de que muchos como **Lakatos** (1975), **Popper** (1983), **Rivadulla** (2003) y el mismo **Einstein** (1986) sostengan que los términos compartidos por dos teorías sucesivas y separadas por una revolución científica son idénticos y, por lo tanto, no son inconmensurables. Por otra parte, **Kuhn** (1989) no ha negado la existencia de términos homónimos entre dos taxonomías, su punto es más bien considerar los términos intraducibles que no comparten las teorías separadas por una revolución científica.

## Conclusión

La noción de inconmensurabilidad captó la atención de Kuhn en el campo de la filosofía de la ciencia y le granjeó muchas críticas por parte de sus contemporáneos. Sus detractores no estaban convencidos de una postura que consideraban irracional e introducía el relativismo en la comprensión de la ciencia hasta asemejarla a una empresa lejana a la lógica. Uno de sus mayores críticos, Popper, sostuvo una fuerte disputa con Kuhn sobre la racionalidad de la ciencia, aquel pensaba que las teorías, luego de falsadas, pueden servir como aproximaciones para las teorías que las reformulan y además contienen. Kuhn, por su parte, alegó que entre dos teorías separadas por una revolución científica no puede haber diálogo coherente, dado que los partidarios de ambas teorías hablan lenguajes distintos y ven el mundo desde visiones diferentes. La disputa entre ambos tuvo como eje el parangón entre la mecánica clásica (Newton) y la teoría de la relatividad (Einstein).

Pero uno de los críticos más acérrimos de Kuhn fue Imre Lakatos, quien también tildó su postura como irracional al considerar que la inexistencia de criterios lógicos hacía de un “cambio científico [...] una especie de cambio religioso” (**Lakatos**, 1975, p. 205), y sin causas racionales para las revoluciones científicas, estas solo podrían ser explicadas por la psicología de masas (**Lakatos**, 1975). Para Lakatos, dentro de una revolución científica una nueva teoría se caracteriza por poseer más contenido empírico y verificado que la anterior, predecir nuevos hechos, explicar los hechos de la teoría rival y añadir conocimiento corroborado. Según esto, las teorías anteriores no son inconmensurables con las nuevas e, incluso, se conservan hasta que haya una teoría más explicativa.

Otras críticas destacadas las recibió Kuhn de autores como **Philip Kitcher** (1993) y **Larry Laudan** (1977). Kitcher revive la imagen clásica de la ciencia, a la que llama *La Leyenda* y, que, a su juicio, tuvo nobles objetivos relacionados con la verdad. El trabajo de Kuhn, sostiene Kitcher, ha planteado muchas preguntas sobre la verdad en la ciencia hasta llegar a cuestionar la existencia de reglas lógicas de inferencia que respalden adecuadamente los hechos, de ahí que para Kuhn la racionalidad sea un producto de la capacidad de la historia de la ciencia de reescribirse. No obstante, para Kitcher no hay un buen sustituto para *La Leyenda*, razón por la cual es necesario justificar el progreso de la ciencia de forma realista. En su opinión, la idea del progreso de la ciencia apela a una imagen de la verdad como relación de representación semántica entre un enunciado y el mundo, es decir, tal enunciado será verdadero si representa adecuadamente el mundo. Es clara pues la oposición de Kitcher a la postura de Kuhn, para quien la ciencia no se desarrolla gracias a que las representaciones científicas del mundo se correspondan con este. Pero Kitcher insiste en que la teoría de la verdad como correspondencia está basada en la vida cotidiana y que esta justifica el comportamiento exitoso de las personas en muchos asuntos. Pero es claro, por



los múltiples ejemplos que Kuhn ofrece en una obra como *La estructura*, que cualquier descubrimiento científico, más que lograr un acercamiento a la realidad de manera absoluta, requiere y a la vez genera un cambio en la forma en que el científico percibe el mundo. Kitcher, como buen realista, sostiene que los descubrimientos científicos solo modifican el sistema cognitivo del hombre de ciencia gracias a sus constantes interacciones con la naturaleza, hasta lograr tener creencias que coinciden mejor con el mundo.

Por otra parte, Laudan dirige sus críticas a las ideas de revolución científica y de inconmensurabilidad. Según él, la revolución científica como fenómeno histórico ha sido un descubrimiento importante, pero Kuhn exagera el carácter significativo de los periodos revolucionarios. En cuanto a la inconmensurabilidad, cuestiona la hegemonía de un paradigma como Kuhn la presenta, en la medida en que, si se revisa con detalle, la historia muestra que pueden darse dos tradiciones de investigación en una misma área y, por lo tanto, no habría inconmensurabilidad. Con respecto a esto, **Laudan** (1977) señala que la mecánica newtoniana no gozó de aceptación, por el contrario, muchos filósofos y pensadores criticaron los fundamentos tanto metodológicos como ontológicos de esta teoría; algo similar habría ocurrido con la revolución lyelliana, dado que el trabajo de Charles Lyell fue altamente criticado en principio. Por esta razón Laudan arguye que es mejor no confiar en la división de la ciencia por periodos y sugiere reconceptualizar la noción de revolución científica como un acontecimiento que ocurre cuando un pequeño grupo de científicos, en un campo muy particular, abandonan una tradición de investigación y adoptan otra casi ignorada o desconocida, sin que entren en competencia.

Ahora bien, las críticas hechas a Kuhn señalan la necesidad de reflexionar en torno a la racionalidad científica, de alguna manera preservarla o pensarla como contingente (que sería el caso de Laudan). Pero en este sentido se destaca el carácter revolucionario que Kuhn atribuye a la actividad científica y que al mismo tiempo invita a repensar su racionalidad. Como se ha mostrado, para el caso de la mecánica clásica y la relatividad es más amplio el grupo de términos inconmensurables que la suma de términos homónimos (compartidos). Por ende, desde la postura kuhniana no sería posible reducir la mecánica de Newton a un caso límite de la relatividad. El resultado de la revolución einsteiniana sería la creación de un nuevo léxico que introduce una estructura nueva de mundo, la cual no es traducible a la estructura de mundo que subyace a la teoría newtoniana, razón de la falta de conservación de muchos de los términos, conceptos, categorías, simbologías matemáticas, perspectivas de mundo y relaciones lexicales entre teorías o con la naturaleza. No obstante, **Einstein** (1983; 1986; 1999) afirma que la teoría de la relatividad contiene la mecánica de Newton, incluso en sentido matemático, dado que las ecuaciones de la mecánica analítica clásica pueden ser derivadas a velocidades pequeñas comparadas con la de la luz y bajo fuerzas despreciables en campos gravitatorios mínimos. Sin embargo, **Kuhn** (2002) señala que ambas teorías son incompatibles y se excluyen, como mínimo, en sus estructuras conceptuales, y dado que las formalizaciones —o generalizaciones— simbólicas se interrelacionan con los referentes del mundo y con los términos o conceptos de una teoría, no es posible hacer una modificación conceptual sin que a su vez se modifique el significado que se representa en la generalización simbólica. De este modo, las ecuaciones de Einstein, que en apariencia son similares a las de Newton, realmente no pueden quedar contenidas en ellas, pues sus significados, referentes y relaciones ya no son los mismos.

### Contribución de los autores

Los autores manifestamos que hemos contribuido mancomunadamente en la redacción, construcción, desarrollo y revisión de todas las partes que componen este manuscrito.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de intereses con instituciones o asociaciones comerciales de cualquier índole.

## Referencias

- Durán, C.** (1996). La evolución de la tesis de la inconmensurabilidad en la obra de Thomas S. Kuhn. *Revista de Filosofía y Política*. **31-32**: 418-428. [www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.2594/pr.2594.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.2594/pr.2594.pdf)
- Einstein, A.** (1983). Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones científicas. Madrid: Sarpe. pp. 1-279.
- Einstein, A.** (1986). El significado de la relatividad. Bogotá: Planeta-De Agostini. pp. 1-192.
- Einstein, A.** (1999). Sobre la teoría de la relatividad general y especial. Madrid: Altaya. pp. 1-140.
- Gentile, N.** (1996). “Holismo semántico e inconmensurabilidad en el debate positivismo-antipositivismo”. En: *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*. **28** (83): 75-95.
- Guicciardini, N.** (2007). La época del punto: El legado matemático de Newton en el siglo XVIII. *Estudios de Filosofía*. **35**: 67-109.
- Hacking, I.** (2013). “Ensayo preliminar”. En: *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, pp. 9-51.
- Hacyan, S.** (2014). Los hoyos negros y la curvatura del espacio-tiempo. México: Fondo de Cultura Económica. pp. 1-130.
- Kitcher, P.** (1993). *The Advancement of Science. Science without legend, objectivity without illusions*. New York: Oxford University Press. pp. 1- 432.
- Kuhn, T. S.** (1977). Cambio de teoría como cambio de estructura: comentarios sobre el formalismo de Sneed. *Teorema*. **7** (2): 141-166. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2045975>
- Kuhn, T. S.** (1989) ¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos. Barcelona: Paidós. pp. 9-151.
- Kuhn, T. S.** (1993). *La Tensión Esencial*. México: Fondo de Cultura Económica. pp. 1-381.
- Kuhn, T. S.** (2002). *El camino desde la Estructura*. Barcelona, España: Paidós.
- Kuhn, T. S.** (2013). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I.** (1975). La falsación y la metodología de los programas de investigación científica. En I. Lakatos, & A. Musgrave (Eds), *La crítica y el desarrollo del conocimiento* (pp. 203-343). Barcelona: Grijalbo S.A.
- Lorenzano, P. & Nudler O.** (eds). (2012). *El camino desde Kuhn: La inconmensurabilidad hoy*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Lovett-Cline, B.** (1980). Los creadores de la nueva física. México: Fondo de Cultura Económica. pp. 1-344.
- Laudan, L.** (1977). *Progress and its Problems. Towards a theory of scientific growth*. Berkeley: University of California Press.
- Maudlin, T.** (2014). *Filosofía de la física*. México: Fondo de Cultura Económica. pp. 1-282.
- Moulines, C. U.** (2011). *El desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 1-186.
- Newton, I.** (2011). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Alianza Editorial. pp. 8-728.
- Poggi-Valardo, H. M., Bátiz y Sólorzano, M. E., Pineda-Cruz, J. A., Caffarel-Méndez, S.** (2006). Cuaderno de tecnología Núm. 5 *Mecánica Clásica*. México: Tecnológico de estudios superiores ECATEPEC. pp. 1-102.
- Popper, K. R.** (1975). La ciencia normal y sus peligros. En I. Lakatos, & A. Musgrave (Eds), *La crítica y el desarrollo del conocimiento* (pp. 149-157). Barcelona: Grijalbo.
- Popper, K. R.** (1983). La racionalidad de las revoluciones científicas. *Teorema*. **13** (1-2): 109-140.
- Rivadulla, A.** (2003). Inconmensurabilidad y relatividad. Una revisión de la tesis de Thomas Kuhn. *Revista de Filosofía*. **28** (2): 237-259.
- Rivadulla, A.** (2012). La tesis de la inconmensurabilidad y el desarrollo de la física. En P. Lorenzano & O. Nudler (eds.), *El camino desde Kuhn: La inconmensurabilidad hoy* (pp. 383-398). Madrid: Biblioteca Nueva.
- Romero, Á. E.** (2007). La búsqueda de los principios fundamentales de la mecánica: Euler y d’Alembert. *Praxis Filosófica*. **24**: 21-43.