

# *Inconmensurabilidad y relatividad.*

## *Una revisión de la tesis de Thomas Kuhn<sup>1</sup>*

Andrés RIVADULLA RODRÍGUEZ

Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia  
Universidad Complutense de Madrid

### **Resumen**

En las páginas siguientes voy a analizar la eficacia filosófica de la doctrina de la inconmensurabilidad, en particular la tesis, que ésta toma de la filosofía del lenguaje, de que cambios de significado de los términos compartidos por teorías competidoras tras una revolución científica comportan cambios de referencia. La propia idea de que los términos cambian radicalmente sus significados será discutida, y la supuesta inconmensurabilidad del término *masa* será criticada detalladamente. La teoría de la relatividad, que ha suministrado buena parte de los ejemplos más característicos de inconmensurabilidad, constituye también el banco de prueba en el que testar su viabilidad. Mi propuesta alternativa consiste en que la inconmensurabilidad se restringe a las cosmovisiones científicas, y, si acaso muy en último lugar, al léxico de las teorías. Finalmente sugiero que el problema de la inconmensurabilidad se disuelve completamente desde una perspectiva instrumentalista de las teorías o modelos teóricos de la ciencia, en la que tales cosmovisiones no son sino meras herramientas para manejarnos con la Naturaleza.

*Palabras clave:* cambio de significado, determinación de la referencia, inconmensurabilidad, teoría de la relatividad, análisis dimensional, invariancia relativista de la masa, instrumentalismo.

---

<sup>1</sup> Este artículo lo he realizado durante el desarrollo de un proyecto de investigación sobre *Modelos Teóricos en Física*, de referencia BFF2002-01244, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de España.

Agradezco a un informador anónimo sus interesantes comentarios relativos a una versión anterior de este trabajo.

## Abstract

The aim of this paper is to discuss the philosophical viability of the incommensurability doctrine. In particular I am going to analyse the thesis that changes in meaning of the terms shared by competing theories after a scientific revolution imply reference changes as well. The idea that terms change radically their meanings will be discussed, and the alleged incommensurability of *mass* will be criticized in detail. Relativity theory, which has provided most of the characteristic examples of incommensurability, becomes also the realm in which to put to the test the viability of this doctrine. My own proposal on incommensurability amounts to restricting its validity to the domain of worldviews, and last to the theoretical vocabulary. I finally suggest that the incommensurability problem disappears in the framework of an instrumentalist point of view on theories and theoretical models. From this viewpoint such worldviews become merely useful tools in order to deal with Nature.

*Keywords:* meaning change, determination of reference, incommensurability, relativity theory, dimensional analysis, relativistic mass invariance, instrumentalism.

## 1. Introducción

Treinta años después de la publicación de *Estructura*, y ya próximo al declinar de sus días, Thomas Kuhn (1993, p.314) seguía pensando que la noción de incommensurabilidad constituía la mayor novedad filosófica que introdujo en su libro. Transcurridos ocho lustros se hace preciso revisar a fondo la viabilidad de esta idea, quizás la que más amplia repercusión ha tenido en la filosofía actual de la ciencia.

Según la tesis de la incommensurabilidad, prácticamente común a principios de los años sesenta a Kuhn y Feyerabend<sup>2</sup>, ni el recurso a la experiencia, ni el recurso a la argumentación lógica, constituyen instancias determinantes para la elección racional entre teorías separadas por una revolución científica. El problema de la incommensurabilidad es muy complejo. Luis Fernández Moreno (1997a, p. 421) precisa que hay tres componentes en el concepto de incommensurabilidad: el semántico, más acorde con la última concepción de Kuhn, el metodológico y el ontológico. Según Fernández Moreno, el aspecto semántico consiste en que dos teorías son incommensurables cuando los lenguajes en que están expresadas no son intertraducibles. El aspecto metodológico de la incommensurabilidad pone de manifiesto la

---

<sup>2</sup> La tesis de la incommensurabilidad apareció formulada en 1962 simultáneamente por Kuhn (1970a) y Feyerabend (1981a).

inexistencia de una base neutral para la comparación de las teorías, con lo que la elección de una de ellas carece de justificación racional. Finalmente, el componente ontológico destaca el hecho de que teorías inconmensurables poseen compromisos ontológicos diferentes e incluso incompatibles. Fernández Moreno concluye que, aunque estos tres aspectos están relacionados, en el debate actual la inconmensurabilidad se entiende como una tesis semántica. En mi opinión, Fernández Moreno acierta plenamente en su diagnóstico. No obstante los tres aspectos tienen que ser tenidos en cuenta, si queremos comprender correctamente la relevancia que la tesis de la inconmensurabilidad tiene para la racionalidad de la ciencia.

La tesis de la inconmensurabilidad admite pues muchos matices. Así, Hartry Field (1973, p.479) la concibe como “the thesis that the earlier and later terms cannot objectively be compared with respect to referential properties.” Arthur Fine (1975, p. 18) entiende por su parte que: “The new philosophy of science [Fine piensa en Feyerabend, Hanson, Kuhn, Toulmin, y otros. A.R.] contends that although there may be terms shared by different theories, the concepts marked by these terms (in important and typical cases) will have changed so radically in the move from one theory to another as to preclude the use of ordinary logical or evidential tools.” Más modernamente Howard Sankey (1997, p. 425) afirma que la tesis de la inconmensurabilidad “is the thesis that the content of some alternative scientific theories is incomparable due to translation failure between the vocabulary the theories employ”. Y Hoyningen-Huene (2002, p.64) afirma que “El núcleo de la inconmensurabilidad consiste en que las teorías que se relevan, y entre las que media una revolución científica, no trabajan con exactamente los mismos conceptos.”

La idea de inconmensurabilidad ya había sido expresada implícitamente empero antes de Kuhn y Feyerabend por Norwood Russell Hanson (1958) en su análisis del problema de la conexión lógica entre los lenguajes de la física clásica y cuántica. Según Hanson (1958, p. 154) “Languages of so different a conceptual structure cannot *simply* mesh...; their logical gears are not of the same type.”

La causa de la inconmensurabilidad reside básicamente, según T. S. Kuhn (1970a), en el cambio de significado que experimentan los términos compartidos en el tránsito de una teoría a otra. En efecto, para justificar que la mecánica newtoniana (MN) no es derivable de la dinámica relativista (TR), Kuhn (1970a, p. 102) afirma: “This need to change the meaning of established and familiar concepts is central to the revolutionary impact of Einstein’s theory [...] Just because it did not involve the introduction of additional objects or concepts, the transition from Newtonian to Einsteinian mechanics illustrates with particular clarity the scientific revolution as a displacement of the conceptual network through which scientists view the world.” Tal cambio de significado, reconoce Kuhn (1983, p. 669) hacía imposible definir los términos de una teoría en el vocabulario de la otra, y la tesis de la inconmensurabilidad acabó convirtiéndose, ya desde el Postscript de 1969

–incluido en Kuhn (1970a)- y en adelante, en la doctrina de la intraducibilidad de teorías separadas por una revolución científica. Howard Sankey (1997, p.428) resume de modo preciso la idea de la inconmensurabilidad diciendo que dos teorías son inconmensurables, si y sólo si: (i) tiene lugar una variación del significado en el vocabulario de las dos teorías, (ii) falla la traducción entre las teorías, y (iii) como consecuencia de ambas situaciones el contenido de ambas teorías no puede ser comparado.

A partir de los años 80, la inconmensurabilidad pasó a ser considerada un fenómeno de efecto *local*, restringido a la intraducibilidad de algunos términos. No obstante Kuhn no se desdijo de su afirmación más relevante para la filosofía de la física, a saber: que MN no es derivable de TR.

## 2. Cambios de significado e inconmensurabilidad

La doctrina de la inconmensurabilidad afirma la imposibilidad de traducción de los conceptos de teorías competidoras debido a su pertenencia a contextos teóricos incompatibles. Esta doctrina asume el carácter contextual del significado de los términos teóricos de la ciencia, con lo que cambios de teoría deben comportar cambios de significado.

La tesis de la definición contextual del significado es de origen fregeano. Gottlob Frege la introduce en sus *Fundamentos de la aritmética* de 1884 como la concepción de que un término sólo tiene significado en el contexto de una frase. Denominada también *principio del contexto*, afirma, en palabras de Anthony Kenny (1997, p.76) que “No se debe preguntar por el significado de una palabra aislada, sino en el contexto de una proposición”. Este mismo principio, rebautizado por Michael Dummett (1993, p. 97), como *tesis de la dependencia*, asevera “that it is possible to grasp the sense of a word only as it occurs in some particular sentence”<sup>3</sup>.

La tesis de la contextualidad del significado ha calado profundamente en la filosofía actual de la ciencia, donde ha adquirido carta de naturaleza. Ernest Nagel (1961, p. 83) la asume ya plenamente: “theoretical notions cannot be understood apart from the particular theory that implicitly defines them. [...] Accordingly, when the fundamental postulates of a theory are altered, the meanings of its basic terms are also changed, even if (as often happens) the same linguistic expressions continue to be employed in the modified theory as in the original one. [...] in consequence of the changed theoretical content of the new theory, the observationally identifiable regularities that are formulated by experimental laws and explained by

---

<sup>3</sup> Manuel García Carpintero (1996, Cap. VI, § 1) lleva a cabo un tratamiento mucho más propio de la filosofía del lenguaje del *principio del contexto* en relación con el *principio de composicionalidad*.

both the original and the modified theory receive what are in fact different theoretical interpretations.”

Mario Bunge (1973, p.53) mantiene también por su parte en “A Programm for the Semantics of Science” que “In an axiomatized factual theory [...] it is the axioms in which the construct occurs that ultimately determine its sense”. Y añade que “Sense is contextual: ..., the sense of a construct belonging to a theory is assigned by a good portion of the whole theory –in fact by all the constructs that are logically related to the given construct. Change the theory and ‘the same’ construct (...) is likely to change its sense, even though its reference may remain invariant. Therefore the concept of sense should be relativized to a theory.”

Ésta es igualmente la opinión de Raimo Tuomela (1973, pp. 122-123), para quien “The meanings of the extralogical predicates of a formalized scientific theory ... are in general determined by the entire theory. That is, they are determined by the syntactical formation rules, logical and mathematical axioms as well as the rules of derivation of the language of the theory, by all the scientific axioms (and theorems) of the theory and by the adopted semantical rules.” La teoría ofrece pues una definición implícita de sus términos.

Un paso muy importante en el proceso de consolidación de la tesis de la contextualidad del significado de los términos de una teoría lo da Joseph Sneed (1971, p. 31) cuando afirma que el carácter teórico de un término es siempre relativo a una teoría. Por ello establece la distinción entre ‘función teórica respecto a (una teoría)  $T$ ’, o sea *función  $T$ -teórica*, y ‘función no teórica respecto a  $T$ ’, e. d. *función  $T$ -no-teórica*, radicando la diferencia en que las primeras son aquellas “cuyos valores *no pueden ser determinados* sin tener en cuenta las leyes de la teoría  $T$ , mientras que las funciones con valores calculables sin necesidad de recurrir a  $T$  se consideran  *$T$ -no-teóricas*”<sup>4</sup>. Así el término *masa* es teórico respecto a MN, mientras que *distancia* no lo es, aunque sí es teórico respecto a TR. El compromiso con la concepción contextual del significado lo expone Sneed (1983, p.352) en una de las tesis fundamentales del estructuralismo: “The meaning of terms referring to theoretical elements in a theory depends on the theory’s empirical claims and may change as the theory develops normally”. O como añade más adelante: “Structuralism views the meaning of terms referring to theoretical elements as possibly changing in both normal and revolutionary development of empirical science in a way that realism rejects.” Finalmente, Wolfgang Stegmüller (1979, p.66 y p.71) se hace eco de la distinción sneediana entre funciones  *$T$ -teóricas* y  *$T$ -no-teóricas*, a fin de identificar a la incommensurabilidad teórica como la mayor dificultad que entraña el progreso científico en el caso revolucionario: “two theories claiming to explain the same empirical phenomena are theoretically incommensurable, briefly: *inc<sub>t</sub>*, if the theoretical superstructures of the two theories are different.”

<sup>4</sup> Cfr. Rivadulla (1986, p. 192).

Paul Feyerabend (1981a, §7) es uno de los defensores más agudos de la tesis del cambio de significado. Para él el postulado de la invariancia del significado es incompatible con la práctica científica: “Our argument against meaning invariance...proceeds from the fact that usually some of the principles involved in the determination of the meanings of older theories or points of view are inconsistent with the new, and better, theories. It points out that it is natural to resolve this contradiction by eliminating the troublesome and unsatisfactory older principles and to replace them by principles, or theorems, of the new theory. And it concludes by showing that such a procedure will also lead to the elimination of the old meanings and thereby to the violation of meaning invariance.”

A la vista de lo expuesto, la tesis de la dependencia contextual del significado de los términos descriptivos de las teorías aparece tan arraigada, que cualquier cuestionamiento de la misma corre el riesgo de convertirse en reo de anatema. No obstante el problema del cambio de significado de los términos compartidos, y su supuesta secuela: el del cambio de referencia, son cuestiones harto controvertidas. En efecto, en TR las magnitudes primitivas, *posición* y *tiempo* no sufren más modificación que el reconocimiento de que dependen del sistema de referencia en que se miden, y lo mismo sucede con magnitudes derivadas tales como: velocidad, aceleración, cantidad de movimiento, fuerza, energía, intensidad del campo eléctrico, del campo magnético, etc. Así pues, ni las magnitudes primitivas cambian radicalmente su significado con el paso de MN a TR, ni las magnitudes derivadas se definen de modo diferente. Además, como señala Ana Rosa Pérez Ransanz (1999, pp. 107-108), “en los años ochenta la noción de taxonomía adquiere abiertamente el lugar central en el análisis de la incommensurabilidad”, de forma que una *formulación taxonómica* de la incommensurabilidad rezaría: “*dos teorías son incommensurables cuando sus estructuras taxonómicas no son homologables*”, si bien los cambios taxonómicos pueden ser perfectamente locales. En efecto, según Kuhn (1990, p. 5) “Incommensurability thus becomes a sort of untranslatability, localized to one or an other area in which two lexical taxonomies differ”.

Pues bien, pensemos en términos considerados *a priori* como homólogos en MN y TR: velocidad, fuerza, masa, momento, energía, etc. ¿Acaso no son realmente homólogos? Es verdad que las geometrías subyacentes a ambas teorías son incompatibles: tridimensional euclídea en el caso de MN, cuatridimensional pseudoeuclídea en el de TR. Pero en ambas el concepto de ‘fuerza’, por tomar un ejemplo típico de Kuhn, se define analíticamente como la variación del cuatrimomento con el tiempo:  $f^\mu = \frac{dp^\mu}{d\tau}$ , y la masa, al igual que en mecánica clásica, constituye la constante de proporcionalidad entre la cuatrifuerza y la cuatriaceleración:  $m = \frac{f^\mu}{a^\mu}$ .

Podemos también comparar las componentes espaciales de las magnitudes vectoriales de TR con las componentes vectoriales newtonianas correspondientes, y constatar en qué divergen<sup>5</sup>.

Por otra parte, si como quiere Kuhn desde 1969, aceptamos que la traducibilidad entre teorías separadas por una revolución científica es una tarea importante en física, parece indiscutible que la física dispone de una herramienta infalible para garantizar la homología de las magnitudes. Se trata del *análisis dimensional*<sup>6</sup>, gracias al cual podemos determinar que el momento relativista es un momento, que la ‘masa relativista’ es una masa, que la ‘energía en reposo’ es una energía, que la edad del Universo que se deduce en cosmología teórica se mide en unidades de tiempo, o que el *radio de Schwarzschild*, al que colapsan estrellas masivas cuando implosionan para formar agujeros negros, tiene unidades de longitud<sup>7</sup>, etc., etc. Ahora bien, ello supone que términos compartidos por teorías separadas por revoluciones científicas son homólogos. Y si lo son, entonces no pueden ser incommensurables. En particular MN y TR producirían cosmovisiones incommensurables, pero su incommensurabilidad no se trasladaría automáticamente a sus términos compartidos, que, siendo homólogos, no serían incommensurables. De lo contrario la física, como actividad científica, sería impracticable.

La relevancia del análisis dimensional para el problema de la incommensurabilidad también lo ha destacado Brigitte Falkenburg (1997, §§ 3, 8 y 9) de modo rotundo y preciso en relación con el axioma arquimedeano, según el cual “we may extend the familiar scales of physical quantities such as mass or length to subatomic or cosmological domains [...] Inneratomic, terrestrial, and cosmological distances, however, are subject to quantum theory, classical physics, and the special and general theories of relativity. Since these theories are incommensurable in Kuhn’s sense, the Archimedean axiom has direct import for the question of whether incommensurable theories necessarily give rise to the incommensurability of physical concepts that express measurable magnitudes such as mass or length. If the axiom is empirically valid the *measured* quantities in the subatomic, terrestrial, and celes-

<sup>5</sup> Divergen simplemente en una constante de proporcionalidad  $\gamma = \left[1 - (v/c)^2\right]^{1/2}$ , conocida como constante de Einstein, que aparece en las fórmulas de TR, y que por lo demás es adimensional.

<sup>6</sup> Sobre análisis dimensional puede consultarse Julio Palacios (1964), así como González de Posada, F. & González Redondo, F. (2002). González de Posada (1994) propone la base teórica del análisis dimensional.

<sup>7</sup> Cfr. Rivadulla (2003, cap. V § 4.2.3.). Las *unidades de Planck*, *longitud de Planck*  $l_p = (G_N \hbar / c^3)^{1/2} = 10^{-35}$  m, *masa de Planck*  $m_p = (\hbar c / G_N)^{1/2} = 10^{-8}$  kg, y *tiempo de Planck*  $t_p = (G_N \hbar / c^5)^{1/2} = 10^{-43}$ s, usadas en gravitación cuántica y cosmología teórica, dan buena muestra del uso del análisis dimensional. En estas fórmulas  $G_N$  denota la constante newtoniana de gravitación universal,  $\hbar$  es la constante de Planck racionalizada, y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío. En estas expresiones se mezclan elementos de tres teorías incommensurables (tres cosmovisiones) entre sí: la mecánica clásica, la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad.

tial domains are *not* incommensurable in Kuhn's sense, in the context of axiomatic measurement theory." El punto de vista de Falkenburg es congruente con mi idea de que el reino de la incommensurabilidad son las teorías, y ésta afecta a sus vocabularios sólo en última instancia. El pluralismo de cosmovisiones incommensurables en sentido de Kuhn tampoco supone necesariamente un mundo fragmentado en objetos diferentes.

En su demoledora reseña de *Estructura* Steven Weinberg (1998, p.50), uno de los científicos más influyentes en el desarrollo de la física teórica de las cuatro últimas décadas, próximo en filosofía de la física a una orientación realista, sugiere una distinción entre lo que cambia y lo que no cambia en toda revolución científica, una distinción que obviamente no vio Kuhn. Lo que no cambia es la parte 'fuerte' de las teorías físicas, a saber: "the equations themselves, together with some understandings about what the symbols mean operationally and about the sorts of phenomena to which they apply". Lo que cambia es la parte 'blanda', a saber "the vision of reality that we use to explain to ourselves why the equations work." Interpretado a mi manera, la incommensurabilidad se refugia en las cosmovisiones incompatibles que producen teorías competidoras separadas por revoluciones científicas.

La idea de que conceptos homólogos no pueden ser incommensurables nos sirve para encarar el segundo aspecto importante de la tesis de la incommensurabilidad, a saber, la tesis de la determinación de la referencia por el significado, y la posibilidad de cambios de referencia motivados por cambios de teoría<sup>8</sup>. A esta cuestión dedicaremos las dos secciones siguientes.

### 3. Cambios de referencia e incommensurabilidad

Michael Dummett (1993, p.97, nota 4 al pie) sostiene la tesis fregeana de que el sentido consiste "in the way in which the referent is determined". En efecto, según Frege, el sentido de un término indica el modo de presentación del objeto. Frege (1984, pp. 50-51) enuncia este principio en "Sobre sentido y referencia", 1892. Esta idea proporciona la base de la tesis, que Frege, Searle y Strawson sostienen, de que *el sentido de un término determina su referencia*.

La cuestión es que si esta tesis se toma al pie de la letra, entonces todo cambio de teoría produce una variación del significado de sus términos descriptivos, la cual a su vez repercute en una variación de la referencia. Esta tesis es asumida por Kuhn (1970*b*, Sección 6), quien caracteriza el problema de la incommensurabilidad de la

---

<sup>8</sup> Aunque solo de pasada merece la pena indicar que la noción kuhniana de commensurabilidad como 'igualdad de significado' le parece a Rorty (1979, p. 316, nota 1) frágil, y por consiguiente poco útil. A ello se añade que para Rorty (1979, p. 294) una teoría de la referencia le parece imposible (hopeless).



manera siguiente: “Con el paso de una teoría a la que le sigue, las palabras transforman sus significados o las condiciones de su aplicabilidad de una forma muy sutil. Aunque mayormente se utilizan los mismos signos antes y después de la revolución –p. e. fuerza, masa, elemento, compuesto, célula- se ha modificado de alguna manera el tipo y modo de su aplicación a la naturaleza. Por ello decimos que las teorías sucesivas son inconmensurables.”

Arthur Fine (1975, p.21) denomina *Kuhn's view* el punto de vista de que un cambio de teoría puede producir un cambio de referencia a medida que los conceptos evolucionan. Una de las expresiones más claras de este punto de vista la ofrece quizás el propio Kuhn (1987, p.19) cuando asevera: “roughly speaking, the distinctive character of revolutionary change in language is that it alters not only the criteria by which terms attach to nature but also, massively, the set of objects or situations to which those terms attach”. La consecuencia que extrae Kuhn (1987, p.20) es que “What characterizes revolutions is, thus, change in several of the taxonomic categories prerequisite to scientific descriptions and generalizations. That change, furthermore, is an adjustment not only of the criteria relevant to categorization, but also of the way in which given objects and situations are distributed among preexisting categories.”

Siguiendo a Kuhn, Wolfgang Stegmüller (1979, p.72) decide introducir el concepto de *inconmensurabilidad empírica, inc<sub>e</sub>*, a fin de ‘hacer justicia al hecho’ de que teorías inconmensurables no se refieren ‘a lo mismo’. Éste es supuestamente el caso entre las mecánicas clásica y relativista de partículas, las cuales por ser respectivamente invariantes Galileo e invariantes Lorentz, “no longer concern *the same* ‘empirical systems’”. En consecuencia, “Newtonian mechanics *NM* is not reducible to relativistic mechanics *RM* because of the relation *NM inc<sub>e</sub> RM*”. Éste es el mismo argumento que utiliza Kuhn cuando afirma que los referentes de ambas teorías son distintos, por lo que la primera no puede ser derivada matemáticamente de la segunda. Naturalmente Stegmüller asume implícitamente como verdadera la siguiente relación: *inc<sub>f</sub> → inc<sub>e</sub>*. Un ejemplo muy claro de cómo Stegmüller (1979, p.76) se adhiere a la tesis de que el significado determina la referencia es el siguiente: Supongamos un dominio de fenómenos descrito en base de los términos básicos de dos teorías diferentes, que por consiguiente tienen significados distintos: “If these basic terms *get different meanings...*, then it is not only misleading, but *incorrect* to speak in the two cases of *the same phenomena*.”

No obstante, la idea de que el sentido determina la referencia, mucho más controvertida que la de la definición contextual del significado, no es generalmente aceptada. En particular es rechazada por los epistemólogos realistas. Así por ejemplo, Mario Bunge (1973, p.53) mantiene que aunque con un cambio de teoría el sentido de un término puede cambiar, su referencia puede permanecer invariante. De hecho Bunge (1974, pp. 66-67) mantiene que dos teorías son *referencialmente con-*

*mensurables* si sus clases de referencia, e. d. sus universos de discurso, no son disjuntas. En este sentido, MN y TR lo son, pues “if this were not the case then there would be no more ground for preferring one of the theories over the other than for preferring Newton to Vivaldi.”

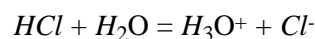
En contra de la tesis de la variación de la referencia debida al cambio de significado se manifiesta Arthur Fine (1975, p. 19) en un primer análisis del problema recurriendo al ejemplo siguiente: “one distinguishes the concept of an acid marked in one theory, say, as a substance containing hydrogen which may be replaced by a metal to form a salt, from the concept marked in another theory as a substance having the ability to free hydrogen ions in solution. Surely these concepts are different –as Frege might say, ‘acid’ is presented here in different modes- but it does not follow that the reference of ‘acid’ is different.”

El estudio de ácidos y bases se remonta en la época moderna a Robert Boyle, quien ya dio algunos de los indicadores de los ácidos: eran disolventes, enrojecían el papel de tornasol, y perdían estas propiedades cuando reaccionaban con álcalis. Lavoisier supuso, además, que los ácidos debían contener oxígeno. Pero Sir Humphrey Davy (1778-1829) determinó en 1815 que la acidez se debía a la presencia de Hidrógeno, ya que ácidos como el clorhídrico o el yodhídrico no contienen oxígeno. El premio Nobel de química de 1903, Svante August Arrhenius (1859-1927), desarrolló su tesis de la *disociación iónica*, primeramente en su tesis doctoral de 1884, y posteriormente en 1887. Según esta teoría, todo ácido en una solución acuosa libera el ión  $H^+$ , es decir un *protón*, mientras que las bases liberan en solución acuosa el ión *hidroxilo*  $OH^-$ . La combinación de un ácido y una base se expresa en la famosa receta: ácido + base = sal + agua. A raíz de estas propiedades de ácidos y bases la distinción que Fine establece, a saber: dos conceptos diferentes de *ácido* (i) sustancia que contiene hidrógeno susceptible de ser sustituido por un metal para formar una sal, y (ii) sustancia capaz de liberar hidrógeno en una solución, parece forzada, pues la propia teoría de Arrhenius concede íntegramente ambas propiedades a los ácidos: sustancias que en solución liberan protones, y que tienen la capacidad de combinarse con bases para formar sales. Con lo que el ejemplo de Fine no parece el mejor apoyo a favor de la idea de que el significado no determina la referencia.

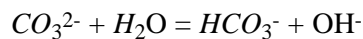
El desarrollo posterior de la química aconsejó considerar “que un *ácido* no es necesariamente una sustancia que se disocia para dar un protón, sino más bien que es una molécula *capaz de transferir o donar un protón* a otra molécula.”<sup>9</sup> Por lo que respecta a las bases, se descubrió que no todas ellas contienen iones hidroxilo. Por ejemplo el amoníaco  $NH_3$  neutraliza perfectamente al ácido clorhídrico  $HCl$ , produciendo cloruro amónico  $NH_4Cl$ . La teoría de Arrhenius acerca de ácidos y bases

<sup>9</sup> Cfr. Bruce M. Mahan & Rollie J. Myers (1990, p.182).

necesitaba ser revisada. Actualmente la teoría que se sostiene es la que propusieron independientemente en 1923 Johannes Nicolaus Bronsted (1879-1947) y Thomas Martín Lowry (1874-1936): *ácido* es toda sustancia capaz de donar protones, mientras que *base* es toda aquella capaz de aceptarlos. Una misma sustancia, como el agua, puede actuar como ácido o como base. Por ejemplo:



En esta reacción el agua actúa como base para producir el ion Hidronio y el ion Cloruro. Pero en la siguiente reacción



el agua actúa como ácido sobre el ion carbonato para producir el ion hidrogenocarbonato y el ion hidroxilo.

Sin duda estos cambios en los conceptos de *ácido* y *base* que muestra el desarrollo de la teoría química pueden ser tomados por cualquier inconmensurabilista radical para traer el agua a su propio molino. Pero en tal caso estaríamos ante constantes cambios inconmensurables de significado de los términos ‘ácido’ y ‘base’ que revelarían una teoría química con un desarrollo histórico ciertamente frívolo. Lo que se constata de hecho en el relato expuesto es un empeño por ajustar los conceptos de ácido y base de forma más acorde con los datos de experiencia en un proceso que en ningún caso pone al descubierto ninguna sucesión de episodios revolucionarios de la historia de la química teórica.

En su teoría causal de la referencia Hilary Putnam (1975a) y (1975b) mantiene la estabilidad de la referencia, fijada de una vez por todas, en el cambio de teoría. Esta idea hace posible la *convergencia*<sup>10</sup> entre teorías sucesivas, según la cual las teorías sustitutorias deben contener a las teorías sustituidas como casos límite. Un ejemplo típico de estabilidad de la referencia es la del término *electrón*, sobre la que Putnam (1975b, p. 275) se manifiesta del modo siguiente: “no hay nada en el mundo que se adecúe *exactamente* a la descripción de Bohr de un electrón. Pero hay partículas que se ajustan *aproximadamente* a ella: tienen la carga y masa correctas y, lo que es más importante, son responsables de los *efectos* clave de los que Bohr pensaba que eran responsables los ‘electrones’. El Principio de la Duda Razonable dictamina que consideremos que Bohr y otros expertos se refieren a *estas* partículas cuando introdujeron y ahora emplean el término ‘electrón’”. En *Razón, verdad e historia*, en plena época *internalista*, Hilary Putnam (1981, p. 114) vuelve de nuevo al ejemplo del electrón: Si la tesis de la inconmensurabilidad de Kuhn –según

<sup>10</sup> Sobre el *realismo convergente* de Putnam, *cfr.* Rivadulla (1986, pp. 306-307).

la cual “scientists with different paradigms inhabit ‘different worlds’”- fuera verdadera, entonces “‘Electron’ as used around 1900 referred to objects in one ‘world’; as used today it refers to objects in quite a different ‘world’”. La consecuencia que Kuhn y Feyerabend sostienen es la imposibilidad de la traducción. Pero como Putnam asevera, “To tell us that Galileo had ‘incommensurable’ notions *and then go on to describe them at length* is totally incoherent.”.

La contribución de Putnam (1981, pp. 116-117) a la solución del problema de la incommensurabilidad es su distinción entre *concepto* y *concepción*: “Perhaps the reason that the incommensurability thesis intrigues people so much,..., is the tendency to confuse or conflate concept and conception. [...] When we translate a word, say, *temperature* we equate the reference and ,..., the sense of the translated expression with that of our own term ‘temperature’, at least as we use it in that context. (...) In this sense we equate the ‘concept’ in question with our own ‘concept’ of temperature. But so doing is compatible with the fact that the seventeenth-century scientists, or whoever, may have had a different *conception* of temperature, that it is a different set of beliefs about it and its nature than we do, different ‘images of knowledge’, and different ultimate beliefs about many other matters as well. That conceptions differ does not prove the impossibility of ever translating anyone ‘really correctly’ as is sometimes supposed.” Así, la concepción actual de *planta* es imposible desvincularla de la fotosíntesis, mientras que la concepción de *planta* de hace dos siglos no incorporaba la función clorofílica. La idea de Putnam (1981, p. 119) pues, es que compartimos referencias (references) y conceptos (concepts) con nuestros predecesores “however different the *conceptions* that we also attribute. Not only do we share objects and concepts with others, to the extent that the interpretative exercise succeeds, but also conceptions of the reasonable, of the natural, and so on.” Para Putnam (*op. cit.*, p.24) es pues erróneo pensar “that almost every scientific discovery changes the reference of our terms”. El descubrimiento de que el agua es  $H_2O$  no supone un cambio de su referencia. La idea de que el significado de un término, contextualmente definido, determina la referencia del término, no constituye pues doctrina aceptada unánimemente en la filosofía contemporánea del lenguaje<sup>11</sup>.

La historia del descubrimiento de los electrones sugiere no obstante, para algunos, planteamientos opuestos a Putnam, posturas que defienden la existencia de una variación radical de la referencia del término *electrón*. A ella se remite precisamente Fine (1975, p. 25) para ilustrar supuestas dificultades inherentes al punto de vista de Putnam: “From the time of its introduction by Stoney in 1891 until just after the charge-to-mass experiments of J. J. Thompson in 1897, ‘electron’ referred to the

<sup>11</sup> Un planteamiento crítico de la teoría causal de la referencia de Putnam lo presenta Fernández Moreno (1997b), para quien esta teoría no refuta la tesis kuhniana de la incommensurabilidad referencial.

unit quantity of electric charge, whether positive or negative. Thereafter, with the increasing acceptance of the particulate nature of electricity, the term was naturally assimilated to the ‘corpuscles’ of Thompson and was used to refer to the ‘particles’ that carry the unit charge of negative electricity.” Fine (*op.cit.*, pp. 25-26) concludes: “So here in the case of ‘electron’, we have a concept evolving *à la* Kuhn, so as to bring with its evolution a shift of reference. The term introduced by Stoney does not refer to the particles we call ‘electrons’; Stoney and Millikan made no mistake about the reference. The term we use these days does not refer to the (unsigned) unit quantity of charge; we are not mistaken about the reference of ‘electron’ either. [...] Contrary to the idea at the root of Putnam’s account, the referent of ‘electron’ as originally introduced is no longer the referent of ‘electron’ (...) Certain particles are now in the reference of ‘electron’ which were not previously in the reference. These particles are now electrons truly; truly, they were not electrons in the year 1891. Of course, this change...marks a change in the reference of ‘electron’.”

Esta reflexión sería sin duda muy de tener en cuenta si contara con una base histórica rigurosa. Ahora bien como expone Rivadulla (2003a, cap. IV, § 1), las ideas de Stoney sobre el electrón como unidad de carga eléctrica coinciden en el tiempo, ya desde 1881, con las ideas de Heinrich Helmholtz sobre la naturaleza corpuscular de la electricidad. Como, por otra parte, el propio Stoney admitía que esta carga eléctrica debía ser portada por un ión monovalente, el ejemplo de Fine no parece especialmente relevante para el tema en discusión.

En términos análogos podríamos pronunciarnos respecto a los supuestos cambios de referencia del término *planeta* destacado por el propio Kuhn: Antes de que ocurriera la revolución copernicana el Sol y la Luna eran planetas, pero la Tierra no; después estos objetos celestes cambiaron su estatus. Según Kuhn (1987, p.8) estos cambios “involved not only changes in laws of nature but also changes in the criteria by which some terms in those laws attached to nature. These criteria, furthermore, were in part dependent upon the theory with which they were introduced.

When referential changes of this sort accompany change of law or theory, scientific development cannot be quite cumulative.” Este ejemplo traído a colación por Kuhn está prendido con alfileres. Pues lo que originariamente hacía de un objeto celeste un *planeta*, no era, como Kuhn parece asumir, que ‘orbitara’ alrededor de la Tierra, sino su movimiento errante o vagabundo *observado desde la Tierra*. Dado el extraordinario componente instrumentalista en la teoría astronómica precopernicana, suponer que un objeto celeste debía ser clasificado en la taxonomía de *planeta* por el hecho de orbitar *realmente* alrededor de la Tierra, implicaría atribuir a la astronomía precopernicana mucho más de lo que sus representantes estarían dispuestos a aceptar, como el propio Kuhn admitiría, si hubiera reparado más en calma en ello. La astronomía precopernicana estaba más preocupada en general por *salvar las apariencias* que por establecer el verdadero curso de los astros.

Para concluir, no habiendo mostrado inequívocamente los ejemplos analizados que un cambio de teoría implica un cambio en la referencia de los términos compartidos, voy a pasar a analizar el supuesto cambio de referencia que acompaña al término *masa* en el paso de MN a TR, pues éste es el ejemplo más característico de inconmensurabilidad aceptado entre filósofos de la ciencia. Por citar un ejemplo traigo a colación a Hoyningen-Huene (2002, pp. 64-65), según el cual “Para la inconmensurabilidad son más interesantes los casos en los que conceptos de la teoría antigua continúan siendo utilizados en la teoría nueva, aunque con un significado algo cambiado. Por ejemplo el concepto de masa se emplea tanto en la mecánica newtoniana como en la teoría de la relatividad, pero no significa exactamente lo mismo en ambas teorías.”

#### 4. Un estudio de caso: la ‘inconmensurabilidad’ del término *masa*

¿Puede ser derivada realmente la dinámica Newtoniana a partir de la dinámica relativista? Ésta es la cuestión que plantea Kuhn (1970a, p. 101). Su respuesta es que esta derivación es espuria. La razón es que “the physical referents of these Einsteinian concepts [space, time, and mass, A.R.] are by no means identical with those of the Newtonian concepts that bear the same name. (Newtonian mass is conserved; Einsteinian is convertible with energy. Only at low relative velocities may the two be measured in the same way, and even then they must not be conceived to be the same.)” Arthur Fine (1975, p. 18) reproduce la idea de Kuhn en los términos siguientes: “controversy goes on as to whether ‘mass’ changes meaning in the transition from Newton to Einstein, as to whether ‘Mass is constant’ in Newtonian mechanics contradicts ‘Mass is not constant’ in special relativity. Kuhn (...) for example, points out ... that Newtonian mechanics cannot be a limiting case, even, of special relativity.” Sucintamente la idea de Kuhn es la siguiente: La mera operación matemática de tomar el límite en fórmulas de TR no convierte ipso facto a las expresiones obtenidas en fórmulas de MN. Éstas siguen siendo fórmulas de TR, aunque su apariencia concuerde con fórmulas conocidas de MN, ya que sus términos constituyentes siguen siendo propios de TR, como lo eran antes de calcular el límite matemático.

Secundando la filosofía kuhniana, Joseph Sneed (1971, pp. 305-306) subraya que “the mass function in classical particle mechanics and the mass function in special relativity theory are to be regarded as two theoretical functions appearing in distinct theories of mathematical physics. One should not expect that means of determining the values of one *necessarily* have anything to do with determining the values of the other. Of course it is an interesting fact that classical particle mechanics stands in a reduction relation to special relativity and that the mass functions in the

theories correspond in this reduction relation. But this should not obscure the fact that these functions have different formal properties and, in this sense, they are associated with different concepts. [...] we are able to be quite precise about what modifications have occurred by comparing the mathematical structure of the two theories in question and looking at the reduction relation holding between them.”

Finalmente Feyerabend (1981a, pp.81-82) se manifiesta del modo siguiente: “in classical, pre-relativistic physics the concept of mass (and, for that matter, the concept of length and the concept of duration) was absolute in the sense that the mass of a system was not influenced (...) by its motion in the coordinate system chosen. Within relativity, however, mass has become a relational concept whose specification is incomplete without indication of the coordinate system to which spatiotemporal descriptions are all to be referred. Of course, the values obtained on measurement of the classical mass and of the relativistic mass will agree in the domain  $D'$ , in which the classical concepts were first found to be useful. This does not mean that what is measured is the same in both cases: what is measured in the classical case is an *intrinsic property* of the system under consideration; what is measured in the case of relativity is a *relation* between the system and certain characteristics of  $D'$ . It is also impossible to define the exact classical concepts in relativistic terms or to relate them with the help of an empirical generalization.” E interpretando a Feyerabend, Gonzalo Munévar (1998, p. 235) afirma que éste “questions the attempt to identify classical mass with relative *rest* mass [...] Where the terms involved have different meanings, then, no derivation is possible. Since this situation will occur in all those cases where a new comprehensive view of the world is born out of conflict, scientific revolutions are marked by the incommensurability of the theories (or paradigms) involved”. Veamos si Kuhn y Feyerabend tienen razón cuando sostienen que *masa Newtoniana* y *masa Einsteiniana* no se refieren a lo mismo. Éste es el núcleo del problema de la inconmensurabilidad, y no si la referencia de ‘masa’ es única.

Para empezar consignemos la opinión de Steven Weinberg (1998, p.49) sobre el supuesto cambio de significado del término *masa* en su reseña de *Estructura*: “the term ‘mass’ today is most frequently understood as ‘rest mass’, an intrinsic property of a body that is not changed by motion, which is much the way that mass was understood before Einstein. Meanings can change, but generally they do so in the direction of an increased richness and precision of definition, so that we do not lose the ability to understand the theories of past periods of normal science”. Veamos a continuación que la teoría especial de la relatividad le da la razón a Weinberg.

Dado el vector cuádrimomento  $p^\mu = mcu^\mu$ , donde  $\mu = 0, 1, 2, 3$  designa<sup>12</sup> sucesivamente las componentes temporal  $p^0 = \frac{E}{c}$  y tres componentes espaciales, entonces

<sup>12</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, §§ 4 y 7.3).

la *norma* o *módulo* del cuadrivector equivale a la raíz cuadrada de la diferencia entre los cuadrados de tales componentes. Si, por razones de simplicidad notacional, nos restringimos a la componente temporal y a una única componente espacial, entonces en un sistema de referencia  $R'$  solidario con una partícula cualquiera que se aleja con velocidad uniforme  $v$  de un sistema de referencia  $R$ , el cuadrado de la norma viene dado como

$$\left| p^\mu \right|^2 = \frac{E'^2}{c^2} - p_x'^2 .$$

Ahora bien, si tenemos en cuenta las transformaciones de Lorentz del momento y la energía<sup>13</sup>:

$$\begin{aligned} E' &= \gamma(E - vp_x) \\ p_x' &= \gamma\left(p_x - \frac{vE}{c^2}\right), \end{aligned}$$

y sustituimos, obtendremos, tras elementales operaciones algebraicas, que

$$\left| p^\mu \right|^2 = \left[ \frac{E^2}{c^2} - p_x^2 \right] = \left| p^\mu \right|^2 .$$

Pero este resultado obliga a admitir que el módulo de un cuadrivector es el mismo, cualquiera que sea el sistema de referencia en que se mida. Las normas o módulos son *invariantes*. Basta ahora calcular el valor de  $\left| p^\mu \right|^2$ , para percatarnos<sup>14</sup> que

$$\left[ \frac{E'^2}{c^2} - p_x'^2 \right] = m^2 c^2 = \left[ \frac{E^2}{c^2} - p_x^2 \right] ,$$

es decir: la masa de una partícula es invariante, pues su valor no depende del estado dinámico del sistema de referencia en que se mida<sup>15</sup>.

Contra lo que afirman Kuhn y Feyerabend, la masa de una partícula es una propiedad invariante de la misma, y las distinciones entre *masa en reposo* o *masa pro-*

<sup>13</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, §7.4.).

<sup>14</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, §7.3: “El teorema relativista de la invariancia de la masa”).

<sup>15</sup> Podemos hacer esto más claro tomando  $c=1$ . Para ello basta expresar el espacio recorrido por la luz en un segundo en unidades de tiempo. Un tratamiento monográfico de este asunto lo llevo a cabo en Rivadulla (2003b).



*pia* y *masa variable* o *relativista* carecen de justificación teórica. La masa de un objeto no varía, tanto si se mide en reposo respecto de un sistema de referencia dado, como si se mide en movimiento respecto del mismo sistema, y nada autoriza a pensar que la referencia del término *masa* ha cambiado con el paso de la mecánica newtoniana a la teoría especial de la relatividad. Ahora bien, éste constituye un ejemplo predilecto en la literatura sobre inconmensurabilidad. Es, podríamos decir, su *ejemplo estrella*. Si la supuesta inconmensurabilidad del término *masa* descansa en gran medida en el cambio de referencia, que no tiene lugar en el paso de MN a TR, entonces la hipótesis de la inconmensurabilidad necesita ser revisada.

Kuhn debería haber previsto, como Weinberg (1998, p. 50) asevera, que “In judging the nature of scientific progress, we have to look at mature scientific theories, not theories at the moments when they are coming into being.”

## 5. Energía relativista de partículas de masa $m$

De la deducción en la sección anterior del módulo del cuádrimomento se sigue que la energía total de una partícula es

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4,$$

Aplicando ahora los valores respectivos de los operadores *energía* y *momento*<sup>16</sup>:  $E = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ , y  $p = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ , y operando sobre la función de onda  $\Psi(x,t)$  de una partícula libre de masa  $m$ , obtenemos

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Psi = m^2 c^4 \Psi - \hbar^2 c^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi,$$

que se conoce como *ecuación de Klein-Gordon*. De ella dice Ynduráin (1990, p. 36), que “es una ecuación inevitable para cualquier función de onda relativista”.

Supongamos ahora un electrón de masa  $m_e$ . Como su energía en reposo es  $E_0 = m_e c^2$ , entonces su energía cinética  $E_c$  será

$$E_c = E_{Total} - E_0 = c \sqrt{m_e^2 c^2 + p^2} - m_e c^2.$$

Pero si se trata del electrón de un átomo hidrogenoide (Cfr. Alonso-Finn 1986, pp. 135-136), su energía relativista será igual a la suma de su energía cinética  $E_c$

<sup>16</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, § 8.1).

más su energía potencial  $E_p$ , o sea:

$$E_{Total} = c\sqrt{m_e^2 c^2 + p^2} - m_e c^2 + E_p .$$

Y si  $p$  es mucho menor que  $m_e c$ , desarrollando la raíz en serie, resulta que

$$E_{Total} = \frac{1}{2m_e} p^2 - \frac{1}{8m_e^3 c^2} p^4 + \dots + E_p = \left( \frac{p^2}{2m_e} + E_p \right) - \frac{p^4}{8m_e^3 c^2} + \dots$$

Como el paréntesis del segundo miembro da el valor clásico de la energía, es decir la energía no relativista del electrón, entonces

$$\Delta E_{relativista} \approx -\frac{p^4}{8m_e^3 c^2} = -\frac{1}{2m_e c^2} \left( \frac{p^2}{2m_e} \right)^2 = -\frac{1}{2m_e} \left( \frac{E_c}{c} \right)^2$$

debe dar la *corrección relativista* de primer orden a la energía total del electrón. En esta expresión *nada indica que la masa  $m_e$  del electrón sea variable*.

## 6. Modelos del Mundo e inconmensurabilidad teórica

¿Es incorrecta la tesis de la inconmensurabilidad? La doctrina de la inconmensurabilidad se apoya en dos premisas supuestamente interdependientes: Por una parte en la tesis de la dependencia contextual del significado de los términos descriptivos de las teorías, y por otra parte en la idea de que el significado determina la referencia. Según la primera, cambios de teoría comportan un cambio de los significados de los términos; de acuerdo con la segunda, tales cambios afectan a los referentes, que también se modifican. Sólo así se explica que, según Kuhn, comunidades separadas por una revolución científica vivan en mundos diferentes.

Ahora bien, en la Sección 2 hemos determinado que, a pesar de la amplia aceptación entre filósofos del lenguaje y de la ciencia, de la tesis fregeana de la definición contextual del significado, los términos compartidos por MN y TR son perfectamente homólogos. Por otra parte, en la Sección 4 hemos revelado el *patinazo* relativista de Kuhn y Feyerabend, atribuyendo al término *masa* discrepancias inconmensurables en ambas teorías, discrepancias que desde luego no existen. ¿Son pues incorrectas las dos tesis en que se basa la doctrina de la inconmensurabilidad, y por consiguiente la tesis de la inconmensurabilidad misma?

Afirmar esto sería ir demasiado lejos. Hemos reconocido que MN y TR se apoyan en geometrías incompatibles: tridimensional euclídea y cuatridimensional pseudoeuclídea, respectivamente. La cuestión clave es: ¿Son estas geometrías

representaciones de la Naturaleza, o más bien modelos instrumentales del Mundo? La geometría tridimensional euclídea es la geometría del espacio de nuestro mundo vital. Todo vector posee tres componentes, y su módulo o norma –extensión del Teorema de Pitágoras válido en el plano– equivale a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes. Tomando como base esta geometría Newton construyó el modelo físico-matemático del Mundo vigente hasta el advenimiento de TR. En este modelo espacio y tiempo constituyen marcos separados e independientes en que se desarrollan los acontecimientos. Los sucesos acontecen en el espacio y en el tiempo. Dos observadores inerciales en movimiento relativo uniforme miden simultáneamente posiciones, velocidades, etc., distintas de un objeto, y relacionan sus mediciones por medio de *Transformaciones de Galileo*.

Las transformaciones de Galileo prohíben que tales observadores puedan medir la misma velocidad de un mismo objeto. Sin embargo hay uno, la luz, cuya velocidad es siempre la misma, con independencia del marco de referencia desde el que se mida. Un nuevo tipo de ecuaciones de transformación, las *Transformaciones de Lorentz*, vino a sustituir a las de Galileo, propias de la mecánica newtoniana. Estas nuevas ecuaciones permiten la transformación no sólo de las mediciones espaciales, sino también de las medidas del tiempo, cuando se llevan a cabo por observadores inerciales en movimiento relativo uniforme. Espacio y tiempo dejan de ser dos entidades separadas e independientes, pasando a fundirse en una nueva entidad, el espacio-tiempo de la teoría de la relatividad<sup>17</sup>. Citado por Roger Penrose (1991, p. 250), Minkowski afirmaba en 1908: “En lo sucesivo el espacio por sí mismo, y el tiempo por sí mismo, están condenados a desvanecerse en meras sombras, y sólo una especie de fusión entre los dos mantendrá una realidad independiente.”

A fin de manejar matemáticamente esta nueva entidad cuatridimensional *more euclideo* se hizo preciso tomar como componente temporal de un evento en el espacio-tiempo la variable imaginaria *ict*. En tales condiciones el módulo de un vector del espacio-tiempo no es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes, sino la raíz cuadrada de la diferencia entre el cuadrado de la componente temporal y la suma de los cuadrados de las tres componentes espaciales.<sup>18</sup> El resultado es el espacio-tiempo cuatridimensional pseudoeuclídeo de la teoría de la relatividad. Este espacio-tiempo es común a las teorías especial y general de la relatividad, radicando la diferencia entre ambas en que para la primera, que no toma en consideración los efectos gravitacionales, el espacio-tiempo es plano, mientras que, para la segunda, está curvado por efecto de la masa y la energía. Si el mundo *real* es cuatridimensional imaginario en este sentido o no, es algo que ni podemos conocer, ni tal vez tenga siquiera sentido preguntar. Lo importante es que el espacio cuatridimensional de Minkowski ofrece un modelo geométrico del Mundo que resulta extraordinariamente efectivo en nuestro manejo con la Naturaleza.

<sup>17</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, § 3).

<sup>18</sup> Cfr. Rivadulla (2003a, Cap. III, § 4).

A la vista de lo expuesto parece imposible no asumir que MN y TR son inconmensurables. Esta inescapable *inconmensurabilidad*, a la que, siguiendo a Stegmüller en Sección 2. arriba, cabe perfectamente calificar de *teórica*, no impide que los términos compartidos por ambas teorías sean homólogos, en particular cuando comparamos las componentes espaciales de los vectores de TR y los vectores correspondientes de MN. Es cierto que el espacio-tiempo de TR es incompatible con el espacio-más-tiempo de MN, y que sus vectores correspondientes lo son también matemáticamente. Pero si además son inconmensurables en el sentido de que hacen imposible la traducción entre ambas teorías, eso es algo cuya prueba exige mucha más argumentación que las alusiones difusas de Kuhn y Feyerabend al respecto. Si a ello añadimos la existencia de magnitudes invariantes relativistas, como la masa, cuya existencia cuestiona seriamente la tesis de que el cambio de teoría comporta cambios de referencia, resulta que la fundamentación filosófica de la tesis de la inconmensurabilidad es hartamente deficiente.

La física dispone de una herramienta de trabajo básica, fundamental e imprescindible para garantizar el uso coherente de magnitudes: el *análisis dimensional*, que pone en cuestión que la inconmensurabilidad entre teorías se traslade automáticamente a sus léxicos correspondientes, con lo que traducción y comparación no resultan ser empresas imposibles. Recordemos lo visto en la Sección 4. El módulo del cuadrimomento de una partícula relativista es

$$|p^\mu| = mc .$$

Dimensionalmente, el momento relativista, es, como el momento clásico, *masa por velocidad*, es decir, momento o cantidad de movimiento.

La inconmensurabilidad entre teorías no se traslada automáticamente a sus léxicos correspondientes, con lo que la comparación no resulta una empresa imposible. La exigencia de traducción entre teorías es una metáfora poco acertada para fijar la relación entre teorías. Los físicos disponen de dos herramientas mucho más precisas que la ambigua traducibilidad interteórica: la determinación de casos límite y el análisis dimensional. En definitiva, la idea de inconmensurabilidad de Hanson, Feyerabend y Kuhn necesita bases más sólidas que las discutibles doctrinas de la contextualidad del significado de los términos y de la determinación de la referencia por el significado procedentes de la filosofía del lenguaje.

Pero el problema de la inconmensurabilidad se enfoca desde una nueva perspectiva si las geometrías subyacentes a MN y TR no se consideran propiedades intrínsecas del Mundo, sino modelos geométricos sobre los que construir hipótesis físicas, a su vez modelos teóricos de la Naturaleza. Así concebidos los modelos clásico o relativista no son más que instrumentos para nuestro manejo con la Naturaleza, cuya aceptación o rechazo depende sólo de su eficacia predictiva. En una concep-

ción instrumentalista de la física la incommensurabilidad resulta completamente inofensiva, ya que ningún compromiso ontológico, descriptivo o explicativo de la realidad resulta obligado. Esto ya lo tenía asumido el propio Feyerabend (1981b, pp. 377-378) en *Contra el método*. Tanto él como Kuhn se dejaron seducir por los cantos de sirena de la filosofía del lenguaje en detrimento de los razonamientos de la física, de la que ambos procedían.

### Bibliografía

- ALONSO, M. & FINN, E. (1986), *Física. Vol III: Fundamentos cuánticos y estadísticos*. Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware
- BUNGE, M. (1973), *Exact Philosophy. Problems, Tools and Goals*, Reidel, Dordrecht
- BUNGE (1974), *Treatise on Basic Philosophy*. Vol. 1: *Sense and Reference*, Reidel, Dordrecht
- DUMMETT, M. (1993), *Origins of Analytical Philosophy*, Duckworth, London
- FALKENBURG, B. (1997): "Incommensurability and Measurement". *Theoria* 12/3, 467-491
- FERNÁNDEZ MORENO, L. (1997a): "Presentation". *Theoria* 12/3, 421-423
- FERNÁNDEZ MORENO, L. (1997b): "¿Es la referencia del término 'agua' inmutable?". *Theoria* 12/3, 493-509
- FEYERABEND, P. (1981a): "Explanation, Reduction and Empiricism". En P. K. Feyerabend, *Realism, Rationalism & Scientific Method*. Philosophical Papers, Vol. 1. Cambridge Univ. Pr.
- FEYERABEND, P. K. (1981b), *Wider den Methodenzwang. Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a. M.
- FIELD, H. (1973): "Theory Change and the Indeterminacy of Reference", *The Journal of Philosophy*, Vol. LXX, No. 14, 462-481
- FINE, A. (1975): "How to Compare Theories: Reference and Change". *Nous* 9, 17-32
- FREGE, G. (1984), *Estudios sobre semántica*, Ariel, Barcelona
- GARCÍA CARPINTERO, M. (1996), *Las palabras, las ideas y las cosas*, Ariel, Barcelona
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. (1994), *Breviario de Teoría Dimensional*. Departamento de publicaciones. E.T.S. de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid
- GONZÁLEZ DE POSADA, F. & González Redondo, F. (2002): "Génesis histórica, enunciado y evolución del análisis dimensional de Julio Palacios". *Llull* 25 (nº 53), 399-423
- HANSON, N. R. (1958), *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual*

- Foundation of Science*, Cambridge, Univ. Press
- HOYNINGEN-HUENE, P. (2002): "Paul Feyerabend und Thomas Kuhn". *Journal for General Philosophy of Science*, Vol. 33, No.1, 61-83
- KENNY, A. (1997), *Frege. An introduction to the Founder of Modern Analytic Philosophy*, 1995. Versión española, *Introducción a Frege*, Cátedra, Madrid 1997
- KUHN, T. S. (1970a), *The Structure of Scientific Revolutions*. Second enlarged edition, Univ. of Chicago Press
- KUHN, T. S.: (1970b): "Reflections on My Critics". En Lakatos, I. & Musgrave, A., *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge Univ. Pr., London
- KUHN, T. S. (1983): "Commensurability, Comparability, Communicability". En P. D. Asquith & T. Nicles (eds.), *PSA 1982*, vol. 2, East Lansing, 669-688. Versión española: "Conmensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad", en T. Kuhn, *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Piados, Barcelona 1989
- KUHN, T. S. (1987): "What Are Scientific Revolutions?". En Krüger, L. *et al.* (eds.), *The Probabilistic Revolution*. Vol. 1: *Ideas in History*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- KUHN, T. S. (1990): "The Road since *Structure*". En A. Fine *et al.* (eds.), *PSA 1990*, vol. 2, pp. 3-13, *Philosophy of Science Association*
- KUHN, T. S. (1993): "Afterwords". En P. Hoyningen-Huene, *Reconstructing Scientific Revolutions. Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*, The Univ. of Chicago Pr., 311-341
- MAHAN, B. M. & Myers, R. J. (1990), *Química. Curso universitario*, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, USA, cuarta edición
- MUNÉVAR, G. (1998): "A Rehabilitation of Paul Feyerabend". En G. Munévar, *Evolution and the Naked Truth. A Darwinian approach to philosophy*. Appendix B. Ashgate, Aldershot
- NAGEL, E. (1961), *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Routledge & Kegan Paul, London
- PALACIOS, J. (1964), *Análisis Dimensional*, Espasa Calpe, 2ª ed. Corregida y aumentada, Madrid
- PENROSE, R., *La nueva mente del emperador*, Grijalbo Mondadori, Barcelona 1991
- PÉREZ RANSANZ, A. R. (1999), *Kuhn y el cambio científico*, F.C.E., México
- PUTNAM, H. (1975a): "The Meaning of 'Meaning'". En K. Gunderson (ed.), *Language, Mind and Knowledge. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 7, University of Minnesota Press, Minneapolis, 215-271
- PUTNAM, H. (1975b): "Language and Reality". En H. Putnam, *Mind, Language and Reality*, Cambridge Univ. Press, Cambridge
- PUTNAM, H. (1981), *Reason, Truth and History*, Cambridge Univ. Pr., Cambridge

- RIVADULLA, A. (1986), *Filosofía Actual de la Ciencia*, Tecnos, Madrid
- RIVADULLA, A. (2003a), *Revoluciones en Física*. Trotta, Madrid
- RIVADULLA, A. (2003b): "The Newtonian Limit of Relativity Theory and the Rationality of Theory Change". *Synthese. An international journal for epistemology, methodology and philosophy of science*. En prensa.
- RORTY, R. (1979), *Philosophy and the Mirror of Nature*, Princeton Univ. Press, Princeton
- SANKEY, H. (1997): "Incommensurability: The Current State of Play". *Theoria* 12/3, 425-445
- SNEED, J. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, Dordrecht
- SNEED, J. (1983): "Structuralism and Scientific Realism". *Erkenntnis* 19, 1983, 345-370
- STEGMÜLLER, W. (1979), *The Structuralist View of Theories*, Springer, Berlin
- TUOMELA, R. (1973), *Theoretical Concepts*, Springer, Wien
- WEINBERG, S. (1998): "The Revolution That Didn't Happen", *The New York Review of Books*, Vol. XLV, Number 15, pp. 48-52
- YNDURÁIN, F. (1990), *Mecánica cuántica relativista*, Alianza, Madrid