

REALISMO Y REFERENCIA: HACIA UN ENFOQUE SINCRÓNICO DESDE LA PRÁCTICA CIENTÍFICA

MARIANA CÓRDOBA – OLIMPIA LOMBARDI

1. Introducción

Superada la influencia positivista que impedía discutir cuestiones ontológicas, desde hace ya tiempo se ha reinstalado en la filosofía de la ciencia la antigua discusión en torno del realismo científico, esto es, acerca de las posibles relaciones entre ciencia y realidad. Sin duda, este debate se encuentra atravesado por una multiplicidad de aspectos filosóficos, entre ellos, ontológicos, epistemológicos, semánticos, metodológicos, axiológicos y éticos. En particular, el problema semántico apunta a decidir si los términos utilizados en el discurso científico refieren a entidades realmente existentes o no.

En este contexto, los realistas científicos han considerado el problema de la referencia como una cuestión relevante, puesto que el realismo debería ser capaz de argumentar en favor de la continuidad de la referencia de, al menos, algunos términos científicos, aun cuando las teorías aceptadas por la comunidad científica hayan cambiado a lo largo del tiempo. El debate acerca de la continuidad de la referencia a través del cambio teórico ha generado un ámbito de discusión poblado de múltiples y sofisticados argumentos, tanto en favor como en contra del realismo científico. En este trabajo no es nuestra intención adentrarnos en dicho ámbito, sino señalar que hay otro modo de abordar el problema de la referencia y del realismo científico, no ya en términos de la cuestión diacrónica del cambio teórico, sino desde la perspectiva sincrónica de las relaciones interteóricas. En particular argumentaremos que, si bien la perspectiva diacrónica tradicional tiene interés para interpretar filosóficamente el devenir histórico de la ciencia, el enfoque sincrónico no puede ser descuidado en la medida en que arroja luz sobre la actividad científica cotidiana e involucra aspectos de interés para los propios científicos en su práctica efectiva.

2. Realismo y referencia: las discusiones tradicionales

Sin duda, ‘realismo’ se dice de muchas maneras. Aquí nos limitaremos a la discusión del realismo científico¹, tal como lo caracteriza ingeniosamente Hacking: “El realista científico dice que los mesones y los muones son tan ‘nuestros’ como los monos y las albóndigas. Todas esas cosas existen. Sabemos algunas verdades acerca de cada una de esas clases de cosas y podemos encontrar más. El antirrealista discrepa. Según la tradición positivista, desde Comte hasta van Fraassen, podemos conocer el comportamiento fenoménico de las albóndigas y de los monos, pero hablar de muones es cuando mucho una construcción intelectual para la predicción y el control.” (Hacking 1983, p. 95). El núcleo del conflicto reside, entonces, en el estatuto ontológico que se adjudica a las entidades no observables de las que nos habla la ciencia. Por lo tanto, el problema semántico se manifiesta de inmediato. Mientras que el realista científico admite la referencialidad unívoca de los términos teóricos, los antirrealistas cuestionan tal supuesto.² Por un lado, el antirrealista instrumentalista considera los términos teóricos como carentes de referencia, meros dispositivos o herramientas para sistematizar y estructurar el dominio de lo empírico, así como para evaluar la adecuación empírica, utilidad o aplicabilidad de la teoría de la cual forman parte. Por otro lado, el antirrealista relativista adopta la tesis de la inconmensurabilidad, de acuerdo con la cual el pasaje de una teoría a otra implica una variación radical en el significado de los términos involucrados en ellas, variación que conlleva, asimismo, un cambio en los objetos referidos por dichos términos.

En efecto, la idea de que el cambio teórico conlleva un cambio del mundo del cual nos habla la ciencia representa un severo desafío para el realismo. De aceptar esta idea, resultaría imposible pensar que la ciencia presenta un desarrollo progresivo, signado por la continuidad: quedaría bloqueada la posibilidad de que las teorías científicas, a medida que se suceden en el tiempo, constituyeran mejores representaciones del mundo, e incluso la posibilidad de sostener que diversas teorías explicarían, o incluso pretendieran explicar, el mismo mundo. Pero los realistas científicos insisten en sostener que la ciencia, a medida que avanza, configura mejores imágenes del mundo, y que las teorías posteriores son más adecuadas que

¹ A partir de aquí, siempre que hablemos de realismo, nos estaremos refiriendo al realismo científico.

² El debate tradicional entre realistas y antirrealistas se basó originalmente en la distinción entre términos observacionales y términos teóricos: mientras se supone que no hay problema alguno en cuanto a la referencia de los primeros, la discusión se centra en los segundos. Como afirma Torretti (comunicación personal), este debate acerca de la diferencia entre muones y albóndigas también se sustenta en la utopía de un lenguaje científico riguroso, de referencialidad unívoca, drásticamente diferente del lenguaje ordinario donde la equívocidad es endémica.

aquellas que sufrieron el abandono por parte de la comunidad científica, en el sentido que las nuevas teorías están más próximas a la verdad. Esta idea de progreso científico supone la confianza en que, en general, las teorías científicas sucesivas refieren a los mismos objetos, y tal confianza conlleva, a su vez, la confianza particular en que los términos involucrados en tales teorías refieren a las mismas entidades: hay cierta continuidad de los referentes de los términos científicos a través –y a pesar– del cambio teórico. Por este motivo, los realistas consideran que la elucidación de la cuestión de la referencia de los términos teóricos es condición de posibilidad de una defensa seria del realismo científico.

Es en este contexto que se analizan las teorías tradicionales de la referencia. Según las teorías descriptivistas (Frege 1892, Russell 1910; más recientemente, Searle 1983), el sentido de un término determina su referencia. Por lo tanto, estas teorías respaldarían la tesis de la inconmensurabilidad en los casos en los cuales dos teorías hacen afirmaciones incompatibles relativas a un mismo término: al cambiar las afirmaciones en las que interviene el término –su sentido–, se modificaría su referencia. El ejemplo típico utilizado en estas discusiones es el término ‘masa’, que cambiaría de referente al pasar de la mecánica newtoniana a la teoría de la relatividad. Según las teorías causalistas (Kripke 1980, Putnam 1975), en cambio, los términos mantienen con sus referentes una relación directa que se establece mediante un “bautismo inicial”. De este modo, estas teorías permitirían garantizar la invariabilidad de la referencia a través del cambio teórico. No obstante, garantizarían “demasiado” desde una perspectiva realista, puesto que no cuentan con recursos para dar cuenta de casos que, como ‘flogisto’ y ‘calórico’, carecen de referente para el realista científico actual.³

Fieles al objetivo de rescatar algún tipo de continuidad referencial a través del cambio teórico, ciertos filósofos realistas actuales reconocen las limitaciones de las teorías de la referencia tradicionales y, sobre esta base, formulan sus propias teorías “mixtas” o “híbridas”. Por ejemplo, para Psillos (1999) un término de clase natural denota si las descripciones asociadas con él tienen su origen causal en las propiedades constitutivas de la clase; no obstante, tales propiedades constitutivas no pueden ser identificadas con independencia de las teorías, y éste es el aspecto descriptivista de su postura. Algo análogo ocurre con los términos teóricos de la ciencia: un término teórico refiere a una entidad a través de una descripción causal de ciertas propiedades constitutivas en virtud de las cuales el referente cumple un papel causal respecto de un conjunto de fenómenos. Para Niiniluoto (2000), por su parte, un término *t* que pertenece a la teoría *T* refiere al objeto *b* que maximiza

³ Es interesante señalar que el supuesto realista de la carencia de referente del término ‘flogisto’ ha sido cuestionado desde perspectivas no inconmensurabilistas (cf. Lewowicz 2009, Chang 2010).

el grado de verosimilitud o de verdad aproximada de T relativa al objeto b , siempre que dicha verosimilitud o verdad aproximada supere un cierto umbral que impide aceptar que cualquier término de una teoría abandonada refería. Según este autor, si bien el umbral es función del contexto pragmático, la referencia exitosa de los términos de las ciencias empíricas aún depende de qué tipos de entidades existen en el mundo real.

Ciertamente, esta breve reseña no debe interpretarse como una intervención en el debate tradicional acerca del realismo científico y la referencia de los términos teóricos. Nuestro interés sólo consiste en señalar que, en esta controversia, la vinculación entre realismo y referencia siempre se discute en relación con el problema del cambio teórico. No cabe duda de que esta cuestión es filosóficamente relevante: interesa tanto al filósofo como al historiador de la ciencia ofrecer una concepción respecto del problema diacrónico del devenir de las disciplinas científicas a través de su historia. Ahora bien, ¿es éste el único escenario posible en el cual reflexionar filosóficamente acerca de la referencia de los términos científicos y su relación con el realismo?

3. Cambio teórico: ¿sucesión de teorías?

En la búsqueda de una respuesta a la pregunta que cierra el apartado anterior, comencemos por observar con mayor detenimiento el modelo de cambio teórico sobre el que se asientan las discusiones acerca de realismo y referencia. Como hemos visto, la cuestión consiste en dirimir si un término t , que pertenece a dos teorías científicas sucesivas T_1 y T_2 , refieren o no a lo mismo en el contexto de ambas teorías. El cambio teórico es pensado, así, en el marco de la *sucesión* de teorías: el devenir histórico de una disciplina científica se reconstruye como una serie de teorías $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots$, que se reemplazan a través del tiempo. Es en este contexto que se discute el ejemplo típico del término ‘masa’ al pasar de la mecánica clásica a la relatividad especial y, eventualmente, a la relatividad general (*cf.* por ejemplo, Kuhn 1962, Feyerabend 1962, Sneed 1971, Fine 1975; más recientemente, Rivadulla Rodríguez 2003). A este ejemplo subyace la imagen acrítica del reemplazo de la mecánica newtoniana por la relatividad especial, y el posterior reemplazo de esta última por la relatividad general. Comencemos, entonces, por someter esta imagen a un examen crítico.

Es interesante resaltar que la idea de reemplazo de teorías no aparece únicamente en la imagen tradicional de una ciencia que progresa linealmente subsumiendo las teorías previas en nuevas teorías más abarcadoras, sino también en los más acérrimos críticos de este modelo de progreso. Por ejemplo, ya en 1962 Feyerabend reconoce que cada teoría refiere a su propia ontología,

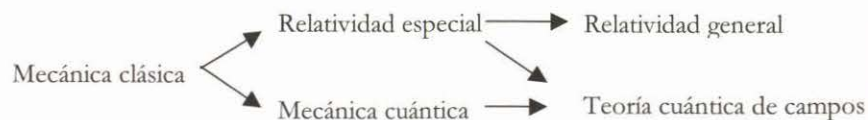
y que las teorías sucesivas son genuinamente inconmensurables. Sin embargo, al discutir la relación entre una teoría T y una teoría T posterior, exige el “*completo reemplazo* de la ontología (y tal vez incluso del formalismo) de T por la ontología (y el formalismo) de T ” (Feyerabend 1962, p. 29; énfasis del autor). Tal reemplazo no sólo afectaría a teorías pasadas y abandonadas en el desarrollo posterior de la ciencia, como es el caso de la teoría medieval del *impetus*, sino también a teorías que continúan formando parte del cuerpo de conocimiento de la comunidad científica en el presente, como la termodinámica macroscópica y la mecánica clásica: “Es por lo tanto nuevamente necesario abandonar por completo el esquema conceptual clásico una vez que se introduce la teoría de la relatividad; y esto significa que es imperativo usar la relatividad en las consideraciones teóricas propuestas para la explicación de un cierto fenómeno así como en el lenguaje de observación en el cual tales consideraciones han de ser formuladas” (Feyerabend 1962, p. 81). La pregunta aquí es: ¿se ajusta esta imagen a lo efectivamente sucedido en el ámbito de la física durante la primera mitad del siglo XX?

No es difícil advertir que el modelo de cambio teórico basado en la sucesión por reemplazo constituye una imagen hiper-simplificada que pasa por alto eventos históricos bien conocidos. Respecto del caso que nos ocupa, en la misma época en que entra en escena la mecánica relativista, lo hace la mecánica cuántica que, en cierto sentido, se propone también como alternativa a la mecánica clásica. Y la mecánica cuántica incluye términos utilizados no sólo en la mecánica clásica, a la que se supone reemplaza, sino incluso en la mecánica relativista, respecto de la cual en modo alguno puede aplicarse la idea de sucesión por reemplazo. Tomemos como ejemplo un caso más interesante que el de ‘masa’: consideremos el término ‘momento lineal’ (o ‘momento cinético’). Si bien el concepto de momento lineal preserva ciertas relaciones con los conceptos de masa y de velocidad en todas las teorías en las que aparece, el significado del término correspondiente va sufriendo modificaciones que se manifiestan incluso en el modo en que se lo representa.

En efecto, mientras el momento lineal de un cuerpo en mecánica clásica puede expresarse como un vector $\mathbf{p}^c = (p_x, p_y, p_z) = (mv_x, mv_y, mv_z)$ en las tres dimensiones espaciales (donde m es la masa del cuerpo, constante de movimiento, y $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ es su velocidad), en relatividad especial el momento lineal se convierte en un cuadvectores $\mathbf{p}^r = (E/c, p_x, p_y, p_z) = (E/c, mv_x, mv_y, mv_z)$ (donde E es la energía total del cuerpo, c es la velocidad de la luz en el vacío, y

$m = \gamma m_0 = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$ es la masa del cuerpo, con m_0 la masa en reposo⁴); en relatividad general la característica vectorial se pierde en favor del concepto de densidad de energía-momento $T_{\mu 0}$, que se representa no ya como un vector, sino como una columna del cuadrítensor de energía-momento $T_{\mu\nu}$; y en mecánica cuántica el momento lineal se convierte en una tríada de operadores $\mathbf{P}^q = (P_x, P_y, P_z)$ que actúan sobre un espacio de Hilbert, y puede representarse en coordenadas como $\mathbf{P}^q = -i\hbar\nabla$ (donde i es la unidad imaginaria, $\hbar = h/2\pi$ siendo h la constante de Planck, y $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ es el operador gradiente). Esta cuestión no es menor, puesto que los realistas científicos, ensimismados en las discusiones acerca de “la teoría T ”, deberían hacerse cargo de explicar cómo se conserva la referencia frente a cambios teóricos que involucran incluso el cambio en el objeto matemático que se utiliza para representar el supuesto referente que se conserva.

Pero aun sin desarrollar esta línea de argumentación, resulta muy claro que este caso histórico, lejos de responder a la imagen “lineal” de sucesión por reemplazo, pone de manifiesto una suerte de “bifurcación” teórica, donde una teoría es supuestamente reemplazada por teorías diferentes. Y este panorama se complejiza aún más cuando se considera la —supuesta—⁵ unificación entre mecánica cuántica y relatividad especial, que conduce a la actual coexistencia entre teoría cuántica de campos y relatividad general, teorías no sólo diferentes sino incompatibles.



Puesto que esta coexistencia de teorías resulta de la famosa revolución que experimentó la física durante el primer tercio del siglo XX, podría pensarse que no vale la pena detenerse en el análisis de esta bifurcación teórica, ya que se trata de un fenómeno totalmente excepcional en la historia de la ciencia. Sin embargo, éste no es el caso. Si se analiza con cierto detenimiento el estado actual de la mecánica estadística, puede advertirse que, después de más de cien años de sus pri-

⁴ Nótese que, al pasar de la mecánica clásica a la relativista, cambia el significado de al menos dos términos, ‘ p ’ y ‘ m ’.

⁵ Aquí decimos “supuesta” unificación porque, si bien muchos continúan presentando la teoría cuántica de campos como tal, la discusión filosófica actual pone de manifiesto que, si bien invariante de Lorentz, la teoría cuántica de campos manifiesta ciertas características que le son propias y no pueden pensarse en términos de mera unificación entre mecánica cuántica y relatividad especial (cfr. por ejemplo, Brown y Harré 1988, Auyang 1995).

meras formulaciones, aún coexisten dos enfoques, el de Boltzmann y el de Gibbs, que bien pueden considerarse teorías diferentes y alternativas. En efecto, ambos enfoques difieren en conceptos tan básicos como los de equilibrio e irreversibilidad, y desacuerdan respecto de las condiciones que permiten la aparición de macroevoluciones irreversibles a partir de una dinámica reversible subyacente (cfr. Lombardi y Labarca 2005). Estas profundas diferencias teóricas, en general escondidas o, al menos, no suficientemente señaladas en los libros de texto, son objeto de un intenso estudio en la filosofía de la física de los últimos años (cfr., por ejemplo, Uffink 2006, Frigg 2008).

No obstante, el partidario del modelo lineal de cambio teórico podría intentar refugiarse en el supuesto del carácter transitorio de la bifurcación teórica: la coexistencia de teorías incompatibles simultáneamente aceptadas por la comunidad científica sería un fenómeno provisorio, puesto que tales teorías serán superadas por una nueva teoría unificadora. Por ejemplo, en el futuro se logrará una reformulación de la mecánica estadística de modo que las teorías de Boltzmann y de Gibbs queden subsumidas en la nueva teoría general. A su vez, los esfuerzos teóricos en física “fundamental” finalmente desembocarán en una gran teoría de campo unificado, o en la teoría de cuerdas final, o en alguna otra alternativa que aún no imaginamos siquiera. Pero en ese momento la historia de la física volverá a su cauce natural de sucesión por reemplazo de teorías.

Un primer problema de esta respuesta consiste en que se basa en una mera esperanza. Si bien la mecánica estadística clásica es un área de continua aplicación en el ámbito de la física, los más de cien años de convivencia más o menos pacífica⁶ entre los enfoques de Boltzmann y de Gibbs no brindan motivos para pensar que aparezca una teoría superadora en un futuro previsible. Y aun cuando en el área de la física “fundamental” la situación es menos pacífica en la medida en que se reconoce la proliferación de programas de investigación rivales durante los últimos cincuenta años, la esperanza de unificación no parece mejor fundada. Incluso el programa que ha despertado mayor interés durante las últimas décadas, la teoría de cuerdas, ha comenzado a ser cuestionado desde la propia comunidad científica por sus escasos logros predictivos (Woit 2006). En definitiva, la esperanza de unificación en general se funda en presupuestos realistas, y no parece encontrar otra justificación más que tales presupuestos.

No obstante, la principal dificultad de la idea del reemplazo de teorías y de las eventuales estrategias para defenderla es que tal idea se encuentra totalmente reñida con la práctica científica. Aun cuando pueda delimitarse aproximadamente la

⁶ El calificativo de ‘más o menos pacífica’ se hace eco de las discusiones protagonizadas por Prigogine y la escuela de Austin-Bruselas (cfr. Prigogine 1980).

comunidad de una disciplina científica a través de la red de relaciones y reconocimiento entre sus miembros, esto no significa que se pueda identificar un *corpus* de conocimiento totalmente consistente al cual dicha comunidad adhiere. Los científicos no actúan movidos por el tipo de racionalidad que algunos filósofos de la ciencia suponen, sino más bien de un modo pragmático que pone en juego otras formas de racionalidad. Y al adoptar esta manera de actuar, a menudo los vemos utilizando conjuntamente teorías diferentes, e incluso incompatibles, en la consideración de ciertos fenómenos y en la solución de algunos problemas. Ciertamente hay teorías que actualmente ningún científico estaría dispuesto a usar, como la teoría del calórico –bajo el supuesto de que la conociera–. Pero también es cierto que la práctica científica no siempre procede abandonando teorías, y que suele ser mucho más “liberal” que la imagen que presentan los filósofos realistas e incluso muchos antirrealistas.

En la consideración del modo en que una comunidad científica adopta simultáneamente teorías diferentes, en las próximas secciones consideraremos tres casos distintos en el campo particular de la física. Estos ejemplos nos permitirán argumentar que la discusión acerca del realismo científico y de la referencia de los términos teóricos debería ingresar en este ámbito sincrónico, mucho más cercano a la práctica científica efectiva y al interés de los científicos en actividad que la cuestión diacrónica del cambio teórico.

4. Primer caso: la vigencia de teorías “superadas”

Como hemos señalado, el caso paradigmático de cambio teórico que se discute en el enfrentamiento entre realistas y antirrealistas es el del pasaje de la mecánica clásica newtoniana a la teoría de la relatividad –especial y general sucesivamente–. En el propio concepto de cambio teórico se encuentra implícita la idea de que la mecánica clásica se convierte en una teoría superada, que se abandona en favor de la mecánica relativista. Esta idea subyace tanto a la imagen tradicional, según la cual la mecánica clásica acaba subsumida en la mecánica relativista como un caso particular, como al modelo de progreso científico en términos de incremento de la verosimilitud que proponen algunos realistas críticos, e incluso a las posturas inconmensurabilistas, que vinculan estrechamente el cambio teórico al reemplazo de una ontología por otra.

Ahora bien, ¿qué significa que la mecánica clásica es una teoría “superada”? Es claro que en este sentido no se la puede comparar con otros casos históricos también ampliamente tratados en las discusiones tradicionales acerca del realismo. Mientras que, por ejemplo, la teoría del flogisto y la más reciente teoría del calórico fueron abandonadas y ningún científico en actividad se refiere actualmente a

ellas, la mecánica clásica continúa vigente de un modo significativo. En efecto, aún hoy los cursos de mecánica clásica son el primer paso ineludible en la formación de los físicos profesionales. Y ello no debe interpretarse como una estrategia didáctica, mera propedéutica al aprendizaje de las “mejores” teorías. Por el contrario, la mecánica clásica continúa siendo un ámbito de aplicación e investigación fecunda. Sólo por mencionar un elocuente ejemplo de aplicación: salvo correcciones insignificantes, los cálculos necesarios para guiar las naves espaciales en sus viajes por el sistema solar no se basan más que en la mecánica clásica newtoniana, incluso en formulaciones aproximadas de la mecánica clásica dada la insolubilidad del problema de los tres cuerpos. Por otra parte, la mecánica clásica continúa desarrollándose a través de nuevos resultados teóricos y aplicaciones prácticas en revistas como *Archives of Rational Mechanics and Analysis*, *Dynamic Systems and Applications*, *Journal of Differential Equations* o *Chaos, Solitons and Fractals*. Y no parece haber motivo alguno para suponer que esta situación se modifique si mañana la relatividad especial es reemplazada por una nueva teoría, relativista o no.

El pragmatismo de la actividad científica no se limita a utilizar la mecánica clásica en las situaciones en que brinda resultados predictivos adecuados, situaciones en las cuales aún podría intentarse una justificación en términos tradicionales. En su instructivo artículo “Scientific realism and scientific practice”, Torretti (2000) nos recuerda el modo en que mecánica clásica y mecánica relativista se aplican en una misma situación, colaborando conjuntamente en la explicación de un único fenómeno. El ejemplo de Torretti se refiere a la explicación estándar del avance anual de perihelio de Mercurio en poco menos de 1 minuto de arco. Si bien el 90% de este avance se debe a la elección de un sistema geocéntrico de coordenadas, según la teoría de Newton el 10% restante tiene que deberse a la gravedad. La mayor parte de ese resto, 530” de arco por siglo, fue explicada mediante la mecánica celeste clásica como resultado de la interacción entre Mercurio y los demás planetas. Pero queda un pequeño resto, de 43” de arco por siglo, que nunca fue explicado por la mecánica newtoniana y que, sin embargo, se deduce de la relatividad general de Einstein. Pero lo que pocas veces se recuerda es que, para lograr tal deducción, Schwarzschild (1916) aplicó la relatividad general a un modelo de dos cuerpos, donde Mercurio es considerado una partícula de prueba de masa despreciable frente a la del Sol. Este modelo explica la precesión de 43” de arco por siglo, pero no los 530” de arco por siglo que la mecánica newtoniana explica por la interacción gravitatoria de Mercurio con los otros planetas. Y esto es así porque ni Schwarzschild ni Einstein se encontraban en condiciones de resolver, siquiera aproximadamente, las ecuaciones de campo de la relatividad general para un sistema de diez cuerpos. En la comunidad de los físicos, lejos de verse como una estrategia irracional o incluso oportunista, la explicación de la precesión de

43" de arco por siglo del perihelio de Mercurio fue considerada una de las "tres pruebas clásicas" de la teoría general de la relatividad.

En definitiva, si en algún sentido se afirma que la mecánica clásica ha sido superada, esto en modo alguno puede interpretarse como la afirmación de que la teoría ha sido abandonada y ya no forma parte del *corpus* de conocimiento de la física actual. Por lo tanto, en el contexto del problema del realismo científico, la discusión acerca de la referencia de un término como 'masa' al pasar de la mecánica clásica a la mecánica relativista no debe entenderse como una discusión acerca de la continuidad o discontinuidad referencial a través del cambio teórico, esto es, entre teorías sucesivas. Una dimensión ineludible del debate consiste en reconocer que las dos mecánicas continúan siendo teorías vigentes en un sentido significativo, en el marco de la práctica científica actual.

5. Segundo caso: simultaneidad entre teorías incompatibles

Ya hemos señalado que, mientras las discusiones tradicionales acerca del cambio teórico suponen una sucesión lineal de teorías, la historia de la ciencia suele mostrar casos de "bifurcación" teórica. También hemos visto que un ejemplo paradigmático de esta situación es el que conduce a la coexistencia entre física cuántica y relatividad general. Los esfuerzos de unificación entre ambas teorías son bien conocidos. Ya Einstein dedicó los últimos años de su vida a la infructuosa búsqueda de una teoría del campo unificado, que permitiera dar cuenta de la gravitación junto con las restantes interacciones elementales bajo un mismo marco teórico. Desde entonces, se han formulado diferentes propuestas de unificación que o bien han resultado de un alcance parcial, o bien han tenido escaso éxito.

Actualmente existe un consenso bastante extendido acerca de que física cuántica y relatividad general son teorías no sólo diferentes, sino incompatibles en un sentido profundo, en la medida en que incorporan conceptos completamente irreducibles. Según algunos autores (*cf.* Kuchař 1991, Isham 1993), el principal escollo a una verdadera unificación reside en la diferencia en los conceptos de tiempo involucrados en las diferentes teorías. En efecto, la mecánica cuántica incorpora un concepto clásico de tiempo como parámetro de evolución externo al sistema, concepto que puede de algún modo correlacionarse con la dimensión temporal del espacio-tiempo plano de la relatividad especial para incorporarse, así, a la teoría cuántica de campos. Pero el concepto de tiempo como parámetro de evolución es totalmente ajeno a la relatividad general, donde el tiempo pasa a ser una dimensión del objeto espacio-temporal que es el universo como un todo. En particular, hay modelos de la teoría general de la relatividad donde no es posible definir un tiempo global, es decir, no es posible particionar el conjunto de todos

los eventos en clases de equivalencia tales que: (i) cada una de las clases sea una hipersuperficie espacial, y (ii) las hipersuperficies puedan ser ordenadas temporalmente (*cf.* Castagnino, Lombardi y Lara 2003, Aiello, Castagnino y Lombardi 2008, Castagnino y Lombardi 2009).

También se ha señalado que la incompatibilidad entre física cuántica y relatividad general se funda en la no-separabilidad cuántica, característica que se encuentra totalmente reñida con un enfoque como el relativista, donde los objetos y los eventos se identifican por su posición espacio-temporal. El propio Einstein subrayaba esta incompatibilidad cuando, en una de sus cartas a Born, afirmaba: "Es una característica de los objetos físicos que sean pensados como dispuestos en el continuo espacio-temporal. Un aspecto esencial de tal disposición de los objetos de la física es que, en un cierto instante, posean existencia independiente entre sí, dado que tales objetos se encuentran situados en diferentes partes del espacio. Salvo que se adopte este tipo de supuesto acerca de la independencia de la existencia de objetos espacialmente separados, el pensamiento físico en el sentido familiar no sería posible" (en Born 1969, p. 170). Es precisamente esta "independencia de la existencia de objetos espacialmente separados" lo que niega la no-separabilidad cuántica. Algunos autores (*cf.* Earman 1986, Loewer 1998) coinciden en afirmar que, a diferencia de lo que suele suponerse, no es el indeterminismo sino la no-separabilidad de la mecánica cuántica la razón por la cual Einstein consideraba la teoría fundamentalmente insatisfactoria.

Ahora bien, ¿cuál es la actitud a adoptar frente a esta ruptura conceptual? Para el realista científico, que cree que la ciencia se encamina a describir la realidad tal como es en sí misma, el mayor esfuerzo teórico debería dirigirse a revertir la incompatibilidad entre física cuántica y relatividad general. Para el inconmensurabilista, por su parte, esta ruptura conceptual carente de unificación implica que la realidad cuántica y la realidad relativista constituyen mundos diferentes que no pueden ser habitados simultáneamente. En franco contraste con ambas actitudes, el físico teórico practicante no se paraliza ante los fracasos en los intentos de unificación; por el contrario, continúa su trabajo aplicando conjuntamente teorías incompatibles a la descripción de ciertos fenómenos, de un modo escandaloso para el realista e incomprensible para el inconmensurabilista. Nuevamente, Torretti (2000) nos recuerda un ejemplo de esta situación: la hipótesis sobre la "evaporación" de agujeros negros.

Según la teoría general de la relatividad, en el universo pueden existir agujeros negros, esto es, regiones espacio-temporales donde el campo gravitatorio es tan intenso –la curvatura del espacio-tiempo es tan grande– que de ellas no puede escapar la materia ni la radiación: cualquier porción de materia o radiación que penetre en un agujero negro quedará atrapada en él para siempre. Por otra parte,

según la mecánica cuántica no relativista, una partícula “encerrada” en un pozo de potencial tiene, no obstante, una probabilidad finita de escapar atravesando las barreras de potencial que forman el pozo gracias al llamado ‘efecto túnel’. En una famosa carta a *Nature*, Hawking (1974) plantea la idea de aplicar este efecto mecánico-cuántico a los agujeros negros para explicar su “evaporación”: si bien es cierto que, según la relatividad general, nada puede salir de un agujero negro, el efecto túnel cuántico permite que las partículas vayan lentamente escapando y provocando, así, la disminución de la masa del agujero. Hawking calculó incluso el tiempo que tardaría un agujero negro de masa m en “evaporarse” por completo: si m es la masa del Sol, el tiempo es del orden de los 10^{63} años.

Es importante subrayar que los agujeros negros no existen en el espacio-tiempo plano de Minkowski correspondiente a la teoría cuántica de campos, y mucho menos aún en el espacio-tiempo newtoniano que constituye el escenario de la mecánica cuántica no relativista. Como afirma Torretti (2000, p. 91): “El estudio de Hawking sobre la evaporación de agujeros negros [...] combina descaradamente teorías incompatibles”. Mientras que según los cánones realistas esta utilización simultánea de teorías tan abiertamente incompatibles como la mecánica cuántica y la relatividad general debería impugnarse en tanto oportunismo inaceptable, en la comunidad de los cosmólogos la hipótesis de la evaporación de los agujeros negros fue calurosamente recibida y aún hoy se la considera uno de los mayores aportes de Hawking.

Una vez más vemos que la idea de reemplazo de teorías, que subyace a las discusiones tradicionales sobre realismo y referencia, no recoge la práctica científica efectiva. En el ámbito de la física, la incompatibilidad no se da únicamente entre teorías sucesivas, sino entre teorías simultáneamente aceptadas en la comunidad científica, e incluso, como en el caso de teoría cuántica y relatividad general, entre teorías consideradas ambas “fundamentales”. Cuando se reconocen estas situaciones, el problema de la continuidad o la discontinuidad de la referencia cobra una nueva dimensión sincrónica. Y, a su vez, se torna necesario analizar qué papel juega esta nueva dimensión en la discusión acerca del realismo.

6. Tercer caso: simultaneidad entre teorías diferentes

En el caso de la “bifurcación” teórica señalada en una sección anterior mencionamos que, si bien la mecánica cuántica y la mecánica relativista se proponen casi simultáneamente como alternativas a la mecánica clásica, para el partidario del modelo lineal de cambio teórico esta situación sería transitoria: la linealidad del desarrollo de la física se recobrará cuando ambas teorías sean superadas por una nueva teoría unificadora. Como indicamos, tal supuesto no responde más que a una esperanza escasamente fundada. Aquí cabe agregar que, además, se trata de

una esperanza que sólo es posible conservar porque las tres teorías involucradas son mecánicas: en un sentido amplio, las tres se ocupan de movimientos que resultan de interacciones. Por ello se ha pensado que la mecánica cuántica y la mecánica relativista son “mejores” que la mecánica clásica, y que en el futuro ambas serán integradas bajo una nueva “mecánica” que dará cuenta de todas las interacciones físicas de un modo unificado.

Pero es un hecho que no toda la física se reduce a la mecánica: existen otras teorías que describen fenómenos que no son mecánicos. Ejemplo paradigmático de este caso es la termodinámica, que estudia los fenómenos de transferencia de calor. En este caso no tiene sentido pensar en términos de sucesión de teorías: la termodinámica no viene a reemplazar a la mecánica clásica, sino que ambas teorías forman parte del *corpus* de conocimiento de la física actual en la medida en que se ocupan de fenómenos diferentes. La pregunta es si, a pesar de ello, las cuestiones del realismo científico y la referencia de los términos teóricos tienen algún tipo de relevancia en estos casos de simultaneidad teórica.

En principio, no parece haber problema alguno en aceptar simultáneamente teorías que refieren a fenómenos completamente diferentes en sistemas de distinta naturaleza. Siguiendo con nuestro ejemplo, la mecánica clásica describe el comportamiento de partículas en interacción y la termodinámica se ocupa de sistemas caracterizados por su temperatura, presión, volumen, etc. Sin embargo, la situación no es tan sencilla: en muchos casos se supone que las teorías, si bien distintas, brindan descripciones de un mismo sistema. Consideremos el contenido de un globo aerostático: mientras que la termodinámica lo describe como un gas, desde el punto de vista mecánico se trata de partículas con propiedades como masa, posición, velocidad, etc. El problema es, entonces, cómo compatibilizar ambas descripciones, y es aquí donde irrumpen los supuestos reduccionistas. En efecto, a la pregunta “¿qué hay realmente dentro del globo?”, la amplia mayoría de los físicos responderá que hay partículas en interacción y que, en realidad, el gas “no es más que” el propio sistema de partículas. Esta perspectiva se repite en el caso de otras relaciones interteóricas. Como afirma Lawrence Sklar para el caso de la relación entre la óptica física y el electromagnetismo, desde la perspectiva reduccionista tradicional ciertos términos de ambas teorías están vinculados definicionalmente entre sí y, por tanto, refieren a una única clase de entidades: “las ondas de luz no están correlacionadas con las ondas electromagnéticas, *son* ondas electromagnéticas” (Sklar 1967, p. 120).

Estas respuestas no son más que manifestaciones del realismo reduccionista al que sigue anclada la mayor parte de los físicos, y según el cual “la química nos dice que un pedazo de madera es ‘realmente’ un complicado arreglo de muchos tipos de moléculas unidas entre sí; la física atómica nos dice que las moléculas son

'realmente' varios átomos mantenidos juntos por fuerzas atómicas; la teoría de partículas nos dice que los átomos son 'realmente' partículas elementales en interacción, y así sucesivamente" (Rohrlich 1988, pp. 295-296). De este modo, se respalda la idea de una jerarquía de teorías, desde las más fundamentales a las menos fundamentales, usualmente denominadas 'fenomenológicas', 'secundarias', 'derivadas', etc. El supuesto metafísico detrás de esta jerarquía consiste en que los ítems descritos por la teoría menos fundamental están dotados de una existencia secundaria o derivada, esto es, dependen ontológicamente de algún modo de los ítems descritos por la teoría más fundamental.

Desde esta perspectiva, cuando se afirma que $T = (2/3k)\bar{E}_K$, no se está diciendo que la temperatura T está correlacionada con la energía cinética media por molécula \bar{E}_K a través de la constante de proporcionalidad $2/3k$ (donde k es la constante de Boltzmann). En realidad, se está diciendo que la temperatura T es la energía cinética media por molécula \bar{E}_K . Dicho de otro modo, los términos ' T ' y ' \bar{E}_K ' refieren a un mismo ítem extralingüístico. Vemos, entonces, que la cuestión de la referencia reaparece aquí en el problema sincrónico de las relaciones entre teorías diferentes, y apunta al núcleo del problema ontológico acerca de qué es lo que hay en el mundo. No se trata ya, como en las discusiones tradicionales, de la *continuidad referencial* frente al cambio teórico, sino de la *unicidad referencial* frente a las relaciones interteóricas.

Estas consideraciones nos conducen a una nueva observación. Como señalamos, no puede suponerse que, en la práctica, los científicos actúen sobre la base de un *corpus* teórico consistente. Ahora bien, su fe reduccionista tampoco permite suponer que el modo en que actúan sea consistente con aquello en lo que creen. Porque mientras que su comportamiento responde a una racionalidad pragmática que muchos calificarían como oportunista, sus creencias se encuentran moldeadas por el realismo de quienes "creen que la realidad está bien definida de una vez por todas, independientemente de la acción humana y del pensamiento humano, de una manera que puede articularse adecuadamente en el discurso humano. Creen también que el propósito primordial de la ciencia es desarrollar justamente ese género de discurso que articula adecuadamente la realidad —que, como decía Platón, la "corta en sus coyunturas"— y que la ciencia moderna esencialmente está logrando ese propósito" (Torretti 2000, p. 81). Desde este punto de vista del Ojo de Dios, las teorías "fundamentales" son las que mejor describen la realidad tal como es en sí misma; toda descripción que no coincida con la que ellas brindan será irremediabilmente subjetiva.

Ciertamente, la coherencia entre pensamiento y acción no es un atributo omnipresente en los seres humanos, y los científicos no escapan a la regla. No obs-

tante, podría replicarse que en la actividad científica, en tanto actividad, no importa lo que se piensa sino sólo lo que se hace. Esta observación sería adecuada si lo que se piensa no tuviera influencia alguna sobre lo que se hace. Pero éste no es el caso en ciencias, pues el modo en que se concibe la realidad se refleja en el modo en que las diferentes teorías científicas, e incluso disciplinas científicas, se ordenan jerárquicamente. Y tal jerarquía involucra cuestiones de prestigio que tienen efectos directos sobre decisiones de política científica en lo que se refiere al apoyo y al financiamiento a la investigación. Por ejemplo, el monumental proyecto del supercolisionador del CERN en Ginebra y su papel en la búsqueda del bosón de Higgs puede verse como la manifestación material de la fe en desentrañar la estructura última de la materia. Y ya superando las fronteras de la física, la enorme concentración de recursos humanos y materiales en la biología molecular frente a otras áreas de las ciencias biológicas va de la mano con fuertes supuestos reduccionistas acerca de la posibilidad de explicar los más importantes fenómenos de la vida en términos del nivel molecular.⁷

En definitiva, la pregunta acerca de si dos términos pertenecientes a teorías distintas refieren o no al mismo ítem extralingüístico, lejos de expresar un problema que presenta un interés meramente teórico, pone de manifiesto cuestiones que tienen importantes repercusiones en la práctica efectiva de la ciencia, en particular respecto de las prioridades para la promoción de la investigación. Esta dimensión de la cuestión acerca del realismo y la referencia queda enmascarada por completo cuando sólo se considera la continuidad o discontinuidad referencial frente al cambio teórico.

7. Conclusiones

¿Es cierto que el flogisto no existe? ¿Es el oxígeno aire deflogistizado? ¿Será que Priestley y Lavoisier vivían en mundos distintos? Estas preguntas han sido discutidas incansablemente en la filosofía de la ciencia desde hace al menos cincuenta años (sólo por mencionar algunos autores, Kuhn 1962, Musgrave 1976, Kitcher 1993, Margolis 1993, Pyle 2000, Chang 2009), y en modo alguno pretendemos sugerir que tales discusiones han sido ociosas. La cuestión de la continuidad o discontinuidad de la referencia de ciertos términos científicos a través del cambio teórico es un aspecto central del problema del realismo científico, y mol-

⁷ Como nos ha señalado Torretti (comunicación personal), ambos casos —supercolisionador y biología molecular— pueden ser muy diferentes en cuanto a las aplicaciones prácticas que se desarrollen a partir de ellos. Pero esta observación apunta precisamente al núcleo de la cuestión: los programas de investigación científica deberían evaluarse por sus proyecciones futuras y no sobre la base de presupuestos reduccionistas.

dea la concepción del devenir histórico de la ciencia. Sin embargo, el interés en la perspectiva diacrónica no debe conducir a ignorar la dimensión sincrónica del problema. Por ejemplo, cabe preguntarse si un cierto término, que figura en dos teorías incompatibles pero simultáneamente aceptadas en la comunidad científica, refiere o no a un mismo ítem en ambos casos. O si dos términos, que pertenecen a teorías abocadas en principio a la descripción de fenómenos de diferente tipo, refieren no obstante a un mismo ítem. Estas preguntas involucran teorías que integran el *corpus* de conocimiento de la ciencia actual y, por lo tanto, presentan un doble aspecto. Por un lado, pueden despertar el interés de los propios científicos en la medida en que apuntan a su práctica efectiva y no a la historia de su disciplina. Por otra parte, las respuestas a esas preguntas contribuyen a configurar la imagen de la ontología a la que pretende referirse una disciplina científica, sus categorías ontológicas, su estructura y los ítems que la habitan.

En un sentido relevante, esta propuesta para abordar el problema del realismo científico entra en resonancia con la posición de Hacking en *Representar e Intervenir* (1983): el tradicional debate entre realismo y antirrealismo se ha movido en el plano representacional, concentrándose en cuestiones gnoseológicas, metodológicas y semánticas en lugar de consultar a la ciencia misma al respecto. La recuperación de la dimensión pragmática implica considerar la práctica científica, no sólo en su aspecto experimental, sino también en sus manifestaciones teóricas y en las cuestiones sociológicas y políticas relacionadas con la investigación científica. En otras palabras, la práctica científica no se concentra exclusivamente en los laboratorios, sino que se ejerce también en los escritorios de los científicos teóricos y en las reuniones acerca de política científica. Y de todos estos ámbitos pueden extraerse argumentos relevantes respecto del realismo científico y la referencia de los términos teóricos de la ciencia.

Agradecimientos

Queremos agradecer calurosamente a Roberto Torretti por sus siempre agudas observaciones, y a Lucía Lewowicz por su lectura atenta y sin concesiones. El presente trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica (ANCyT), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Universidad de Buenos Aires (UBA) y la Sociedad Argentina de Análisis Filosófico (SADAF).

Universidad de Buenos Aires

CONICET

BIBLIOGRAFÍA

- Aiello, M., Castagnino, M. y Lombardi, O. (2008), "The arrow of time: from universe time-asymmetry to local irreversible processes", *Foundations of Physics*, **38**: 257-292.
- Auyang, S. (1995), *How is Quantum Field Theory Possible?*. Oxford-New York: Oxford University Press.
- Born, M. (1969), *The Born-Einstein Letters*. London: Macmillan.
- Brown, H. y Harré, R. (eds.) (1988), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Castagnino, M. y Lombardi, O. (2009), "The global non-entropic arrow of time: from global geometrical asymmetry to local energy flow", *Synthese*, **169**: 1-25.
- Castagnino, M., Lombardi, O. y Lara, L. (2003), "The Global Arrow of Time as a Geometrical property of the Universe", *Foundations of Physics*, **33**: 877-912.
- Chang, H. (2009), "We have never been whiggish (about phlogiston)", *Centaurus*, **51**: 239-264.
- Chang, H. (2010), "The hidden history of phlogiston: how philosophical failure can generate historiographical refinement", en S. Mauskopf y T. Schmaltz (eds.), *Integrating History and Philosophy of Science: Problems and Prospects*. Durham: Duke University Press.
- Earman, J. (1986), *A Primer on Determinism*. Dordrecht: Reidel.
- Feyerabend, P. K. (1962), "Explanation, reduction, and empiricism", en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 3. Dordrecht: Reidel, 28-97. Reimpreso en *Realism, Rationalism & Scientific Method. Philosophical Papers, Vol. 1*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- Fine, A. (1975), "How to compare theories: Reference and change", *Nous*, **9**: 17-32.
- Frege, G. (1892), 'Über Sinn und Bedeutung', en *Zeitschrift für Philosophie und Philosophische Kritik*, **100**: 25-50. Traducido por M. Black como "On sense and reference" en P. Geach y M. Black (eds.), *Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege*. Oxford: Blackwell, tercera edición, 1980. Versión española: "Sobre sentido y referencia" en T. M. Simpson (ed.), *Semántica Filosófica: Problemas y Discusiones*. Buenos Aires: Siglo XXI, 1973, 3-27.
- Frigg, R. (2008), "A field guide to recent work on the foundations of statistical mechanics", en Dean Rickles (ed.), *The Ashgate Companion to Contemporary Philosophy of Physics*. London: Ashgate.
- Hacking, I. (1983), *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press. Versión española: *Representar e Intervenir*. México: Paidós-UNAM, 1996.
- Hawking, S. W. (1974), "Black hole explosions?", *Nature*, **248**: 30-31.

- Isham, C. J. (1993), "Canonical quantum gravity and the problem of time", en L. A. Ibort y M. A. Rodríguez (eds.), *Integrable Systems, Quantum Groups, and Quantum Field Theories*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 157-288.
- Kitcher, P. (1993), *The Advancement of Science: Science without Legend, Objectivity without Illusions*. New York y Oxford: Oxford University Press.
- Kripke, S. (1980), *Naming and Necessity*. Cambridge MA: Harvard University Press. Versión española: *El Nombrar y la Necesidad*. México: UNAM, 1985.
- Kuchař, K. (1991), "The problem of time in canonical quantization", en A. Ashtekar y J. Stachel (eds.), *Conceptual Problems of Quantum Gravity*, Boston: Birkhäuser, 141-171.
- Kuhn, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lewowicz, L. (2009), *Sobre una Teoría de la Referencia en y desde la Filosofía de la Ciencia. Philip Kitcher, sobre Referencia y Sentido*. 1era. Edición, Buenos Aires: CCC Educando.
- Loewer, B. (1998), "Copenhagen versus Bohmian Interpretations of Quantum Theory", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **49**: 317-331
- Lombardi, O. y Labarca, M. (2005), "Los enfoques de Boltzmann y de Gibbs frente al problema de la irreversibilidad", *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, **37**: 39-81.
- Margolis, H. (1993), *Paradigms & Barriers: How Habits of Mind Govern Scientific Beliefs*. Chicago y London: University of Chicago Press.
- Musgrave, A. (1976), "Why did oxygen supplant phlogiston? Research programmes in the chemical revolution", en C. Howson (ed.), *Method and Appraisal in the Physical Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 181-209.
- Niiniluoto, I. (2000), *Critical Scientific Realism*, Oxford: Oxford University Press.
- Prigogine, I. (1980), *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*, New York: Freeman.
- Psillos, S. (1999), *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, New York-London: Routledge.
- Putnam, H. (1975), "The meaning of 'meaning'", en *Mind, Language and Reality: Philosophical Papers, Volume 2*. Cambridge: Cambridge University Press, 215-271.
- Pyle, A. (2000), "The rationality of the chemical revolution", en R. Nola y H. Sankey (eds.), *After Popper, Kuhn and Feyerabend*. Dordrecht: Kluwer, 99-24.
- Rivadulla Rodríguez, A. (2003), "Incomensurabilidad y relatividad. Una revisión de la tesis de Thomas Kuhn", *Revista de Filosofía*, **28**: 237-259.
- Rohrlich, F. (1988), "Pluralistic ontology and theory reduction in the physical sciences", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **39**: 295-312.
- Russell, B. (1910), "Knowledge by acquaintance and knowledge by description", *Proceedings of the Aristotelian Society*, **11**: 108-128. Reimpreso en *Mysticism and Logic*, London: Allen and Unwin, 1963, 152-167.
- Searle, J. (1983), *Intentionality*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Sklar, L. (1967), "Types of inter-theoretic reduction", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **18**: 109-124.

- Sneed, J. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht: Reidel.
- Schwarzschild, K. (1916), "Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie", *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, **1**: 189-196.
- Torretti, R. (2000), "Scientific realism and scientific practice", en E. Agazzi y M. Pauri (eds.), *The Reality of the Unobservable: Observability, Unobservability and their Impact on the Issue of Scientific Realism*. Kluwer, Dordrecht, 113-122. Versión española: "El realismo científico y la ciencia como es", en *Escritos Filosóficos 1986-2006*. Universidad Diego Portales, Santiago de Chile, 2007, 75-98.
- Uffink, J. (2006), "Compendium to the foundations of classical statistical physics", en J. Butterfield y J. Earman (eds.), *Philosophy of Physics (Handbook of the Philosophy of Physics)*. Amsterdam: North Holland, 923-1074.
- Woit, P. (2006), *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law*. New York: Basic Books.