



Revista de Humanidades
de Valparaíso

Revista internacional de filosofía, arte y literatura

In honorem

Roberto Torretti



Editado por

Rodrigo López Orellana

Universidad de Valparaíso
Facultad de Humanidades
Instituto de Filosofía



Revista de Humanidades de Valparaíso

Revista internacional de filosofía, arte y literatura

Año 4 / 2016 / 2do Semestre / N° 8

Journal of Humanities of Valparaiso

An International Journal for Philosophy, Arts and Literature

No 8 (2016)

In honorem

Roberto Torretti

Editado por

Rodrigo López Orellana

Universidad de Valparaíso

Facultad de Humanidades

Instituto de Filosofía

Revista de Humanidades de Valparaíso (RHV)
Journal of Humanities of Valparaiso (RHV)

ISSN 0719-4234

eISSN 0719-4242 – www.revistafilosofiauv.cl

CDD: 090

Comité Editorial / Editorial Board:

Directores / Directors:

Juan Redmond (Universidad de Valparaíso, Chile)

Shahid Rahman (Université Lille 3, France)

Editores / Publishers:

Adolfo Vera Peñaloza (Universidad de Valparaíso, Chile)

Jorge Budrovich Sáez (Universidad de Valparaíso, Chile)

Contacto / Contact: editores@revistafilosofiauv.cl

Editor del Número:

Rodrigo López Orellana (Universidad de Salamanca, España)

Comité Científico / Scientific Board:

Ángel Nepomuceno (Universidad de Sevilla, España)

Cecilia Sánchez (Academia de Humanismo Cristiano, Chile)

David Miller (University of Warwick, United Kingdom)

Francisco Javier Vidal López (Universidad de Concepción, Chile)

Francisco Salguero (Universidad de Sevilla, España)

Franck Lihoreau (Universidad Nova de Lisboa, Portugal)

Juan Manuel Torres (Universidad N. de Cuyo, Argentina)

Laurent Keiff (Universidad de Lille 3, Francia)

María Manzano Arjona (Universidad de Salamanca, España)

Norah Dei Cas (Universidad de Lille 3, Francia)

Olga Pombo (Universidad de Lisboa, Portugal)

Rafael Marin (Universidad de Lille 3, Francia)

Sergio Fiedler (Universidad Diego Portales, Chile)

Sergio Rojas (Universidad de Chile)

Víctor Duplancic (Universidad de Congreso, Argentina)

Auspicio y Patrocinio / Sponsorship:

Convenio de Desempeño para las Humanidades, Artes y Ciencias Sociales
Universidad de Valparaíso

Nota del editor

La *Revista de Humanidades de Valparaíso* (RHV) es editada por el Instituto de Filosofía de la Facultad de Humanidades de la Universidad de Valparaíso desde el año 2013. Su periodicidad de publicación es bianual de artículos inéditos y reseñas bibliográficas del área de las humanidades (filosofía, arte y literatura). La RHV publica en cuatro idiomas (castellano, portugués, inglés y francés), no se suscribe a ninguna doctrina particular y está abierta a artículos de diferentes perspectivas y con un alcance internacional.

Editor's Note

The Journal of Humanities of Valparaíso (RHV, for its acronym in Spanish) is edited by the Institute of Philosophy of the Faculty of Humanities of the University of Valparaíso since 2013. Its periodicity is biannual for unpublished works in the field of humanities (philosophy, arts and literature). The RHV published in four languages, Spanish, Portuguese, English and French; and does not subscribe to any particular doctrine and is open to articles from different perspectives and with an international scope.

CONTENIDOS / CONTENTS

<i>In honorem</i> ROBERTO TORRETTI	7
1. ALEJANDRO CASSINI	
El problema interpretativo de la mecánica cuántica.	
Interpretación minimal e interpretaciones totales	9
2. JORDI CAT	
Images and Logic of the Light Cone: Tracking	
Robb's Postulational Turn in Physical Geometry	43
3. HASOK CHANG	
Pragmatic Realism	107
4. JOSÉ FERREIRÓS	
La gran antinomia	123
5. OLIMPIA LOMBARDI	
Carta abierta: acerca del mundo, los mundos y	
el papel de la filosofía	129
6. C. ULISES MOULINES	
Relaciones interteóricas en perspectiva diacrónica	147
7. WILFREDO QUEZADA P. & LUIS PAVEZ F.	
No solo causalidad en el mundo físico: ontología y metodología	
pseudocausal	163
8. HANS-JÖRG RHEINBERGER	
Gaston Bachelard and the Hands of Albert Flocon	205

9. ADÁN SUS	
Categorías, intuiciones y espacio-tiempo kantiano	223
10.DAVID TEIRA	
Probabilidad y contratos. Sobre el pragmatismo de Roberto Torretti	251
11.ROBERTO TORRETTI	
Novedad empírica y creación de conceptos	269
Publicaciones de / Publications of ROBERTO TORRETTI	301
Propuesta editorial / Editorial Proposal	323

In honorem Roberto Torretti

La *Revista de Humanidades de Valparaíso* tiene el honor de presentar esta edición especialmente elaborada en homenaje al filósofo Roberto Torretti Edwards. Es convicción de los directores de este proyecto editorial que la obra de este autor merecía un número especial que enfatizara la vigencia de sus remarcables aportes a la filosofía y a la historia de la ciencia. Para ello se han reunido contribuciones que tributan a su trascendente obra y a las cuales se suma un artículo del propio homenajeado.

Como filósofo, Roberto Torretti es uno de los más importantes pensadores de lengua hispana, específicamente en el ámbito de la historia de la filosofía y de la filosofía de la ciencia. Desde su impactante libro de 1967 sobre la filosofía crítica de Kant, *Manuel Kant: estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*, pasando por sus influyentes *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré* (1978), *Relativity and geometry* (1983), *El Paraíso de Cantor* (1998) y muchos otros importantes trabajos, ha sido un referente de estudio para todos aquellos que se dedican a esta noble disciplina. Su obra ha tenido una recepción y repercusión importante en el ámbito académico de diversos países, además de Chile, especialmente en Puerto Rico, Alemania, Argentina, España, Estados Unidos, México, Uruguay, entre otros. Este número representa un reflejo de aquello.

Como profesor, realizó una intensa actividad académica de más de cuarenta años ligada a la Universidad de Chile, la Universidad de Concepción y a la Universidad de Puerto Rico, entre otras. Es importante remarcar que su carrera académica comienza en 1955 en el Instituto Pedagógico de la Universidad de Chile en Valparaíso, origen de nuestro actual Instituto de Filosofía de la Universidad de Valparaíso; siendo maestro –por esos años– de varios de los académicos de nuestra casa de estudios.

Sus ideas respecto al espacio-tiempo, a la filosofía de la geometría y de las matemáticas, a la filosofía kantiana, al realismo y estructuralismo en ciencias –entre otras– siguen influyendo a los investigadores, sobre todo a los más jóvenes (de los cuales me siento parte). Sin duda, Roberto Torretti representa para nosotros un ejemplo de dedicación y empeño, cuya prolífera y fructífera producción filosófica muchos quisiéramos emular.

Quisiera agradecer enormemente al profesor Torretti por su gran contribución y ayuda en la edición de este número. También, agradezco a los autores, que sin su aporte este número no hubiese sido posible. Todos ellos se sienten muy honrados de poder participar de este homenaje.

Esperamos que este número, y cada uno de los artículos que reúne, sea un referente significativo para el estudio de la obra de nuestro filósofo y un aporte a la filosofía de las ciencias en general.

Rodrigo López Orellana

Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología
Universidad de Salamanca, España

8 de diciembre de 2016

El problema interpretativo de la mecánica cuántica. Interpretación minimal e interpretaciones totales*

Alejandro Cassini**

Resumen

En este artículo sostengo que la teoría cuántica estándar tiene una interpretación minimal sobre la cual todos los físicos están de acuerdo. Dicha interpretación es suficiente para cualquier aplicación de la teoría y ha sido confirmada por innumerables experimentos. Sin embargo, no proporciona una imagen global del mundo cuántico ni una ontología pretendida para la teoría cuántica. Por esa razón, se han propuesto diversas interpretaciones totales con el fin de completar la interpretación minimal. Argumento, entonces, que dichas interpretaciones, que son empíricamente equivalentes, pero incompatibles entre sí, constituyen empresas metafísicas que no pueden ser confirmadas por ninguna experiencia concebible. Por otra parte, afirmo que el programa de hallar la ontología de la teoría cuántica se basa en el falso supuesto de que existe una única ontología compatible con cada teoría física. Concluyo que no existe ningún camino directo desde el formalismo de la teoría cuántica a una ontología pretendida, ni tampoco desde determinados supuestos metafísicos hacia el formalismo cuántico.

Palabras clave: Teoría cuántica, identificación de teorías, interpretación de teorías, modelos, ontología pretendida.

* Recibido: octubre 2016.

** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas / Universidad de Buenos Aires.
Buenos Aires, Argentina. Email: alepafra@yahoo.com.ar

The Interpretative Problem of Quantum Mechanics. Minimal Interpretation and Total Interpretations

Abstract

In this paper I contend that standard quantum theory has a minimal interpretation, on which all physicists agree. That interpretation is sufficient for every application of quantum theory and it has been confirmed by a countless number of experiments. However, it provides neither an overall picture of the quantum world nor an intended ontology for quantum theory. For those reasons, several full interpretations have been proposed in order to complete the minimal interpretation. I then argue that those interpretations –which are empirically equivalent, but mutually incompatible- are metaphysical ventures that cannot be confirmed by any conceivable experience. Moreover, I claim that the program of finding the ontology for quantum theory rests on the false assumption that there is a unique ontology compatible with each physical theory. I conclude that there is no direct path either from the formalism of quantum theory to its intended ontology, or from determinate metaphysical assumptions to the quantum formalism.

Keywords: Quantum theory, theory identity, theory interpretation, models, intended ontology.

1. Introducción

La interpretación de la mecánica cuántica ha sido, desde sus mismos orígenes, un problema mal definido. Como se sabe, existen diferentes interpretaciones de la teoría cuántica estándar,¹ que han sido discutidas extensamente tanto por científicos como por filósofos. Sin embargo, una inspección, aunque sea somera, de la bibliografía existente no permite determinar con pre-

¹ Hay una ambigüedad persistente en el uso de la expresión “mecánica cuántica” por parte de científicos y filósofos. A veces se la usa como sinónimo de “física cuántica”, en oposición a la física clásica. Otras veces se la emplea para hacer referencia a una parte o un capítulo de la física cuántica, la mecánica, respecto de la cual podrían existir diferentes teorías rivales. En estos dos casos se la usa como nombre genérico o de clase. Por último, también se la emplea como el nombre propio de una teoría en particular, respecto de la cual se plantea el problema de la interpretación. Aquí no usaré nunca “mecánica cuántica” en el primer sentido. Para referirme a la mecánica cuántica en el último sentido, apelaré la expresión “teoría cuántica estándar” o, a veces, a “mecánica cuántica estándar”.

cisión cuántas y cuáles son las interpretaciones que se han propuesto. Tampoco es posible determinar en qué consiste precisamente cada interpretación. Diferentes obras presentan listas diferentes de interpretaciones y, respecto de aquellas que tienen en común, ofrecen caracterizaciones muy distintas.² Como ejemplo de esta situación pueden tomarse dos casos paradigmáticos: la llamada interpretación de Copenhague y la teoría de variables ocultas de David Bohm.

La interpretación de Copenhague la elaboraron principalmente Niels Bohr y Werner Heisenberg desde la época fundacional de la teoría cuántica en 1926-1927.³ El nombre mismo sólo apareció a mediados de la década de 1950 y fue popularizado por Heisenberg en su libro *Physik und Philosophie*, publicado en 1958.⁴ En casi todos los libros de texto sobre mecánica cuántica se menciona la interpretación de Copenhague, pero se la define de maneras muy diferentes, a veces incongruentes entre sí. La causa de esta diversidad se encuentra, seguramente, en la naturaleza a menudo oscura de los escritos de Bohr, que admiten distintas interpretaciones, y en el hecho de que las ideas de Heisenberg y de Bohr siempre fueron bastante diferentes. David Mermin (2004) relata al respecto una anécdota muy ilustrativa. Cuenta que en sus cursos y conferencias solía citar un pasaje de Aage Petersen, un discípulo danés de Bohr, que parecía resumir la esencia misma de la interpretación de Copenhague.⁵ El pasaje es el siguiente:

No hay ningún mundo cuántico. Hay solo una descripción físico-cuántica abstracta. Es incorrecto pensar que la tarea de la física es descubrir cómo es la naturaleza. La física trata acerca de lo que podemos decir sobre la naturaleza. (Petersen, 1963: 12)

² Resulta imposible, no ya leer, sino siquiera citar, todas las obras que se han dedicado enteramente al problema de la interpretación de la teoría cuántica. Entre las que he podido consultar se encuentran: Bitbol (1996); Bub (1997); Dickson (1998); Friedrichs (2015); Jaeger (2009) y (2014); Jammer (1974); Laloë (2012); Omnès (1994) y (1999); Ruetsche (2011) y Selleri (1994). Esta muestra resulta suficiente para comprobar que no existe acuerdo alguno acerca de qué constituye una interpretación. En ocasiones, el problema ni siquiera se plantea.

³ La Conferencia Solvay de 1927 fue posiblemente el momento más importante. Véase el análisis histórico detallado de Bacciagaluppi y Valentini (2009).

⁴ Según Howard (2004), el término lo acuñó Heisenberg en 1955. Desde entonces, las ideas asociadas a esta interpretación han sido principalmente las de Heisenberg mismo más que las de Bohr.

⁵ Petersen (1968) presenta sus ideas sobre la filosofía de la mecánica cuántica de manera más detallada.

En cierta ocasión, Victor Weisskopf, un distinguido físico alemán formado en el Instituto de Bohr en Copenhague, al escuchar esta cita exclamó “¡Bohr nunca podría haber dicho algo como eso!”. Mermin retiró, entonces, la cita de sus conferencias, suponiendo que Weisskopf era un intérprete autorizado del pensamiento de Bohr. Tiempo después, se encontró con Rudolf Peierls, otro discípulo alemán de Bohr, y lo consultó sobre el asunto. Al escuchar la cita de Petersen, Peierls respondió: “Sí, esa es exactamente la clase de cosas que a Bohr le gustaba decir”. Así pues, dos discípulos directos diferían completamente acerca del pensamiento de su maestro. Mermin extrajo del episodio la siguiente lección:

Concluí que no hay ninguna interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. Hay solo un rango de posiciones físico-cuánticas. (Mermin, 2004: 11)

El examen de los libros de texto confirma esta impresión. No es que no exista algo llamado “interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica”, sino, más bien, el problema es que esta es una interpretación esencialmente mal definida y presentada en términos sumamente vagos. Se trata, entonces, de un conjunto de interpretaciones que tienen un parecido de familia en común, pero que no concuerdan en muchos aspectos importantes, y no sólo en los detalles.⁶

El otro caso ejemplar es de la teoría de variables ocultas de Bohm. En 1952 Bohm presentó lo que él llamó “una interpretación alternativa de la teoría cuántica en términos de variables ocultas” (Bohm, 1952: 166). La consideró una alternativa a la “interpretación usual” de esta teoría, y con esa expresión se refería a la interpretación de Copenhague (lo cual muestra que este rótulo todavía no estaba en uso). Posteriormente, Bohm la llamó “interpretación causal” (Bohm, 1957: 116) y luego “interpretación ontológica” (Bohm y Hiley, 1993: 2). A pesar de estos cambios en la denominación, parece claro que Bohm no pretendía formular una teoría alternativa a la mecánica cuántica estándar, sino una nueva interpretación de esta teoría. Sin embargo, el propio Bohm en sus escritos también la llama “teoría” y “modelo” (Bohm, 1957: 118-119), lo cual sugiere que no se trata de una mera interpretación, sino de una teoría alternativa. En toda la bibliografía científica y filosófica sobre las variables ocultas se llama a la teoría de Bohm, de manera indistinta, “interpretación”, “teoría”, “modelo”, “enfoque”, “punto de vista”, “formulación”,

⁶ Esa misma idea ya había expresada, entre otros, por Jammer (1974).

“versión”, “explicación” y “alternativa”, entre otras expresiones. El nombre “Mecánica Bohmiana”, con el que se conoce a la formulación más reciente de esta teoría, no permite determinar si se trata de una teoría alternativa a la teoría cuántica estándar o si es una interpretación diferente de esta teoría.⁷ Actualmente, muchos admiten que se trata de una teoría alternativa, aunque empíricamente equivalente, a la mecánica cuántica estándar, pero todavía es frecuente que se la llame “interpretación”.⁸ En la práctica, muchos científicos no distinguen entre interpretaciones de una teoría dada y teorías alternativas a ella.

La dificultad que subyace a estos dos problemas es que el concepto mismo de “interpretación de la mecánica cuántica” es sumamente vago y no ha sido satisfactoriamente elucidado. Como consecuencia de ello, no es posible determinar con precisión cómo caracterizar una interpretación determinada de la teoría cuántica estándar, ni tampoco cómo distinguirla de una teoría alternativa. Antes de poder ofrecer una interpretación de una teoría física, ya sea una mecánica cuántica o cualquier otra, es necesario, ante todo, poder identificarla. Luego, debería ser posible determinar por qué dicha teoría necesita una interpretación diferente de la que ya tiene. De manera más general, habría que esclarecer cuáles son las condiciones que debería cumplir una interpretación satisfactoria de la teoría. Para ello, previamente habría que tener en claro qué es lo que puede hacer y qué es lo que no puede hacer una interpretación de una teoría física o de una teoría empírica en general. Sólo así será posible elucidar los problemas que plantean las diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica.

Aquí no pretenderé ofrecer una respuesta, ni siquiera provisional, a todas estas preguntas. Simplemente, trataré de esclarecer algunas cuestiones preliminares que permitirán distinguir entre interpretaciones de la teoría cuántica y teorías alternativas. El resultado de esta elucidación será que algunas de las llamadas interpretaciones son teorías alternativas a la teoría cuántica estándar. Luego, distinguiré entre dos clases de interpretaciones de la teoría cuántica estándar, una minimal y otra total. Argumentaré que la interpretación

⁷ Para las formulaciones más recientes de la teoría véase Dürr y Teufel (2009); Dürr, Goldstein y Zanghi (2013).

⁸ Entre quienes la consideran una teoría alternativa se cuentan Albert (1992) y, más explícitamente, Riggs (2009). Muchos filósofos de la ciencia la llaman teoría, pero la incluyen entre las interpretaciones de la mecánica cuántica estándar, como una interpretación alternativa a la de Copenhague (por ejemplo, Cushing 1998, Cap. 23). La mayoría de las obras dedicadas a la teoría de Bohm son ambiguas sobre este punto, por ejemplo, Holland (1993) y Gouesbet (2013).

minimal es indispensable y ampliamente compartida por todos los físicos, mientras que una interpretación total, en principio, es prescindible, y, en cualquier caso, sumamente discutible.

Como primer paso, presentaré de manera muy sintética la noción de interpretación para las teorías formales, que es clara y precisa. Esto servirá como punto de comparación para plantear el problema de la interpretación de las teorías empíricas. Luego, discutiré la cuestión de los criterios de identidad para las teorías empíricas. Finalmente, intentaré formular el problema de la interpretación de la teoría cuántica en términos mejor definidos que los usuales. Aunque estableceré algunos de los límites y las tareas de la interpretación de la mecánica cuántica, no intentaré formular un conjunto completo de condiciones (necesarias y suficientes) que debería satisfacer toda interpretación. Finalmente, discutiré el problema ontológico de las teorías cuánticas. Argumentaré al respecto que la idea de encontrar la ontología de la teoría cuántica estándar, o de cualquier otra teoría alternativa, es una cuestión mal planteada porque se apoya en el supuesto erróneo de que existe una ontología única para cada teoría. Finalmente, formularé dos argumentos generales contra las interpretaciones totales de cualquier teoría cuántica. De estos argumentos concluiré que todas las interpretaciones de esta clase no son contrastables por la experiencia, por lo que necesariamente resultan incursiones en la metafísica, en particular, en un tipo de metafísica que la ciencia no parece necesitar y que la filosofía ha abandonado hace tiempo.

2. La identificación de la teoría cuántica

En el campo de las ciencias formales los conceptos de teoría y de interpretación están claramente definidos, por lo que no pueden presentarse dudas acerca de si una supuesta interpretación de una teoría dada es en realidad una teoría alternativa. Además, también están precisamente determinadas las condiciones que debe cumplir cualquier interpretación de una teoría. Por último, el concepto de modelo está bien definido y, por consiguiente, está clara la distinción entre interpretaciones que constituyen un modelo de una teoría dada e interpretaciones que no son modelos de dicha teoría.

En el marco de la teoría de modelos clásica el criterio de identidad de una teoría está bien determinado: una teoría es el conjunto de todos los teoremas de dicha teoría o, más en general, es el conjunto de todas las consecuencias lógicas de un conjunto dado de proposiciones. Este criterio es epistemológicamente neutral, es decir, es independiente de si se tiene una posición realista o anti-realista acerca de las teorías científicas. En segundo lugar, toda inter-

pretación de una teoría formal está sujeta a ciertas restricciones impuestas por el lenguaje de dicha teoría. La interpretación debe asignar un único significado a cada término primitivo del lenguaje de la teoría, respetando la categoría lógica o gramatical de cada símbolo. En tercer lugar, es claro que los modelos de una teoría están sujetos a una restricción ulterior, mucho más estricta: deben satisfacer simultáneamente todos los axiomas de la teoría (o todas las fórmulas de la teoría, en caso de que no esté axiomatizada).

Finalmente, resulta bien determinado aquello que una interpretación no puede hacer respecto de una teoría dada. No puede cambiar la lógica subyacente de la teoría, no puede cambiar el lenguaje de la teoría, no puede modificar la base axiomática de la teoría ni, por consiguiente, alterar el conjunto de los teoremas de dicha teoría. Cualquier cambio en una teoría que tenga como consecuencia un cambio en el conjunto de los teoremas de esa teoría, necesariamente produce un cambio de teoría. Por ejemplo, si se cambia la lógica subyacente de la teoría, sin modificar su lenguaje ni su base axiomática, es posible que se produzca un cambio de teoría porque algunos teoremas no sean deducibles mediante la nueva lógica. Por otra parte, si se modifica el conjunto de los axiomas, ya sea retirando o agregando algún axioma independiente, o bien reemplazando algún axioma por otro no equivalente a éste, el resultado será necesariamente una teoría diferente, ya que se habrá cambiado el conjunto de los teoremas de la teoría original. En cambio, si se modifica el lenguaje o la base axiomática de una teoría, de modo tal que el resultado sea otra teoría lógicamente equivalente a dicha teoría, se obtiene una reformulación de tal teoría. Una interpretación de una teoría dada no se propone reformularla de ninguna de estas dos formas, ni modificando su lenguaje, ni cambiando su base axiomática.

Las consideraciones anteriores permiten concluir que, cualesquiera sean las condiciones que deba satisfacer una interpretación de una teoría física, como la teoría cuántica estándar, la interpretación no puede consistir en reformular la teoría, por ejemplo, mediante otro formalismo o mediante otros axiomas o postulados, ni tampoco en reemplazar a esta teoría por una teoría alternativa. La reformulación de una teoría puede tener muchas virtudes epistemológicas: puede ser más simple, más clara, más elegante, más económica o más bella, pero no constituye una interpretación de dicha teoría. Por otra parte, es obvio que el reemplazo de una teoría por otra tampoco es una interpretación de la teoría. En la física, el cambio de teoría puede ser necesario tanto por razones lógicas como empíricas, ya sea porque la teoría es inconsis-

tente o porque es empíricamente inadecuada, pero la determinación de estas propiedades (consistencia lógica y adecuación empírica) no es una cuestión que competa a la interpretación de tal teoría.

Una condición necesaria para la interpretación de una teoría es, ineludiblemente, la identificación de la propia teoría. En el caso de las teorías formales, los criterios de identidad están bien definidos y son ampliamente compartidos, de modo que no pueden surgir dudas acerca de los límites de una teoría dada. En el caso de las teorías empíricas, la identificación de la teoría constituye un auténtico problema. Cuando la teoría en cuestión se encuentra axiomatizada, la teoría puede identificarse con el conjunto de proposiciones que son consecuencias lógicas de los axiomas, a la manera clásica, o alternativamente, como la clase de los modelos de dichos axiomas, como en el estructuralismo metateórico y otras variedades de la llamada concepción semántica de las teorías. Dado que no existe una axiomatización de la teoría cuántica que goce de aceptación entre la comunidad de los físicos, ninguna de estas dos estrategias resulta aplicable en la situación actual.

Algunos filósofos de la ciencia, como Ronald Giere (1988), han sostenido que las teorías empíricas son entidades esencialmente vagas, cuyos límites son borrosos. Para Giere, este hecho es una consecuencia de su manera de concebir a las teorías como colecciones de modelos relacionados entre sí por una semejanza informal. Dado que la semejanza entre los modelos no es transitiva y se pierde gradualmente, no es posible delimitar de manera precisa cuáles son los modelos que pertenecen a una teoría dada. Si ello es así, la identificación de la teoría no puede hacerse de manera precisa. Pero si la teoría cuántica no puede identificarse con alguna precisión, el problema de la interpretación de dicha teoría resulta insoluble por el simple hecho de que no está claro qué es lo que debe interpretarse.

Muchos libros de texto suelen presentar la teoría cuántica estándar mediante un conjunto de principios, postulados, leyes o reglas fundamentales de la teoría. La manera de formular estos principios varía mucho según la obra. En la mayoría de los casos, la lista es una colección heterogénea de reglas interpretativas y leyes empíricas. Además, tales principios no constituyen una base axiomática suficiente para la axiomatización de la mecánica cuántica. No obstante, permiten delimitar de manera aproximada el alcance de la teoría.⁹

⁹ Entre las muchas obras que emplean este modo no estrictamente axiomático de presentar la teoría, pero al menos, basado en postulados, se cuentan: Cohen-Tannoudji, Diu y Laloë (1977); Isham (1995) y Weinberg (2013).

Comoquiera que se interprete una teoría empírica, parece claro que la interpretación no debe permitir la derivación de nuevas consecuencias observacionales, ya que en tal caso, el resultado sería una teoría diferente. Al respecto, Bas Van Fraassen señala que:

Supongamos que acordamos que, en principio, puede haber más de una interpretación adecuada de una teoría. Por tanto, se sigue que las interpretaciones van más allá de la teoría; la teoría + la interpretación es lógicamente más fuerte que la teoría misma. (Pues, ¿cómo podría diferenciar entre visiones, todas las cuales aceptan la teoría, a menos que variaran en lo que agregan a ella?) Entonces, una interpretación introduce factores que no se encuentran en la teoría originalmente. ¿Y qué otra cosa significa “variables ocultas”? La superfluidez empírica se requiere para asegurar que no se siguen predicciones nuevas o diferentes, pues, de otro modo, tenemos una teoría alternativa más que una interpretación. (Van Fraassen, 1991: 243-244).

El criterio proporcionado por Van Fraassen para las interpretaciones de una teoría física, el de ser empíricamente superfluas, o mejor, empíricamente equivalentes, puede considerarse como un par de criterios parciales para la identidad y la diferencia de las teorías empíricas en general. Se dice que dos teorías son empíricamente equivalentes cuando: a) tienen consecuencias observacionales, y b) toda consecuencia observacional de una de ellas es también una consecuencia observacional de la otra. Así, las teorías empíricamente equivalentes tienen exactamente las mismas consecuencias observacionales. La equivalencia empírica es *condición necesaria* de la *identidad* entre teorías: (1) si $T_1 = T_2$, entonces, T_1 y T_2 son empíricamente equivalentes. Por su parte, la no equivalencia empírica es *condición suficiente* de la *diferencia* entre teorías: (2) si T_1 y T_2 no son empíricamente equivalentes, entonces, $T_1 \neq T_2$.

Estos dos criterios tienen amplia aceptación, a menudo de manera implícita, entre científicos y filósofos de la ciencia. No obstante, sólo proporcionan un criterio parcial para la identificación de una teoría. La conversa de estos dos condicionales, si fuera aceptable, proporcionaría un criterio completo junto con los dos anteriores, es decir, ofrecería condiciones necesarias y suficientes para la identidad y la diferencia de teorías. Sin embargo, las condiciones (3) si T_1 y T_2 son empíricamente equivalentes, entonces, $T_1 = T_2$; y (4) si $T_1 \neq T_2$, entonces, T_1 y T_2 no son empíricamente equivalentes, sólo son aceptables para una posición estrictamente empirista acerca de las teorías. De acuerdo con esta concepción, la identidad de una teoría está dada por la clase

de sus consecuencias observacionales. Ha sido una idea frecuente entre los positivistas y empiristas lógicos, y entre los verificacionistas en general. Más recientemente, Quine la suscribió de manera explícita:

Las teorías pueden diferir completamente en los objetos que recorren sus variables de cuantificación, y todavía ser empíricamente equivalentes, [...] Difícilmente parecemos autorizados a llamarlas dos teorías; son dos maneras de expresar una y la misma teoría. (Quine, 1992: 96)

Se sigue de esta concepción que dos teorías empíricamente equivalentes, por mucho que puedan diferir en sus postulados teóricos y en su ontología pretendida, no son más que dos formulaciones diferentes de una y la misma teoría. Los filósofos y científicos de inclinación realista, o antipositivista en general, difícilmente puedan aceptar este criterio de identidad para las teorías. Se trata de un criterio que no es epistemológicamente neutral y que no puede, por tanto, aceptarse sin mayores reservas.

Con todo, el criterio parcial para la diferencia entre teorías provisto por la condición (2) arroja un resultado esclarecedor para las interpretaciones de la mecánica cuántica. Una supuesta interpretación de la teoría cuántica estándar que no sea empíricamente equivalente a dicha teoría no es una interpretación, sino una teoría alternativa. Esto es lo que ocurre con la teoría del colapso espontáneo de Ghirardi, Rimini y Weber (1986), conocida como GRW y frecuentemente presentada como una interpretación de la mecánica cuántica. Sin embargo, Giancarlo Ghirardi, su principal artesano, reconoce explícitamente que se trata de una teoría rival, o mejor, de una familia de teorías rivales:

[...] los modelos de reducción dinámica producen modificaciones matemáticas precisas de la teoría estándar y como tales, al menos en principio, implican consecuencias físicas precisas que contradicen a la teoría. En este respecto, tales teorías [las de tipo GRW] no constituyen meramente reinterpretaciones de la mecánica cuántica con el mismo contenido empírico, sino teorías genuinamente rivales capaces de ser falsadas en un laboratorio. (Ghirardi, 2005: 425-426)

La teoría GRW no es empíricamente equivalente a la teoría cuántica estándar. Por ejemplo, según GRW la energía no se conserva cuando ocurre un colapso espontáneo del vector de estado. En principio, al menos, es posible diseñar un experimento crucial que contraste ambas teorías respecto de alguna consecuencia observacional en la que difieren. En la práctica, tales

experimentos no han sido posibles hasta ahora, pero en el futuro la teoría GRW podría ser disconfirmada por alguna experiencia que confirme a la teoría cuántica estándar, como sugiere Ghirardi.

La teoría de variables ocultas de Bohm, en cambio, es empíricamente equivalente a la mecánica cuántica estándar, por lo que este criterio no permite determinar si se trata de una interpretación de esta teoría o de una teoría alternativa. De hecho, como ya hemos señalado, tanto científicos como filósofos de la ciencia han tenido una posición ambigua al respecto.¹⁰

3. La formulación de la teoría

El segundo paso en la interpretación de una teoría empírica consiste en identificar la formulación estándar de la teoría, en particular, el formalismo matemático que se emplea en dicha formulación. En el caso de la teoría cuántica, la formulación estándar se debe principalmente a Dirac (1930) y Von Neumann (1932), que establecieron, respectivamente, la notación y el formalismo actualmente empleados. La manera de presentar este formalismo tiene dos partes. La primera parte consiste en la especificación del *espacio de los estados* de los sistemas físicos sobre los que trata la teoría. En la formulación estándar, el espacio de los estados es el espacio de Hilbert, un espacio vectorial complejo de infinitas dimensiones. La segunda parte consiste en la presentación de las *leyes dinámicas* de la teoría, leyes que determinan la evolución temporal de los puntos de ese espacio de los estados. En la teoría cuántica estándar la ley dinámica fundamental es la ecuación de Schrödinger, una ley determinista que especifica cómo evoluciona en el tiempo un sistema físico cerrado, es decir, que no interacciona con su entorno, con otros sistemas físicos. Determina la llamada *evolución unitaria* de los sistemas físicos, que es continua y, en muchos aspectos, semejante a la de las ondas clásicas, como las ondas electromagnéticas.

Conjuntamente, el espacio de los estados y la dinámica constituyen la estructura de una teoría física. Una interpretación de la teoría cuántica estándar no debería modificar la estructura de dicha teoría. Si lo hace, puede sostenerse que el resultado es una teoría alternativa, incluso aunque sea empíricamente equivalente a la teoría estándar. Esto puede postularse como un criterio general para la identidad de una teoría física: si se modifica el espacio de los estados y/o la dinámica de una teoría física, es decir, alguno de los dos

¹⁰ La teoría de Bohm, se ha sostenido, podría no ser empíricamente equivalente a la teoría estándar, pero hasta el momento no se ha encontrado ninguna predicción que no tengan en común.

aspectos de su estructura, se obtiene una teoría alternativa. Este es un criterio independiente del de la equivalencia empírica. Se lo puede llamar el criterio de la *conservación estructural*. De la aplicación de este criterio se sigue que la teoría de variables ocultas de Bohm, o la Mecánica Bohmiana, no es una interpretación de la teoría cuántica estándar, sino una teoría rival, aunque empíricamente equivalente. La teoría de Bohm mantiene la dinámica de la teoría estándar (es decir, no cambia la ecuación de Schrödinger), pero no conserva el espacio de los estados, sino que lo modifica introduciendo nuevos estados posibles, aquellos representados por las llamadas variables ocultas. De este modo, en la teoría de Bohm el espacio de los estados de la teoría cuántica estándar debe suplementarse con un espacio de los estados para las nuevas variables. Estas variables representan, esencialmente, las posiciones de las partículas que están siempre bien determinadas y, como consecuencia de ello, también lo están sus respectivas trayectorias en el espacio y en el espacio-tiempo.

El criterio de la conservación estructural también arroja el resultado de que la teoría GRW es una teoría alternativa a la mecánica cuántica estándar. En este caso, la teoría mantiene sin cambios el espacio de los estados de la teoría estándar, pero modifica la dinámica lineal de la mecánica cuántica estándar introduciendo un término no lineal en la ecuación de Schrödinger. Como consecuencia del cambio en la ley dinámica fundamental, la teoría GRW tiene consecuencias observacionales diferentes de las de la teoría cuántica estándar. En principio, esta situación se puede generalizar: si una teoría modifica el espacio de los estados de una teoría dada, pero no cambia la dinámica de tales estados, el resultado será una teoría empíricamente equivalente a la primera, donde la trayectoria de un punto en el espacio de los estados será idéntica a la trayectoria que predice la teoría original. En cambio, si la nueva teoría modifica la dinámica de la anterior (de una manera no trivial, es decir, no equivalente), el resultado será una teoría que no es empíricamente equivalente a la primera, una teoría que predice una trayectoria diferente para al menos algunos puntos del espacio de los estados.

En síntesis, tanto la Mecánica Bohmiana como la teoría del colapso espontáneo de GRW (en realidad, una familia de teorías) son teorías alternativas a la mecánica cuántica estándar y no interpretaciones de esta teoría. La teoría GRW resulta una teoría alternativa porque viola las dos condiciones que debería cumplir toda interpretación de una teoría física: la equivalencia empírica y la conservación estructural. La Mecánica Bohmiana, por su parte, cumple con la primera de las condiciones, pero viola la segunda.

La llamada interpretación de los muchos mundos (*many worlds*), o del estado relativo, de Everett, en cambio, no es una teoría alternativa según estos criterios, ya que no modifica ni el espacio de los estados ni la dinámica lineal de la teoría cuántica estándar, es decir, deja intacta la totalidad de la estructura de la teoría y, por consiguiente, resulta empíricamente equivalente a la teoría cuántica ortodoxa. David Wallace (2013: 212) la llama una “interpretación *pura*”, pero esta expresión no es particularmente feliz, ya que parece aceptar implícitamente la existencia de interpretaciones “impuras”, aunque no es claro que pueda significar esto. Desde el punto de vista que he propuesto aquí, no hay lugar para interpretaciones impuras; o bien una interpretación mantiene sin cambios el espacio de los estados y la dinámica de la teoría cuántica estándar, o bien constituye una teoría alternativa.

4. La interpretación de la teoría

La especificación de la estructura de una teoría física (esto es, un espacio de los estados y una dinámica) no es suficiente para formular una teoría física, o, más en general, una teoría empírica. Un formalismo matemático puro carece de contenido empírico y no permite derivar ninguna predicción contrastable. Para obtener una teoría física es necesario que el formalismo tenga una interpretación, al menos parcial, en términos físicos. Por interpretación parcial debe entenderse una que no interpreta la totalidad de los símbolos matemáticos del formalismo, sino solo algunos de ellos. Por interpretación en términos físicos debe entenderse una interpretación, total o parcial, que asigna un significado físico a los símbolos matemáticos. Usualmente esta clase de interpretación correlaciona un símbolo matemático con un significado físico especificando qué clase de entidad física representa ese símbolo matemático (tomando aquí entidad en su sentido más amplio, que incluye, objetos, propiedades, relaciones, eventos y procesos físicos). Si ningún símbolo matemático tiene una interpretación física, la teoría en cuestión es una teoría puramente formal. Esto vale en general para cualquier teoría física. En el caso de la mecánica cuántica, es evidente que un espacio de Hilbert por sí mismo es un objeto matemático del cual no puede deducirse ninguna predicción acerca de ningún fenómeno físico o resultado experimental. Incluso si se le agrega una dinámica a este espacio, como la que proporciona la ecuación de Schrödinger, sólo pueden predecirse trayectorias en el espacio de configuración, pero tales trayectorias son entidades puramente geométricas, meras líneas (o conjuntos de puntos) en un espacio matemático abstracto, que no tienen relación alguna con el comportamiento de las entidades que supuestamente componen el mundo físico.

Muchos científicos que adoptan una posición instrumentalista respecto de la mecánica cuántica rechazan el problema mismo de la interpretación. Fuchs y Peres (2000), por ejemplo, afirman que la mecánica cuántica “no necesita interpretación” porque sólo proporciona un algoritmo para predecir, de manera probabilista, los resultados de posibles experimentos de medición. Asher Peres proporciona un claro ejemplo de la persistencia de esta posición anti-realista, según la cual “la mecánica cuántica no es una descripción objetiva de la realidad” porque “sólo predice la probabilidad de que ocurran eventos macroscópicos estocásticos” (Peres, 2002: 423). Es muy frecuente encontrar en obras de física afirmaciones según las cuales la mecánica cuántica es un mero formalismo matemático cuya única finalidad es la predicción de resultados experimentales. Los propios Fuchs y Peres expresan esta idea en los siguientes términos.

La teoría cuántica no describe la realidad física. Lo que hace es proporcionar un algoritmo para computar las probabilidades de los eventos macroscópicos (los “clicks en los detectores”) que son las consecuencias de nuestras intervenciones experimentales. (Fuchs & Peres, 2000: 70)

Sin embargo, la idea de un puro algoritmo matemático para calcular las probabilidades de obtener determinados resultados experimentales es en sí misma incoherente. Sólo una teoría física, es decir, un formalismo interpretado, puede hacer tal cosa.

La mecánica cuántica, como toda teoría física, es un formalismo que ya tiene una interpretación en términos físicos. Incluso el más anti-realista de los físicos o de los filósofos debe admitir este hecho. En el caso de la teoría cuántica, existe una interpretación básica del formalismo que es universalmente compartida por todos los físicos y usuarios de la teoría. Se la suele llamar “interpretación minimal”, aunque esta expresión también se ha usado con otros significados.¹¹ Usualmente, la interpretación minimal del formalismo de la teoría cuántica estándar se presenta mediante un conjunto de principios. Un examen de diferentes libros de texto muestra que algunos de los primeros principios o postulados que se enuncian son en realidad reglas semánticas que proporcionan una interpretación física de los símbolos matemáticos del espacio de Hilbert. Otros principios, en cambio, formulan leyes naturales.

¹¹ Véase, por ejemplo, Jaeger (2009) Cap. 3, para un panorama de diferentes concepciones de la interpretación.

Los principios más frecuentemente empleados (a veces bajo diferentes nombres, como “postulados”, “reglas” o “leyes”), son, entre otros, los siguientes:

P_1 : Un espacio de Hilbert representa un sistema físico determinado.

P_2 : Un vector (normalizado) de un espacio de Hilbert representa el estado de un sistema físico.

P_3 : La superposición lineal de dos vectores no nulos de un espacio de Hilbert representa el estado de un sistema físico (este es el llamado principio de superposición).

P_4 : El producto tensorial de dos espacios de Hilbert representa dos sistemas físicos en interacción.

P_5 : Un operador hermitiano en un espacio de Hilbert representa un observable (o una propiedad de un sistema físico).

No pretendo ofrecer aquí una formulación rigurosa de los principios de la teoría cuántica. Con todo, es evidente que los enunciados $P1$ - $P5$ no son enunciados empíricos que puedan ser confirmados o refutados por la experiencia. Más bien, se trata reglas de interpretación, que tienen un carácter convencional. Cada principio correlaciona un tipo de objeto matemático (como espacios, vectores y operadores) con un determinado tipo de entidad física (sistemas físicos, estados y propiedades de esos sistemas).¹² Desde un punto de vista lógico, son reglas semánticas o interpretativas, pero de ningún modo leyes físicas o naturales. En cambio, un principio como el siguiente expresa una ley natural:

P_6 : Todo sistema físico cerrado evoluciona en el tiempo de acuerdo con la ecuación de Schrödinger.

Esta es la ley dinámica fundamental de la teoría cuántica estándar y su carácter es semejante al de las leyes de Newton para la mecánica o las leyes de Maxwell para la electrodinámica. Claramente, no se trata de una regla semántica, sino de una hipótesis empírica acerca del comportamiento de los sistemas físicos reales. Como tal, en principio al menos, es susceptible de ser confirmada o disconfirmada por la experiencia, aunque, como ocurre con

¹² En los tratados de mecánica cuántica se los formula de diferentes maneras, más o menos equivalentes. Aquí los he enunciado de tal modo que primero se indica el símbolo matemático y luego el contenido físico representado por dicho símbolo.

todas las leyes de la física teórica, no tiene contenido empírico por sí misma, sino en conjunción con todo un sistema de hipótesis auxiliares presupuestas. No obstante, es un enunciado de una naturaleza muy diferente de la de los cinco primeros principios.

La principal conexión entre el formalismo de la teoría cuántica y la experiencia está dada por la llamada regla de Born:

P_γ : El cuadrado del módulo de un vector de estado expresa la probabilidad de encontrar al correspondiente sistema físico en ese estado determinado.

El carácter y la propia formulación de la regla de Born han sido objeto de discusión, pero aquí no intentaré tomar una posición al respecto. Usualmente la regla se formula en términos operacionales, esto es, como si expresara la probabilidad de que una medición encuentre al sistema físico en un determinado estado, y no la probabilidad de que el sistema mismo se encuentre en tal estado (por ejemplo, la probabilidad de que un experimento en el cual se mida la posición de un electrón dé como resultado el valor Δx , y no la probabilidad de que el electrón se encuentre en la región Δx). No es claro si la regla de Born debe entenderse como un enunciado empírico susceptible de ser disconfirmado por la experiencia (mediante métodos estadísticos). En cualquier caso, este principio es el que permite deducir las predicciones probabilistas características de la mecánica cuántica.

El principio de superposición a veces se considera como una ley empírica, pero no puede serlo por el hecho de que es una consecuencia puramente matemática del carácter lineal de los espacios de Hilbert. Si se admite que la superposición de estados no es una mera ficción útil, sino que representa una determinada situación del mundo físico, el esclarecimiento de este tipo de fenómeno constituye una de las principales dificultades conceptuales de la teoría cuántica estándar. El conocido problema de la medición, por su parte, se sigue del hecho de que nunca se observa un sistema físico en superposición de estados. Toda vez que se efectúa la medición de un observable de un sistema cuántico, como la posición o el *spin* de un electrón, el resultado es siempre un valor definido de dicho observable. Sin embargo, la teoría cuántica admite que un sistema se encuentre en superposición de estados y evolucione en el tiempo, en ausencia de toda interacción con otros sistemas físicos, manteniéndose en la misma superposición. Aquí hay un desacuerdo entre la teoría y la experiencia, desacuerdo que ha sido uno de los principales motores

que impulsaron la búsqueda de una teoría alternativa, como la de Bohm o la de GRW, en la cual la superposición no se admite, o bien colapsa de manera casi instantánea en un estado bien definido.

No resulta sencillo presentar de manera completa las reglas semánticas necesarias y suficientes para especificar la interpretación minimal de la teoría cuántica. En cualquier caso, aquí no intentaré hacerlo. Con todo, es claro que principios como P_1 - P_5 parecen ser indispensables para esta interpretación, pero no resulta evidente cuáles sean los principios suficientes.¹³ Por otra parte, los términos físicos (como “sistema”, “estado” y “observable”) que se correlacionan con los símbolos matemáticos necesariamente deben tomarse como primitivos de la interpretación minimal. En la práctica, nunca se intenta definirlos, sino que meramente se los ilustra con ejemplos típicos: un sistema físico, por ejemplo, es una partícula que se mueve dentro de una caja vacía, la posición de la partícula respecto de las paredes de la caja es un observable, y la posición de la partícula en un instante dado es un estado de ese sistema físico.

Sin una interpretación minimal, la teoría cuántica no podría considerarse como una teoría física, ya que quedaría reducida a un puro formalismo matemático sin contenido empírico. La idea de que la mecánica cuántica no necesita interpretación puede reformularse, entonces, en los siguientes términos: la interpretación minimal de la teoría cuántica estándar es necesaria y suficiente para cualquier aplicación de la teoría y para cualquier uso práctico de ella. Esto es, la teoría cuántica no necesita más interpretación que la que proporciona la interpretación minimal. Formulada de esta manera, es una posición razonable, prudente y defendible, que sería reivindicada por muchos científicos y filósofos de inclinación moderadamente empirista.

Si la interpretación minimal de la teoría cuántica es efectivamente suficiente para cualquier uso práctico de la teoría, quienes afirman que esta teoría requiere una interpretación adicional tienen la carga de la prueba y deberían explicar por qué la interpretación minimal no es totalmente satisfactoria y por qué es necesaria una interpretación más completa. Raramente se encuentra en la bibliografía una argumentación detallada al respecto. Ante todo, parece claro que la interpretación minimal es satisfactoria desde el punto de vista práctico, es decir, para las aplicaciones de la teoría. En la práctica no hay

¹³ Por ejemplo, no es claro si las llamadas reglas selección y de superselección forman parte o no de la interpretación minimal. Usualmente, no se las presenta de esa manera y parece razonable suponer que la interpretación minimal no las incluye. Por otra parte, los principios P_1 - P_7 no constituyen una base axiomática suficiente para la teoría cuántica estándar.

objecciones contra esta interpretación, que ha permitido un enorme número de contrastaciones y aplicaciones exitosas de la mecánica cuántica estándar. La objeción más recurrente es de tipo teórico y consiste en afirmar que la teoría cuántica estándar, minimalmente interpretada, no es comprensible o inteligible y no permite entender el comportamiento del mundo físico. Muchos físicos y filósofos no van más allá de formulaciones de este tipo, las cuales resultan poco esclarecedoras ya que el concepto mismo de comprensión que presuponen permanece sin elucidar. Si se intenta precisar la objeción, pueden encontrarse dos razones más precisas del carácter insuficiente de la interpretación minimal.

La primera razón es que la interpretación minimal es *incompleta*. Aquí no debe entenderse que sea incompleta en el sentido de que sea parcial, es decir, que sólo interprete una parte del formalismo matemático. De hecho, es una interpretación completa desde este punto de vista, ya que todos los símbolos específicos del espacio de Hilbert que pueden estar sujetos a interpretación tienen un significado físico asignado por la interpretación minimal. Esta no interpreta los símbolos matemáticos presupuestos, como los que se refieren a las operaciones aritméticas, los números reales y complejos o las derivadas e integrales, entre otros. Estos símbolos no son propios del formalismo de la mecánica cuántica (sino de todas las teorías de la física matemática) y ya se suponen previamente comprendidos. Son parte de la matemática subyacente a la teoría. La interpretación minimal debe considerarse incompleta en el sentido de que no permite responder determinadas preguntas acerca del sentido de las afirmaciones que se derivan de la teoría. Estas preguntas generalmente se obtienen por comparación con otras preguntas análogas que sí tienen respuestas dentro de las teorías de la física clásica. Un ejemplo lo proporciona el concepto mismo de estado de un sistema cuántico. En la mecánica clásica, el estado de un sistema físico, que se supone compuesto por partículas materiales, está dado por las posiciones y los momentos (relativos a un referencial dado) de todas las partículas que lo componen. En la teoría cuántica, en cambio, no es intuitivamente claro qué significa el estado de un sistema, en particular, uno que se encuentra en superposición de estados. Otro ejemplo lo proporcionan las probabilidades. En la física estadística clásica las probabilidades tienen un significado subjetivo o epistémico y, por tanto, las distribuciones de probabilidad sobre los estados de un sistema físico compuesto, formado por muchas partículas, resulta una expresión de nuestra propia ignorancia acerca del estado determinado de cada partícula del sistema. En el caso de la teoría cuántica, el significado de las probabilidades no es evidente, pero se sabe que hay dificultades conceptuales para interpretarlas como en

las teorías clásicas. Frecuentemente, se consideran cómo probabilidades objetivas, pero es difícil interpretarlas como frecuencias observadas. Muchos filósofos prefieren una interpretación propensivista, pero esta interpretación tiene problemas para satisfacer el cálculo clásico de probabilidades. Además, se sabe que las probabilidades de la mecánica cuántica estándar no satisfacen los axiomas de Kolmogorov para el cálculo clásico de probabilidades. La interpretación subjetivista, o bayesiana, de las probabilidades como grado de creencia también tiene sus partidarios. En principio, el significado de las probabilidades cuánticas es todavía una pregunta abierta, acerca de cuya respuesta no hay un consenso firme entre científicos o filósofos.¹⁴

La otra razón que puede encontrarse contra la interpretación minimal es que proporciona una interpretación *incoherente*. Esto no debe entenderse como si la teoría fuera lógica o matemáticamente inconsistente. Si bien no hay, ni se espera que haya, una prueba de la consistencia absoluta de la teoría cuántica, tampoco se ha encontrado, como ocurre con la mayoría de las teorías matemáticas, una auténtica paradoja o inconsistencia formal dentro de la teoría. La incoherencia debe entenderse en relación con la imagen del mundo físico que la teoría proporciona. Esto es, si se admite que la teoría cuántica tiene como fin ofrecer una descripción del mundo físico, entonces, la descripción que se obtiene de ella no es coherente. Como puede suponerse, el problema fundamental proviene de la superposición de estados, que es, en mi opinión, la dificultad conceptual más importante de la teoría estándar. Así, por ejemplo, la teoría permite describir un sistema físico en una superposición de estados de posición, por ejemplo, una partícula que se encuentra en superposición de estados de posición dentro y fuera de una caja. Es fácil preparar una partícula en ese estado, pero no es claro cuál sea el significado físico de esa situación. Puede argumentarse que si esa descripción se toma literalmente, es decir, como si dijera que la partícula se encuentra simultáneamente y en acto dentro y fuera de la caja, resulta incoherente, e incluso lógicamente contradictoria. Otras situaciones incluso más paradójicas se presentan con la superposición de estados de una partícula dentro de dos o más cajas espacialmente separadas.¹⁵

¹⁴ El axioma que no se satisface es el de aditividad, y ello tiene como consecuencia que no se cumplan varios teoremas fundamentales del cálculo clásico (para una presentación elemental véase Auletta, Fortunato y Parisi (2009: 28-31); y Auletta y Wang (2014: Cap. 2). Sobre la interpretación propensivista en general véase Gillies (2000) Cap. 6. Sobre la interpretación bayesiana de las probabilidades cuánticas véase Bub (2007).

¹⁵ La paradoja de las dos cajas fue concebida por Einstein en 1935 y desarrollada por Louis de Broglie en 1959. Véase Cassini (2016) para un análisis detallado de ella.

Una interpretación satisfactoria de la mecánica cuántica debería, entonces, ser una interpretación *completa y coherente*, es decir, una que no deje preguntas abiertas, por ejemplo, acerca del significado físico de los estados cuánticos superpuestos ni de las probabilidades de la teoría. Se supone, además, que esta clase de interpretación debería proporcionar una imagen coherente del mundo cuántico, algo que la interpretación minimal no hace ni se propone hacer. La falta de una imagen global del mundo cuántico es una de las objeciones más frecuentes a la teoría estándar. En términos filosóficos, suele reformularse la cuestión diciendo que la teoría cuántica estándar no tiene una ontología definida, o de manera equivalente, que no proporciona las condiciones de verdad, o no especifica los hacedores de verdad de la teoría. Se afirma, entonces, que una interpretación plena de la teoría cuántica debería ofrecer tal ontología. Esta es una cuestión que merece considerarse por separado.

5. La ontología de la teoría

Muchos científicos y filósofos reducen la cuestión de la interpretación de la teoría cuántica a la de especificar cuál es la ontología de esta teoría. Así, por ejemplo, Van Fraassen (1991) afirma que interpretar una teoría consiste en decir cómo sería el mundo en caso de que la teoría fuera verdadera. De manera más específica, una interpretación debe responder a las preguntas: “¿Bajo qué condiciones es verdadera esta teoría? ¿Cómo dice que es el mundo?” Van Fraassen señala que “estas dos preguntas son la misma” (1991: 242). Entonces, interpretar la teoría cuántica consiste en determinar cuáles son sus condiciones de verdad, y esto equivale a decir cómo sería el mundo en caso de que la teoría fuera verdadera o, más simplemente, cómo es el mundo según la mecánica cuántica. La respuesta a esta pregunta implica, por tanto, determinar cuáles son los “hacedores de verdad” de la teoría, es decir, cuáles son (o serían) los estados de cosas o las situaciones en el mundo que harían verdadera a la teoría. Esto, implica, evidentemente, especificar la ontología de la mecánica cuántica.

Laura Ruetsche (2011) se expresa en términos similares. Sostiene que interpretar una teoría física consiste esencialmente en determinar cuáles son los mundos posibles según dicha teoría. Por mundos posibles debe entenderse aquellos que son física o nomológicamente posibles. Su concepción se resume en los siguientes términos:

Interpretar una teoría física es caracterizar los mundos que son posibles según esa teoría. Pueden distinguirse dos fases de esa interpretación. Una fase

identifica las estructuras de esa teoría: sus estados, observables y dinámica. La otra caracteriza las situaciones físicas que cuentan como modelos de la teoría así estructurada. La interpretación es un ejercicio de interpretación nómica: las leyes de una teoría guían la caracterización de sus mundos posibles; la interpretación de una teoría es al mismo tiempo una explicación de la noción de posibilidad nomológica aliada con la teoría. (Ruetsche, 2011: 9).

En el caso de la mecánica cuántica, ya sea la teoría estándar o teorías alternativas, como la de Bohm o GRW, la primera fase de la interpretación no ofrece mayores problemas. La primera fase consiste, simplemente, en identificar la teoría, o, más precisamente, aquello que he llamado su estructura. El espacio de los estados, los observables y la dinámica de cada teoría están perfectamente identificados en cada caso. Para la teoría cuántica estándar, el espacio de los estados es el espacio de Hilbert, los observables son tanto magnitudes clásicas (posición, momento, energía) como específicamente cuánticas (*spin*) y la dinámica la proporciona la ecuación de Schrödinger. Usualmente, como ya señalé, la estructura de la teoría se caracteriza mediante postulados como P_1 - P_7 . Sin embargo, la segunda fase de la interpretación ha resultado hasta el momento imposible de realizar; nadie ha podido determinar cuáles son los modelos de la estructura así caracterizada, o, lo que es equivalente, cuáles son los mundos físicamente posibles según esta teoría. En realidad, la primera fase es la identificación de la teoría, por lo que no es parte de la interpretación, sino una condición necesaria de ella. La segunda fase es la interpretación propiamente dicha, para la cual deberían especificarse las condiciones de adecuación.¹⁶

El supuesto básico de todas las posiciones (que podemos llamar realistas) que consideran que el problema de la interpretación de la mecánica cuántica consiste en determinar cuál es la ontología de la teoría estándar es el de la *unicidad* de la ontología. De acuerdo con este supuesto, generalmente no explicitado, la relación entre una determinada teoría física y una ontología es unívoca, es decir, una relación de uno a uno. Se supone, entonces, que una teoría física tiene un único referente o, más precisamente, que la teoría determina una ontología específica. Dicha ontología estaría formada por todos los hacedores de verdad de la teoría. Entonces, para desvelar la ontología subya-

¹⁶ Ruetsche (2011: 10-12) intenta proporcionar algunas condiciones suficientes de adecuación, pero la formulación que ofrece de ellas resulta más bien vaga. Por ejemplo, la siguiente: “Una interpretación debería permitir a la teoría que interpreta pagar sus deudas explicativas” (*to discharge its explanatory duties*) (p. 11). No es en absoluto claro cuáles serían esos deberes explicativos que debería cumplir la interpretación de una teoría cuántica.

cente a la teoría cuántica estándar, sería suficiente establecer los referentes de sus términos descriptivos y, a partir, de ellos, los de todos los enunciados que componen la teoría.

El supuesto de la unicidad de la ontología de las teorías físicas encuentra un obstáculo insuperable en la tesis de la relatividad ontológica, tesis que se encuentra fundada en propiedades metalógicas bien establecidas de las teorías en general. Quine (1968), como es bien conocido, popularizó esta tesis y le dio su denominación característica. No obstante, la tesis es sumamente general y no depende de tesis específicas de la filosofía de Quine, como la inescrutabilidad de la referencia, el holismo epistemológico o la subdeterminación de las teorías por la experiencia. Para establecerla, en mi opinión, basta la teoría de modelos clásica, que se puede aplicar a cualquier teoría, ya sea formulada en un lenguaje formalizado o no.

Es un hecho bien establecido, por razones puramente lógicas, que toda teoría satisfacible tiene múltiples modelos, generalmente un número infinito de ellos, independientemente de que lleguemos a conocer siquiera uno. Además, toda teoría de primer orden tiene siempre modelos *no estándar*, es decir, modelos que no son isomorfos con el modelo pretendido o estándar de la teoría. Por esa razón, ninguna teoría de primer orden es categórica. En razón de la llamada versión ascendente del teorema de Löwenheim y Skolem, si una teoría de primer orden tiene un modelo infinito contable, también tiene un modelo no contable, es decir, uno cuyo dominio es un conjunto que tiene una cardinalidad mayor que la del conjunto de los números naturales. En consecuencia, si una teoría de primer orden tiene un modelo en el dominio de los números naturales, como ocurre en el modelo estándar de la Aritmética de Peano, también tendrá otros modelos en dominios como el de los números reales, o el de los puntos del continuo, y posiblemente muchos otros que no son isomorfos entre sí.

En general, toda teoría, sea o no categórica, tendrá una multiplicidad de modelos en dominios diferentes de objetos. Los axiomas de la teoría restringen la clase de los modelos posibles de dicha teoría, pero no determinan ningún modelo en particular. Incluso en el caso de teorías categóricas, éstas tendrán modelos en dominios de objetos tanto abstractos como concretos. Los axiomas de la teoría, por tanto, no determinan los objetos a los que se refiere la teoría. Al contrario, son siempre compatibles con diferentes clases de objetos, independientemente del dominio particular de objetos a los que la teoría pretenda referirse. Por ejemplo, una teoría física que quiera referirse a partículas materiales que se mueven en el espacio también podrá tener un modelo en el dominio de los números naturales. Se trataría de un modelo no

pretendido, sin duda, pero, desde un punto de vista puramente lógico, éste es un modelo más entre otros posibles y no tiene ningún privilegio más que el que le pueda conceder la intención de los agentes que lo construyen o lo aplican. En matemática, por otra parte, la mayor parte de las teorías no tiene un modelo pretendido. La teoría de grupos constituye un buen ejemplo. Esta teoría surgió desde un comienzo como una teoría del álgebra abstracta sin aplicación pretendida alguna, y luego se le encontraron modelos (hipotéticos) en dominios muy diferentes de objetos, tales como los números enteros, los cristales y las partículas elementales.

La situación no es esencialmente diferente para las teorías físicas. Suponiendo que una teoría física tenga un modelo pretendido o estándar, también tendrá otros modelos en diferentes dominios. Podría objetarse que una teoría física no es una teoría formal que admita diferentes interpretaciones, sino que es una teoría interpretada desde su mismo origen y que, por tanto, tiene una ontología pretendida. Es indudablemente cierto, como ya argumenté en la sección anterior, que una teoría física cuyo formalismo matemático no esté interpretado no es una teoría empírica, pero de allí no se sigue que sólo tenga una sola interpretación posible. Mucho menos, que la ontología de la teoría sea unívoca. Lo que suele denominarse la ontología de una teoría física solo es la ontología pretendida de la teoría, esto es, la ontología del modelo pretendido de dicha teoría. Por otra parte, al igual que las teorías matemáticas, no toda teoría física tiene un modelo pretendido ni, por consiguiente, una ontología pretendida. La teoría física sólo necesita una interpretación minimal para adquirir contenido empírico, pero esa interpretación minimal puede ser insuficiente para especificar una ontología completa, o incluso coherente, como ocurre en el caso de la teoría cuántica estándar.

La posición filosófica que acepta una “ontología primitiva” para las teorías físicas parece admitir que esta no es otra cosa que una ontología pretendida. Así, Valia Allori escribe que:

La física trabaja por medio de la matemática: una teoría contiene varios objetos matemáticos, algunos con significación física, otros sin ella. El punto aquí es que esto se establece una vez que se propone la teoría: ya hay una interpretación natural para cada objeto matemático, a saber, aquella que el que propone la teoría pretende darle. La elección del científico de lo que existe físicamente en el mundo determinará más o menos automáticamente el objeto matemático para representarlo. [...] Una vez que el científico construye la teoría, la imagen metafísica que ésta proporciona ya ha sido definida y hay una muy limitada libertad para reinterpretar el formalismo. (Allori, 2013: 63)

La tesis aquí formulada parece suscribir a la vez dos tesis inconsistentes entre sí: una según la cual la ontología de una teoría es aquella que pretenden darle los científicos que la construyen, y otra según la cual esa ontología es única. La primera tesis es cierta, pero la segunda es errónea. El formalismo matemático de una teoría física no determina una interpretación física unívoca para los símbolos matemáticos del formalismo de dicha teoría. Dada una asignación de significado a estos símbolos, por razones puramente lógicas es posible construir una función que reinterpreta de manera uniforme y coherente todos esos símbolos modificando su referencia y, por tanto, produciendo una interpretación diferente. Quine (1992: 31-33) la ha llamado una “función proxy” y ha ofrecido ejemplos de cómo opera dicha función. Por otra parte, una ontología pretendida tampoco determina el formalismo matemático con el cual representarla, sino que es compatible con diferentes formalismos. No existe ningún camino unívoco que vaya del formalismo de una teoría física a su ontología pretendida, ni tampoco a la inversa, de la ontología al formalismo.

Los partidarios de la ontología primitiva han admitido, además, que no toda teoría tiene una ontología pretendida. En palabras de la propia Allori:

De hecho, la Mecánica Bohmiana es una teoría con una ontología primitiva: hay partículas (la ontología primitiva) cuya evolución temporal está gobernada por una función de onda de Schrödinger que evoluciona (la variable no primitiva). [...] La teoría GRW [en cambio] no tiene una ontología primitiva. (Allori, 2013: 69)

Incluso admitiendo que la ontología pretendida de la teoría de Bohm es una ontología de partículas materiales que se mueven con trayectorias determinadas en el espacio físico tridimensional (o en el espacio-tiempo cuadridimensional), es seguro que esa teoría es compatible con una ontología en la que no existen las partículas. Por lo demás, muchas teorías físicas no tuvieron en su origen una ontología pretendida y, precisamente por esa razón, resultaron luego compatibles con diferentes teorías posteriores. La relatividad especial, tal como la formuló Einstein en 1905, proporciona un buen ejemplo. En la teoría se postula que la velocidad de la luz es constante, pero no se presupone ninguna ontología en particular para la luz misma, ni para la materia, ni para la propagación de las interacciones físicas en general. La relatividad especial es compatible tanto con una ontología de partículas que actúan a distancia en el espacio vacío, como con una ontología de campos donde las interacciones se propagan por acción local en un medio físico continuo, como el campo electromagnético. Las leyes de la teoría sólo imponen restricciones

para las ontologías compatibles con la teoría, pero no determinan ninguna ontología en particular. Así, por ejemplo, es una ley física de la relatividad especial que ninguna interacción puede propagarse de una región a otra del espacio-tiempo con una velocidad mayor que la de la luz en el vacío, que resulta un límite para la transmisión de cualquier señal física. No obstante, esta ley no determina que la relatividad especial sea una teoría de campos, como se afirma a veces. La ley es compatible con una ontología de partículas que actúan a distancia, pero impone la restricción de que las interacciones no pueden ser instantáneas, sino que tienen una velocidad límite.

Así pues, la relación entre teoría y ontología no sólo no es unívoca, sino que es de muchos a muchos: una misma teoría física es compatible con diferentes ontologías y una misma ontología es compatible con diferentes teorías físicas. La búsqueda de la ontología de la mecánica cuántica es, por consiguiente, un problema mal planteado, basado en el falso supuesto de la unicidad de la ontología. En términos puramente filosóficos, debería decirse, entonces, que no existe un único conjunto de hacedores de verdad para cada teoría, sino una multiplicidad de conjuntos diferentes, cada uno de ellos suficiente para la verdad de la teoría. Dicho de otro modo, el mundo podría ser de maneras muy diferentes en caso de que la teoría cuántica estándar fuera verdadera. Ello vale también para cualquier teoría alternativa. Todavía en otros términos, hay muchos mundos físicamente posibles de acuerdo con la mecánica cuántica. Una teoría física no describe un único mundo determinado, sino una pluralidad de mundos posibles. Esta no es más que otra manera de decir que una y la misma teoría (si es satisfacible) siempre tiene una pluralidad de modelos diferentes. Aquella ontología que se considera la ontología de una determinada teoría física no puede ser más que una *ontología pretendida*, una entre muchas otras posibles.

¿Se sigue de todo esto que la ontología de una teoría es irrelevante? Algunos filósofos, como Quine, los han afirmado de manera explícita. Según su posición:

La referencia y la ontología retroceden, por tanto, al status de meros auxiliares. Las oraciones verdaderas, teóricas y observacionales, son el alfa y el omega de la empresa científica. Están relacionadas por la estructura, y los objetos figuran como meros nodos de la estructura. Qué objetos particulares puedan existir es indiferente para la verdad de las oraciones observacionales, indiferente para el apoyo que éstas otorgan a las oraciones teóricas, indiferente para el éxito de la teoría en sus predicciones. (Quine, 1992: 31)

Esta conclusión, sin embargo, depende de una concepción general de los fines de la ciencia. Para una posición empirista, los objetivos principales del conocimiento científico son la sistematización de los fenómenos y la predicción de los eventos futuros. Desde este punto de vista, la ontología de una teoría física es un asunto secundario, ya que no afecta a la adecuación empírica de dicha teoría. Si, en cambio, se pretende obtener una imagen global del mundo físico, la ontología pretendida adquiere relevancia. No obstante, ninguna interpretación realista de las teorías empíricas puede reivindicar la idea de que existe algo así como la ontología determinada por una teoría, del mismo modo que, por razones puramente lógicas, no existe el modelo determinado por una teoría. Las teorías restringen la clase de sus posibles modelos y de sus posibles ontologías, pero nunca las determinan.

¿Qué sentido tiene, entonces, la búsqueda de una ontología para la teoría cuántica? Como ya se ha dicho, tal ontología no puede ser más que una ontología pretendida. ¿Para qué sirve disponer de tal ontología? Muchas teorías físicas, incluso cuánticas, no tienen una ontología pretendida, de manera análoga a la que muchas teorías matemáticas no tienen un modelo pretendido. La teoría cuántica estándar, desde sus propios orígenes, careció de tal ontología. Los ejemplos paradigmáticos de entidades cuánticas eran partículas elementales como el electrón y, de manera más o menos implícita, se suponía que el dominio de la teoría lo formaban las entidades microscópicas. La transición del mundo cuántico al mundo clásico siempre constituyó un problema para este punto de vista. Incluso se admitía que la línea de demarcación entre ambos mundos no era nítida, sino un asunto más o menos convencional. Actualmente, esta posición no parece sostenible y la mayoría de los físicos y filósofos de la física considera que la teoría cuántica tiene un alcance universal y que, en particular, se aplica al dominio de las entidades mesoscópicas y macroscópicas.¹⁷ Sin embargo, no es claro cuáles sean los modelos pretendidos de la teoría, ni cuál la ontología presupuesta en el dominio de estos modelos. En particular, la superposición de estados, que es un elemento esencial de la teoría estándar, impide concebir una ontología coherente, ya que no es posible dar sentido a la noción de una entidad macroscópica en superposición de estados de un observable como la posición. Desde este punto de vista, la ontología de la teoría cuántica estándar siempre ha sido inescrutable, y todavía permanece en ese estado.

¹⁷ Sobre el llamado problema del límite clásico véase Schlosshauer (2007).

6. Dos argumentos contra las interpretaciones totales

Muchos físicos, como ya he señalado, consideran que la interpretación minimal de la mecánica cuántica es insatisfactoria, pero raramente intentan explicar qué condiciones debería satisfacer una interpretación satisfactoria. Roberto Torretti ha señalado con razón que las interpretaciones totales son “aventuras metafísicas” porque consideran el significado y el alcance de la mecánica cuántica desde puntos de vista que son externos a la ciencia empírica (Torretti, 1999: 367). Algunas de estas interpretaciones, señala Torretti, fueron propuestas como alternativas a la teoría estándar, pero no porque hubiera algún resultado experimental incompatible con dicha teoría, sino sobre la base de determinadas preferencias metafísicas. Tal es el caso de la teoría de variables ocultas de Bohm. Otras, como la interpretación de los muchos mundos, al menos en alguna de sus formulaciones, conducen directamente a “una teoría metafísica de la clase menos reputada” (Torretti, 1999: 368).

Un ejemplo más reciente de aventuras que culminan en esta clase de metafísica es el llamado “realismo de la función de onda”, propuesto originalmente por David Albert (1996) y desarrollado luego por diferentes filósofos de la física.¹⁸ Según este punto de vista, las funciones de onda de las cuales habla la teoría cuántica son “objetos físicos concretos” (Albert, 2013: 53), más específicamente, son campos. Pero no se trata de objetos que existan en el espacio tridimensional, sino, directamente en un espacio de un número superior de dimensiones. Albert lo caracteriza diciendo que:

[...] es un espacio que es isomorfo a lo que en las concepciones más convencionales de la mecánica cuántica se hace referencia como *el espacio de configuración* del mundo, un espacio cuya dimensionalidad es tres veces tan grande como el número total de partículas en el universo. (Albert, 2013: 53, subrayado por el autor)

En principio, hay aquí un equívoco terminológico porque la función de onda es una entidad matemática, un vector, y no un objeto físico. Debería decirse, entonces, que la función de onda se refiere a determinados objetos físicos concretos.¹⁹ El núcleo de la argumentación consiste en tomar seriamen-

¹⁸ La metafísica de la mecánica cuántica propuesta por Albert se discute con mucho detalle en Ney y Albert, (2013).

¹⁹ Es preferible llamarla el vector de estado, en vez de la función de onda, para evitar equívocos, pero este último término ya se encuentra establecido por el uso. Siguiendo a Maudlin (2013: 128), conviene decir que la función de onda, en tanto símbolo matemático que tiene una interpretación física, se refiere

te la existencia del espacio de configuración, que es un espacio puramente matemático, como si fuera un espacio físico. Como se sabe, en la mecánica cuántica la función de onda de un sistema de N partículas se representa en un espacio de $3N$ dimensiones. Pero usualmente se considera a este espacio como un mero artificio matemático, análogo al espacio de las fases de la física estadística clásica. Albert y sus seguidores, en cambio, lo toman como una representación del espacio físico real. Así pues, según su punto de vista, la mecánica cuántica se refiere a campos en un espacio multidimensional, posiblemente, de infinitas dimensiones. El espacio tridimensional en el cual se desenvuelve nuestra experiencia, por su parte, no es más que una apariencia. Pero, como no conocemos el número de partículas del universo, tampoco podemos saber cuál es el número de dimensiones del espacio físico. Resulta difícil pensar que esta especulación metafísica pueda ser algo más que una extravagancia.

Hay al menos dos argumentos que pueden presentarse contra las interpretaciones totales de esta naturaleza. El primero es una variante del argumento de la subdeterminación de las teorías por la experiencia. De acuerdo con este argumento, todas las interpretaciones totales de la mecánica cuántica deben ser empíricamente equivalentes, pues de otro modo serían teorías alternativas y no meras interpretaciones. Por consiguiente, la experiencia no permite distinguir entre ellas. Si una es empíricamente adecuada o inadecuada, todas las demás también lo serán. La justificación de una interpretación determinada, entonces, se encuentra más allá de la experiencia. Sin embargo, hasta el momento no se han hecho explícitos los criterios que permitirían compararlas y determinar que alguna de ellas es superior a las demás. Por esa razón, no se dispone de ningún criterio definido para sostener que una interpretación es mejor que otra, y todo parece reducirse a una cuestión de preferencias subjetivas por una determinada metafísica.

El segundo argumento apela a la imposibilidad de confirmar las interpretaciones totales. Esta clase de interpretaciones no pueden agregar nuevas consecuencias observacionales a las que permite extraer la interpretación minimal. En consecuencia, no solo son empíricamente equivalentes entre sí, sino también lo son respecto de la interpretación minimal. De hecho, todas las interpretaciones totales tienen en común la interpretación minimal, a la cual añaden una superestructura metafísica. Es razonable admitir, entonces, que

al estado cuántico, que es la entidad física representada por el símbolo matemático. Numerosos libros de divulgación o de texto confunden la función de onda con el estado cuántico, o, directamente, la función de onda con una onda física o con un objeto físico.

los resultados experimentales que confirman la mecánica cuántica estándar (que, como se sabe, son numerosísimos) solamente confirman su interpretación minimal. Por principio, la superestructura metafísica no puede ser confirmada por ninguna experiencia.

Mosterín y Torretti resumen esta situación de manera muy clara:

[La mecánica cuántica tiene] un carácter único, sin precedentes en la historia de la física, a saber, que su estructura matemática se interpreta, por así decir, a dos niveles. Por un lado está la interpretación pedestre implícita en cualquier exposición de la mecánica cuántica como teoría física, comprobable en un laboratorio. Según ella, el llamado estado de un sistema cuántico encierra información probabilista sobre las cantidades observables en él, la cual puede extraerse aplicando al representante del estado el operador autoadjunto representativo de la cantidad que interesa observar. Aunque se la suele llamar peyorativamente “interpretación minimalista” y hasta se ha dicho que es “aburrida” [...], esta es de hecho la única interpretación que ponen a prueba y respaldan los tests experimentales de la teoría. Por otro lado, hay un espectro de interpretaciones suplementarias más o menos sofisticadas, incompatibles entre sí [...]. (Mosterín y Torretti, 2010: 390)

Desde este punto de vista, que comparto plenamente, las interpretaciones totales de la mecánica cuántica aparecen como intentos gratuitos de metafísica impuestos sobre una teoría empírica bien confirmada (junto con su interpretación minimal) que no parece requerirlos.

No cabe duda de que la metafísica especulativa ha tenido en ocasiones un papel heurístico positivo sobre la ciencia en general y sobre la física en particular. El atomismo de los antiguos griegos suele ser uno de los ejemplos más citados. Pero la situación de la mecánica cuántica no se adapta a la moraleja de este ejemplo. Una cosa es emplear ciertos supuestos metafísicos para buscar una teoría cuando todavía no se la posee ni se tienen ideas precisas acerca de sus rasgos más generales, como ocurría en la antigüedad, y otra muy distinta es apelar a la especulación metafísica para interpretar una teoría física bien desarrollada y confirmada como la mecánica cuántica estándar. En este último caso no parece haber justificación para el retorno a la especulación metafísica. Por lo demás, cualquier ontología que se pretenda extraer de la mecánica cuántica, o incorporar a ella, no será más que una ontología pretendida entre otras posibles. Ni el formalismo de la teoría ni su interpretación

minimal determinan una ontología específica. Lo mismo vale para cualquier teoría alternativa a la mecánica cuántica ortodoxa, que siempre será compatible con diferentes ontologías.

7. Conclusión

La mecánica cuántica estándar es una teoría interpretada. Su interpretación minimal es ampliamente compartida y resulta suficiente para todas las aplicaciones de la teoría. Cualquier científico o filósofo de la ciencia de orientación anti-realista, en alguna de sus múltiples variedades, debería considerarse satisfecho con esta interpretación. Para los fines de predecir los resultados de posibles experimentos, no se requiere otra interpretación. Por consiguiente, la confirmación de la teoría cuántica tampoco necesita más interpretación que la minimal.

Los filósofos y científicos de orientación realista, sin embargo, no se sienten satisfechos. La interpretación minimal no proporciona una ontología para esa teoría, al menos, no una ontología coherente y completa que pueda considerarse como una imagen global del mundo físico. Las interpretaciones totales pueden entenderse como intentos de proporcionar dicha ontología, pero al hacerlo apelan una especulación metafísica que no puede ser confirmada por ninguna experiencia. Se trata de una clase de metafísica que la filosofía contemporánea ha dejado atrás hace mucho tiempo.

No parece haber ningún criterio preciso para preferir una interpretación total sobre otra, dado que todas son, en principio al menos, lógicamente consistentes y empíricamente adecuadas. Tampoco parece haber ninguna receta para extraer una ontología en particular a partir de un análisis de la estructura de la teoría. El formalismo del espacio de Hilbert no permite ninguna conclusión al respecto, ya que es tan ontológicamente neutral como el cálculo diferencial o la aritmética de los números naturales. No existe ninguna relación necesaria entre el formalismo del espacio de Hilbert y la mecánica cuántica. Esta teoría se formuló originalmente sin ese formalismo y admite todavía otras formulaciones que no lo emplean. Por otra parte, diferentes teorías cuánticas rivales pueden formularse en el espacio de Hilbert. Éste no es más que un instrumento matemático conveniente para la formulación de la mecánica cuántica, que no debe identificarse con ninguna teoría en particular.²⁰

²⁰ Advértase que muchos de los llamados “teoremas de la mecánica cuántica” son en realidad teoremas puramente matemáticos acerca del espacio de Hilbert que, por consiguiente, resultan válidos independientemente de cualquier hipótesis física. Si en el futuro la teoría cuántica estándar fuera refutada por la

Cualquier ontología que se proponga como base de una interpretación total de una teoría física no puede ser más que una ontología pretendida. Ello vale tanto para la mecánica cuántica estándar como para cualquier teoría cuántica alternativa. Todas ellas necesitarán alguna interpretación minimal para poder ser aplicadas y confirmadas por los resultados experimentales, pero serán siempre compatibles con diferentes ontologías globales. Por consiguiente, el problema interpretativo de encontrar una interpretación total de la mecánica cuántica estándar no puede resolverse mediante un cambio de teoría. A lo sumo, lo que podrá obtenerse es una teoría con una ontología pretendida más familiar, más intuitiva o más satisfactoria desde un punto de vista estético, o bien más acorde con las preferencias metafísicas de cada uno. La Mecánica Bohmiana, por ejemplo, surgió como un intento de restaurar una ontología clásica de partículas materiales, pero esa es solo su ontología pretendida, una entre otras posibles, pero no la única que admite la teoría. El problema interpretativo no tiene solución si lo que se pretende es encontrar la ontología determinada por la teoría cuántica. Ese es un seudoproblema que se basa en el falso supuesto de que hay una única ontología posible para cada teoría.

Referencias bibliográficas

- ALBERT, D. (1992). *Quantum Mechanics and Experience*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ALBERT, D. (1996). "Elementary Quantum Metaphysics". En Cushing, J., Fine, A. & Goldstein, S. (eds.) *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal*. Dordrecht: Kluwer, 1996, pp. 277-284.
- ALBERT, D. (2013). "Wave Function Realism". En Ney & Albert (eds.) (2013), pp. 52-57.
- ALLORI, V. (2013). "Primitive Ontology and the Structure of Fundamental Physical Theories". En Ney & Albert (eds.) (2013), pp. 58-75.
- AULETTA, G., FORTUNATO, M. & PARISI, G. (2009). *Quantum Mechanics*. New York: Cambridge University Press.
- AULETTA, G. & WANG, S. W. (2014). *Quantum Mechanics for Thinkers*. Singapore: Pan Stanford Publishing.

- BACCIAGALUPPI, G. & VALENTINI, A. (2009). *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*. New York: Cambridge University Press.
- BITBOL, M. (1996). *Mécanique quantique. Une introduction philosophique*. Paris: Flammarion.
- BOHM, D. (1951). *Quantum Theory*. New York: Prentice-Hall. (Reimpreso en New York: Dover, 1989).
- BOHM, D. (1952). "A Suggested Interpretation of Quantum Theory in Terms of Hidden Variables". *Physical Review*, 85: 166-193.
- BOHM, D. (1957). *Causality and Chance in Modern Physics*. London: Routledge.
- BOHM, D. & HILEY, B. (1993). *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*. London: Routledge.
- BUB, J. (1999). *Interpreting the Quantum World*. Revised Edition. Cambridge : Cambridge University Press.
- BUB, J. (2007). "Quantum Probabilities as Degrees of Belief". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 38: 232-254.
- CASSINI, A. (2016). "La paradoja de Einstein-de Broglie. ¿Incompletitud o superposición de estados?". *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. [En prensa].
- COHEN-TANNOUDJI, D., DIU, B. & LALOË, F. (1977). *Quantum Mechanics*. New York: Wiley.
- CUSHING, P. (1998). *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DICKSON, W. M. (1998). *Quantum Chance and Non-Locality: Probability and Non-Locality in the Interpretations of Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DIRAC, P. (1967). *The Principles of Quantum Mechanics*. Fourth Edition. Oxford: Clarendon Press. [1a ed. 1930].
- DÜRR, D., GOLDSTEIN, S. & ZANGHI, N. (2013). *Quantum Physics without Quantum Philosophy*. Berlin: Springer.
- DÜRR, D. & TEUFEL, S. (2009). *Bohmian Mechanics: The Physics and Mathematics of Quantum Theory*. Berlin: Springer.

- FRIEDRICHS, S. (2015). *Interpreting Quantum Theory: A Therapeutic Approach*. New York: Palgrave Macmillan.
- FUCHS, C. & PERES, A. (2000). "Quantum Theory Needs No 'Interpretation'". *Physics Today*, 53: 70-71.
- GHIRARDI, G. (2005). *Sneaking a Look at God's Cards: Unraveling the Mysteries of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- GHIRARDI, G. RIMINI, A. & WEBER, T. (1986). "Unified Dynamics for Microscopic and Macroscopic Systems". *Physical Review*, D34: 470-491.
- GIERE, R. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- GUESBET, G. (2013). *Hidden Worlds of Quantum Physics*. New York: Dover.
- HEISENBERG, W. (1958). *Physik und Philosophie*. München: Piper.
- HOLLAND, P. (1993). *The Quantum Theory of Motion*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HOWARD, D. (2004). "Who Invented the 'Copenhaguen Interpretation'? A Study in Mythology" *Philosophy of Science*, 71: 669-682.
- ISHAM, C. (1995). *Lectures on Quantum Theory: Mathematical and Structural Foundations*. London: Imperial College Press.
- JAEGER, G. (2009). *Entanglement, Information, and the Interpretation of Quantum Mechanics*. Berlin: Springer.
- JAEGER, G. (2014). *Quantum Objects: Non-Local Correlation, Causality, and Objective Indefiniteness in the Quantum World*. Berlin: Springer.
- JAMMER, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: John Wiley.
- LALOË, F. (2012). *Do We Really Understand Quantum Mechanics?* New York: Cambridge University Press.
- MAUDLIN, T. (2013). "The Nature of the Quantum State". En Ney & Albert (eds.) (2013), pp. 126-153.
- MERMIN, D. (2004). "What's Wrong with this Quantum World". *Physics Today*, 57: 10-11.
- MOSTERIN, J. & TORRETTI, R. (2010). *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia*. Segunda edición. Madrid: Alianza.

- Ney, A. & Albert, D. (eds.) (2013). *The Wave Function: Essays on the Metaphysics of Quantum Mechanics*. New York: Oxford University Press.
- OMNÈS, R. (1994). *The Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- OMNÈS, R. (1999). *Understanding Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- PERES, A. (2002). *Quantum Theory: Concepts and Methods*. New York: Kluwer.
- PETERSEN, A. (1963). "The Philosophy of Niels Bohr". *Bulletin of the Atomic Scientists*, 19: 8- 14.
- PETERSEN, A. (1968). *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- QUINE, W. V. O. (1968). "Ontological Relativity". *The Journal of Philosophy*, 65: 185-212.
- QUINE, W. V. O. (1992). *Pursuit of Truth*. Revised Edition. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- RIGGS, P. (2009). *Quantum Causality: Conceptual Issues in the Causal Theory of Quantum Mechanics*. Dordrecht: Springer.
- RUETSCHÉ, L. (2011). *Interpreting Quantum Theories*. New York: Oxford University Press.
- SCHLOSSHAUER, M. (2007). *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*. Berlin: Springer.
- SELLERI, F. (1994). *Le grand débat de la théorie quantique*. Paris: Flammarion.
- TORRETTI, R. (1999). *The Philosophy of Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- VAN FRAASSEN, B. (1991). *Quantum Mechanics: An Empiricist Approach*. Oxford: Clarendon Press.
- VON NEUMANN, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Springer.
- WEINBERG, S. (2013). *Lectures on Quantum Mechanics*. New York: Cambridge University Press.

Images and Logic of the Light Cone: Tracking Robb's Postulational Turn in Physical Geometry*

Jordi Cat**

Abstract

Previous discussions of Robb's work on space and time have offered a philosophical focus on causal interpretations of relativity theory or a historical focus on his use of non-Euclidean geometry, or else ignored altogether in discussions of relativity at Cambridge. In this paper I focus on how Robb's work made contact with those same foundational developments in mathematics and with their applications. This contact with applications of new mathematical logic at Göttingen and Cambridge explains the transition from his electron research to his treatment of relativity in 1911 and finally to the axiomatic presentation in 1914 in terms of postulates. At the heart of Robb's physical optics was the model of the light cone. The model underwent a transition from a working mechanical model in the Maxwellian Cambridge sense of a pedagogical and research tool to the semantic model, in the logical, model-theoretic sense. Robb tracked this transition from the 19th- to the 20th-century conception with the earliest use of the term 'model' in the new sense. I place his cone models in a genealogy of similar models and use their evolution to track how Robb's physical researches were informed by his interest in geometry, logic and the foundations of mathematics.

Keywords: Robb, axiomatics, postulates, postulationism, light cone, relativity theory, geometry, foundations of mathematics, space-time, model, logical model, Russell, Hilbert, Veblen, Huntington, Peano, Minkowski, Cambridge, Göttingen.

* Recibido: octubre 2016.

** Department of History and Philosophy of Science, Indiana University Bloomington.
Bloomington, Indiana, United States. Email: jcat@indiana.edu

Las imágenes y la lógica del cono de luz: rastreando el giro postulacional de Robb en la física geométrica

Resumen

Las discusiones anteriores de la obra de Robb acerca del espacio y el tiempo han ofrecido un enfoque filosófico de las interpretaciones de la teoría de la relatividad o un enfoque histórico de su empleo de la geometría no-euclidiana, o han ignorado enteramente las discusiones de la relatividad en Cambridge. En este artículo centro mi atención en la forma cómo la obra de Robb tomó contacto con esos mismos desarrollos fundacionales en la matemática y con sus aplicaciones. El contacto con las aplicaciones de la nueva lógica matemática en Göttingen y en Cambridge explica la transición de las investigaciones de Robb sobre los electrones a su tratamiento de la relatividad en 1911 y finalmente a su presentación axiomática de 1914. En el corazón de la óptica física de Robb estaba el modelo del cono de luz. Este modelo pasó de ser un modelo mecánico operante en el sentido cantabrigense maxwelliano de herramienta didáctica y heurística a ser un modelo semántico en el sentido lógico de la teoría de modelos. Robb marcó esta transición de la concepción del siglo XIX a la del siglo XX con el uso más temprano del término “modelo” en el nuevo sentido. Sitúo sus modelos de conos en una genealogía de modelos similares y uso su evolución para seguir la pista de cómo las investigaciones físicas de Robb dependían de su interés en la geometría, la lógica y los fundamentos de las matemáticas.

Palabras clave: Robb, axiomática, postulados, postulacionismo, cono de luz, teoría de la relatividad, geometría, fundamentos de las matemáticas, espacio-tiempo, modelo, modelo lógico, Russell, Hilbert, Veblen, Huntington, Peano, Minkowski, Cambridge, Göttingen.

Introduction

During the pre-war period, physicists at Cambridge were working at the forefront of electron and radiation research. While it engaged results in the Continent, especially in the Netherlands and Germany, it was rooted in local tradition of theoretical and experimental research in electromagnetism. Two Cambridge researchers, Norman Campbell and Alfred Arthur Robb, merit special attention for their additional interest in relativity theory and logical dimensions of scientific thinking. Europe-wide concerns about the relation

between matter and energy or the optics of moving bodies made relativity theory relevant to the study of radioactivity just as they had motivated Einstein in the first place. More intriguing is their logical point of view and its application to physics. Elsewhere I address how new developments in the foundations of mathematics, especially the logical study of axiomatics, guided the American appropriation of relativity theory and this, in turn, influenced German formulations (Cat, 2016). In this paper I focus on how Robb's work made contact with those same foundational developments in mathematics and with their applications. This contact with applications of new mathematical logic at Göttingen and Cambridge explains the transition from his electron research to his treatment of relativity in 1911 and finally to the axiomatic presentation in 1914 in terms of postulates. Previous discussions of Robb's work on space and time have offered a philosophical focus on causal interpretations of relativity theory or a historical focus on his use of non-Euclidean geometry, either in the context of a new tradition of German geometrical physics in Minkowski's footsteps or in the context of a Cambridge tradition of research in geometry –or else ignored altogether in discussions of relativity at Cambridge.¹ Instead, I emphasize the synthesis of logical and physical aspects of his interest in axiomatics by drawing attention to two intersecting contexts of his pre-war application of axiomatics in physical geometry: his evolving engagement of mathematical logic and the continuity with his early electron research.

Geometry and optics paved Robb's path to relativity. In this path, Robb's particular conception of geometry was key, it combined the two dimensions of a physical and formal theory; the first providing physical grounds and interpretation and the second, structure. The duality was rooted in his dual interests and education in geometry and in Cavendish physics. In particular, it relied on the dual character of optical theory as a geometrical theory and a physical theory situated at the core of Cavendish research on electromagnetic radiation. At the heart of Robb's physical optics was the model of the light cone. The model underwent a transition from a working mechanical model in the Maxwellian Cambridge sense of a pedagogical and research tool to the semantic model, in the logical, model-theoretic sense. Robb tracked this

¹ For a brief discussion of the causal philosophical analysis see Torretti 1983/1996, 123; for the historical focus on non-Euclidean geometry see Walter (1999: 17-8), and Barrow-Green and Gray (2006: 337-9); Barrow-Green and Gray situate Robb at the intersection of geometry and relativity research at Cambridge alongside E. C. Cunningham and A. Eddington, noting the axiomatic approach, as does Darrigol in Darrigol (2014: 139-42); Warwick leaves Robb out of his analysis in Warwick (2003) of the appropriation of relativity theory by Cambridge physicists.

transition from the 19th- to the 20th-century conception with the earliest use of the term ‘model’ in the new sense. The evolving meaning of cone models illustrates and tracks Robb’s academic itinerary, from Cambridge to Göttingen and back. It tracks also the parallel evolution of geometric theory through the late 19th-century history of European mathematics, from the standard of material axiomatics to the new logical approach to modern axiomatics introduced by Hilbert and the Italian school, developed differently by American mathematicians and by Russell at Cambridge. Finally, the evolution of cone models tracks how Robb’s physical researches were informed by his interest in geometry, logic and the foundations of mathematics.

1. Relativity at Cambridge before the war, from an electromagnetic point of view

To appreciate the specificity of Robb’s logical turn and its application to his interest in geometry they should be set against the features of the local physics tradition. Those shared features led others to a predominant approach engaging relativity theory that I will describe briefly; yet Robb’s approach was markedly different. In fact, in a comprehensive study of this engagement at Cambridge the emphasis on the role of the local tradition includes the added role of an explicit rejection of Einstein’s and other German physicists’ “axiomatic” presentations, that is, based on principles introduced without further justification (Warwick, 2003).² But this was precisely also Robb’s approach to investigating space and time, which he pursued more explicitly and rigorously. His axiomatic approach was more in line with the new approaches in geometry and other branches of mathematics in Germany, America and Cambridge.

The culture of mathematical physics at Cambridge before the First World War had been handed down through teaching and research since Maxwell’s tenure through the 1870s, and developed further especially by researchers trained mainly at the Cavendish laboratory. Maxwell had introduced a project of mathematical physics based on the application of differential equations to represent the energy states of the electromagnetic ether. The propagation of waves in the elastic ether provided the basis for Maxwell’s synthesis of electromagnetism and optics. In its wake, British electromagnetic research was based on mechanical models of the ether (Hunt, 1991).

² Despite its emphasis on the diversity of approaches at Cambridge, Warwick’s account identifies some diversity only within the application of the local standards leading to the predominant approach and leaves out Robb’s.

In the 1890s Joseph Larmor and J.J. Thomson added the existence of microscopic electrons to the fundamental understanding of matter and electromagnetic radiation. Taking a step further, they declared mechanical properties of matter of to be derivative from the more fundamental electromagnetic properties of electrons and the ether. Larmor insisted on the even more fundamental role of the principles of energy and least action governing the ether. The electrons that constituted matter were also properties of the ether, movable singularities. The new theory offered a unification of matter theory, optics and electromagnetism (Larmor, 1900).

In several experiments in the 1880s Albert Michelson and Edward Morley attempted to detect the influence on electromagnetic effects, including the propagation of light, of motion through the ether. Larmor's electron theory could also derive the hypothesis of the contraction of electronic matter moving through the ether, which George FitzGerald in 1889 and independently H.A. Lorentz in 1892 had introduced to explain Michelson and Morley's null result. The space-time transformations that implied the contraction of matter also left invariant Maxwell's equations of electromagnetism. For Larmor the experimental results gave support to his fundamental physical theory and the invariance placed Maxwell's theory and the speed of light at its center.

Pre-war reactions to Einstein's theory at Cambridge included correspondence from G. F. C. Searle and work by Ebenezer Cunningham, Harry Bateman, G.A. Schott, H.R. Hassé, S.B. McLaren and J.W. Nicholson. In the late 1908, the German electron physicist Alfred Bucherer got Einstein to mail Searle a copy of a review article on the theory of relativity.³ Searle wrote back acknowledging apologetically the lack of understanding around him of the principle of relativity. By then Cunningham was engaged in electron research and followed Larmor in justifying the Lorentz transformations on the grounds that they preserved Maxwell's equations and that the implied contraction of moving matter was predicted by the theory of the ether.

For Cunningham and many others, Einstein's theory, known as the Lorentz-Einstein theory, was an electron theory with a new presentation. The principle of relativity, the invariance of the laws of physics under the transformations for uniform motions, was not fundamental; nor was the accompanying principle of the constancy of the speed of light, which for him followed from the first. Einstein's contribution was a mathematical treatment that emphasized the geometrical symmetries of space-time in the axiomatic

³ Warwick discusses the episode in Warwick (2003: ch. 8). I borrow a selectively from the same chapter for the brief sketch of the Cambridge reaction.

spirit but that were nevertheless derivative from the electromagnetic nature of the ether (a view also shared by Schott, Hassé and McLaren). With Bateman, Cunningham next sought a “new theorem of relativity” that generalized the “geometrical” transformations preserving Maxwell’s equations to the case of non-uniform motions. Nicholson then argued that Larmor’s electromagnetic theory already showed that the principle of relativity did not extend to rotating systems.

2. Relativity at Cambridge from a logical point of view (1): Russell and Campbell

Britain’s leading philosopher of logic and mathematics was Bertrand Russell, Fellow of Trinity College. Russell pursued more radically than Frege did in Germany, the project of logicism stated in the opening of *The Principles of Mathematics* (Russell, 1903: v): ‘the proof that all pure mathematics deals exclusively with concepts definable in terms of a very small number of logical concepts, and that all its propositions are deducible from a very small number of fundamental logical principles.’ In the same Preface he acknowledged that it was a number of conceptual problems about dynamics that had led him to questions in geometry and arithmetic. But the assumption underlying the connection was that dynamics and geometry were first rational parts of pure mathematics, and ultimately of logic, and only subsequently they were empirically applicable (Russell, 1903: vii).

Norman Campbell (1880-1949) entered Trinity College, Cambridge, where he received his undergraduate education with a University BA in 1902, Honors in the Mathematical Tripos and a College Fellowship in 1904. He conducted his experimental researches at the Cavendish Laboratory during the period 1902-1910. During the following four years he was the Cavendish Research Fellow in physics in the department at the University of Leeds, until the war broke out and he joined the National Physical Laboratory.

In contrast with his experimental researches on radioactivity, in 1910 he published his first article on the theoretical status of the concepts of absolute and relative motion. Its title, ‘The Principles of Dynamics,’ and focus echoed those of Russell’s *The Principles of Mathematics*. The book had been published a year before Campbell became a fellow of Trinity College, his own undergraduate College, where Russell was already a fellow. In fact, Campbell decided then to start writing on philosophical issues related to science, an effort that led to a book manuscript titled after Euclid’s book on axiomatic geometry, *Physics. The Elements*, published immediately after the

war (Campbell, 1919). Campbell began the article by referring precisely to Russell's book and the defense it contained of the concept of absolute motion (Campbell, 1910a: 169).

Next he distinguished between theoretical and empirical dynamics and their respective problems with a focus on the usefulness of mathematics and the fundamental propositions he also called 'postulates of dynamics.' (Campbell, 1910a: 172). The postulational language loosely borrowed from Russell would become explicit and consistent in his discussion of relativity after reading Lewis and Tolman on relativity theory.⁴ The logical axiomatic tone is explicit not only in the postulational language. The problem of theoretical dynamics, which Campbell expressed in three questions, is this: 'In what manner are the fundamental propositions from which the conclusions of theoretical dynamics are deduced to be stated; what are the conceptions employed in those propositions, and what are the relations stated between them?' (Campbell, 1910a: 169). The empirical problem is derivative and consists, instead, in the application of those propositions to experiment and the measurement of the magnitudes associate with their concepts. Pointing to Russell again, Campbell kept up the logical tone of the discussion with a logical principle for the identification of concepts. Two concepts are identical only 'if their definitions can be shown to be logically equivalent' (Campbell, 1910a: 170).

As Campbell had done in the previous discussions, in 'The Common Sense of Relativity' he focused on physical theory, which he defined as 'a set of fundamental propositions from which experimental laws may be *logically* deduced.' (Campbell, 1911a: 502; my emphasis). Despite emphasizing the experimental content, his analysis relied on a Russellian approach, adopting conceptual and logical standpoints to track logical deductions and eliminate 'fallacious' and 'apparently paradoxical' conclusions, 'confusions of thought' and 'misapprehensions.' (Campbell, 1911a: 502).⁵ The source of the confusions, according to Campbell in his strategy already deployed in the article of dynamics, laid in the meaning of the terms 'velocity' and 'reality', in other words, in the logical inequivalence between the relativistic concepts and the ones adopted by the classical, Newtonian physicist.

This logical perspective is symbolized terminologically through the association with Einstein's principle of relativity –the standard denomination– of the axiomatic terminology of 'theory' and 'postulates.' That, in his own words,

⁴ Lewis and Tolman (1909) and, on the postulational American development of relativity, Cat (2016).

⁵ In the 1919 book he noted that the propositions derived from the principle of relativity had been initially considered 'self-inconsistent and contradictory' (Campbell, 1919: 4 n.1).

the ‘Principle is what is more often termed a “theory”’ might have been further suggested by the title of Sommerfeld’s recent two-part article, ‘Zur Relativitätstheorie.’ (Sommerfeld, 1910a; 1910b). Campbell cited the second part in relation to the claim that Newtonian mechanics, as a fundamental theory, is inconsistent with the fundamental Principle of Relativity and must be abandoned as a result (Sommerfeld, 1910b: 684-89). The now-familiar term was introduced only in the title, whereas in the text Sommerfeld used throughout *Relativtheorie*. The postulational characterization of Einstein’s two basic principles was suggested by Lewis and Tolman’s paper and Tolman sequel, in a way consistent with Russell’s axiomatic vocabulary.

Like Lewis and Tolman, Campbell expressed a logical preoccupation, namely, with the logical relation between the two postulates and their experimental implications (Lewis and Tolman, 1909; especially Tolman, 1910). Like them, especially Tolman, Campbell claimed that Einstein seemed to imply that the second postulate can be derived from the first alone, but, he argued, ‘the Second Postulate cannot really be deduced from the First.’ (Campbell, 1911a: 507). Also like Lewis and Tolman, Campbell saw in the theory of relativity an alternative to the Newtonian theory of mechanics; they raise a logical conflict: ‘If they are not logically equivalent they must be contradictory; in either case an “explanation” of one in terms of the other is impossible.’ (Campbell, 1911a: 516).

For Campbell, what was at stake was the logical clarity and consistency of theoretical dynamics and its distinction from empirical dynamics. For Lewis it was the formulation of a system of non-Newtonian mechanics based on general but exact principles of invariance or conservation. In their path to relativity, Lewis, Tolman and Campbell paid attention to empirical research and results in the nature of physical theory and in personal methodological practice, but their analyses featured the empirical only from a logical point of view they found embodied, prior to Einstein’s theory, in ideals and standards of physical theory –dynamics for Campbell and thermodynamics for Lewis and Tolman–, of mathematics –geometry– and foundations of mathematics –Russell’s and Hilbert’s programs of axiomatics.

3. Relativity at Cambridge from a logical point of view (2): Enter Robb

Alfred Arthur Robb (1873-1936) began his studies at the Royal Belfast Academy and Queen's College, Belfast, graduating in 1894. Evidence of his early interest in Euclidean geometry is a problem-solution set he contributed in 1891 to the mathematics section of the *Educational Times Report*.⁶ The contribution consisted in a method for dividing a circle into seven equal parts (the inscription of a heptagon in a circle by means of so-called Peaucellier cells), mentioned the following in a paper on geometrical approximations presented A.J. Pressland to the Edinburgh Mathematical Society (Pressland, 1892: 27).⁷

After graduating from Queen's College he was admitted at Cambridge and St. John's College the same year, graduating with a BA in 1897 receiving honors in the Mathematical Tripos.⁸ Joseph Larmor had been his most admired teacher and probably recommended Robb for the opportunity to spend two years at the Cavendish as an advanced student, receiving an MA in 1901. This period was the heyday of electron research at the laboratory under Thomson's direction, with significant attention focused on the new kinds of radiation.

According to the Thomson's history of the Cavendish, Robb was affiliated with the laboratory during the 1906-1907 year (Thomson, 1910: 332). But his two publications during the pre-relativistic period 1905-1911 precede his official affiliation (Robb, 1905a and b). They suggest an earlier return to Cambridge, in 1905, reconnecting with local tradition of electron and ether theories, in particular, J.J. Thomson's researches in ionic physics. As in his dissertation, his approach now was neither experimental nor inductive; he focused on the formal conditions of solubility of a second-order differential equation and their physical interpretation. The equation, for the distribution of electric intensities as a function of the current flow and the velocities of positive and negative ions, had been introduced in 1899 by Thomson in his treatment of the conduction of electricity through gases between parallel plates. It lacks a general analytic solution, but he solved it for the case of equal velocities of negative and positive ions. Robb proposed a transformation that renders the equation a characteristic for any gas independent of the current and for

⁶ *Educational Times Report* vol. LV, 61, question 10865.

⁷ Robb contributed another problem in 1908, the differential equation $d^2y/dx^2 = Ay^m x^n$, see *Educational Times Report* March 2, 1908, 145, problem 16255.

⁸ Part I in 1897 and Part II in 1898.

unequal velocities of the ions he identified additional solubility conditions, which he interpreted as two values of the ionic pressures –or velocity ratios (Robb, 1905a and b).

A literary composition of the same year offered a portrait of Cavendish electron research in relation to ether theory and electromagnetic radiation, also closer to his own dissertation work. It consisted of the lyrics for a song, in the manner of Maxwell's similar compositions, to be sung at the annual dinner of the laboratory's research students on December 6, and published in *Nature* (Robb, 1906). The song's title was 'The Revolution of the Corpuscle.' It began as follows:

Air: "The Interfering Parrott." (Geisha.)

A corpuscle once did oscillate so quickly to and fro,

He always raised disturbances wherever he did go.

He struggled hard for freedom against a powerful
foe –

An atom –who would not let him go.

The aether trembled at his agitations

In a manner so familiar that I only need to say,

In accordance with Clerk Maxwell's six equations

It tickled people's optics far away. (Robb, 1906)

It was also a period of electro-optical research in ether physics, conducted especially by Rayleigh, devising new ways to determine experimentally the velocity of light relative to the ether in the wake of Michelson's negative results. Robb attended Rayleigh's discussion of the results and its significance in ether theory at the meeting of the BAAA in 1902 (Robb, 1921: i). In 1903 Rayleigh announced another negative result based on polarization effects, extending the scope of the classical principle of relativity.

Robb succeeded in getting admitted to Göttingen in the winter semester of 1901 to pursue a doctorate under Woldemar Voigt, eventually writing a dissertation on the Zeeman effect (Robb, 1904). The effect was the splitting observed by Pieter Zeeman in spectroscopic absorption lines of atomic radiation in the presence of an external magnetic field. Its research linked together fields as diverse as chemistry, astronomy, mechanics, electron theory and radiation research. Voigt had three students specializing in different ways in

physical optics, Robb, the Scottish R.A. Houston and Walther Ritz. Optics of moving bodies was a central problem for the group, a problem introduced by Voigt's own research.

4. Electron theory and the mechanical cone

In the wake of Michelson and Morley's null-result, in 1887 Voigt studied the transformations that electromagnetic waves in the elastic ether should satisfy to preserve their equations for observers in inertial motion. He derived a set of transformations (anticipating properties of Lorentz's) that preserved the velocity of light and included time dilation in moving clocks. The final application of this result was the propagation of wave surfaces in the shape of a light cone (Voigt 1887: 48-50).

In 1845 Faraday had detected a rotational effect magnetic fields had on the plane of polarization of light as it propagates through a crystal, but when in 1862 he tried to a magnetic field had on spectral lines he failed to find any effect. Subsequently, in 1877, Kerr had detected an effect on light reflected by magnetized iron (Lorentz, 1916: 98; Kox, 1997). Across the Channel, in Leiden, Lorentz's colleague Pieter Zeeman replicated Faraday's experiment in 1896, to detect a broadening of emission lines in sodium light. The same weekend of Zeeman's announcement Lorentz extended his ideas about electron theory to Zeeman's effect explaining it as a splitting of lines due to the oscillatory motion of bound electrons (atomic "ions") in the external magnetic field.

According to Lorentz, the oscillating charges moved according the harmonic law for atomic elastic (harmonic) forces and to his force law for external magnetic fields from 1892 that supplemented Maxwell's theory of electromagnetism. Three separate components of the oscillations –the three degrees of freedom corresponding to modes along different directions– could be detected in a direction perpendicular to the orientation of the field (this is the direction of the force exerted by a magnetic field on a moving charge). As a result, where one line could be observed corresponding to one frequency, now a triplet appeared.⁹

⁹ As Lorentz put it, 'only a spectral line which consists of three coinciding lines can be changed into a triplet, the magnetic field producing no new lines, but only altering the positions of already existing ones.' (Lorentz, 1916: 112). The coincidence condition is expressed by the equivalence of three degrees of freedom, with equal corresponding frequencies. The explanation can be extended to quartets, quintets and other line multiplets. The physical origin of the triplets is encapsulated by this mathematical constraint.

Then, at the turn of the century, new observations were reported. Zeeman published observations of further splitting of spectral lines into additional line multiplets, contradicting Michelson's recent interferometer observations. Voigt quickly formulated his own electron theory of the Zeeman effect. According to Voigt, the sets of lines linked to oscillating radiation were due to the vibrating motion of electrons bound by harmonic forces (Voigt, 1899).¹⁰

Robb followed Lorentz and Voigt in applying classical dynamics to explain Zeeman's sets of spectral lines in terms of the vibrating motion electrons. To explain additional multiplets such as quintets, he postulated a structure of the radiating particle containing a coupled pair of electrons in oscillating in response to an elastic central force. The positions and motions of both electrons are coordinated, respectively, by coupling constraints of a quadratic form (Robb, 1904).¹¹

5. The axiomatic turn: physics and geometry

Robb's dissertation already introduced postulational elements of the axiomatic approach that would characterize his geometrical formulation of relativistic motion. The role of the coupling conditions in Robb's theory of the Zeeman effect is an instance of the role in theory-construction of basic propositions rather than inductive experimental generalizations. Indeed, in his introductory methodological remarks he endorsed the role of what he called fundamental assumptions (*Grundvoraussetzungen*) or postulates (*Postulate*):

Bei dem Versuche, eine Theorie von irgend einem physikalischen Phänomen aufzustellen, muß man an gewisse Grundvoraussetzungen anknüpfen.

Zuweilen geschieht es bei dem Fortschritt der Wissenschaft, daß ältere Postulate sich zurückführen lassen auf andere, die einfacher zu sein scheinen; aber in jedem Falle ist dieses nur bis zu einem endlichen Grade möglich, und es kann sein, daß die Postulate, die schließlich erreicht werden, physikalische Grundwahrheiten sind, über die wir nicht hinausgehen können und die wir nur zu konstatieren vermögen. (Robb, 1904: 11)

¹⁰ Voigt applied classical dynamics to the degrees of freedom parallel to the external field but coupled to the degrees of freedom corresponding to the radiating oscillations perpendicular to it. In the case of weak fields, with the theory Voigt predicted asymmetries in separation and intensity of the lines around a central component, already suggested by Zeeman, and immediately reported, for the intensity differences, by Zeeman himself, H.M. Reese and others.

¹¹ In the chapter on the Zeeman effect in Lorentz's book on electron theory and its application to phenomena of electromagnetic radiation, Lorentz criticized the artificiality of Robb's coordination conditions (Lorentz, 1909).

The dominant standard of geometric theory might have become further validated by the experience of Göttingen culture; at the same time, the broader debates about axiomatics and the simplifying and revisable status of fundamental axioms such as the postulate of parallels might have suggested a less consistent terminological commitment to talk of axioms and the sort of qualification expressed by (inconsistent) talk of postulates.

Göttingen was the academic home to scientists whose researches set the course of mathematics and physics on a new path: Hilbert, the foremost proponent of the new axiomatic foundations of geometry (after his predecessor Riemann) and physics (Corry, 2004), Minkowski, the mathematical physicist of recent arrival from Zurich (in 1902) who would become interested in Lorentz's electron theory and would develop the four-dimensional geometrical reformulation that would eliminate some of the physical perplexities,¹² and Abraham, the foremost proponent of the new electron theory and the electromagnetic worldview (also Wiechert, Kaufmann, Schwarzschild, Drude and Sommerfeld worked on electron theory or its testing).¹³

Hilbert was entertaining the application of the axiomatization of mature theories to classical physics. Robb, electron theorist and geometrician, would have noticed. Most faculty mentioned above were members of Klein's mathematical physics seminar devoted to interdisciplinarity and the unification of physics. In an autobiographical sketch appended to his dissertation, Robb listed the names of professors whose lectures he had attended: Abraham, Hilbert, Klein, Manhot, Minkowski, Nernst, Riecke, Voigt and Wallach (Robb, 1904: 'Lebenslauf').

Klein placed mathematical physics between pure mathematical research and technical industrial application, fostering both. Mathematics played however a central unifying role. Nernst headed a newly created institute for physical chemistry; Nernst shared with Ostwald, at Leipzig, a systematic approach to energy physics (thermodynamics) from first principles, especially as the foundation of chemistry (the new discipline of physical chemistry). Also mechanics and electron theory were perceived and pursued as projects within the umbrella program of unification (this is the focus of theoretical physics at the core of Wien's unified electromagnetic worldview, based on physical hypotheses rather than mathematical structures). In his lectures on mechanics, Minkowski joined Hilbert in defending the axiomatic structure of

¹² See Minkowski (1909/1911), Miller (1981), Walter (1999) and Darrigol (2000).

¹³ See Pyenson (1976) and (1979) and Miller (1981).

mathematical and mechanical theories, with an emphasis, like Riemann's and Helmholtz's, on the origin of the axioms in physical facts and experiences (Pyenson, 1979: 66).

One of the interdisciplinary seminars in mathematical physics focused on electron theory, through the works on electricity and optics by Hertz and especially Poincaré, on electrodynamics by Larmor, Hertz, Lorentz and Poincaré and works by local faculty research on electron theory and the optics of moving bodies. The leaders of the 1905 electron theory seminar, Hilbert, Minkowski, Wiechert and Helgoltz stand out among their Göttingen colleagues as the sole ones who became interested in relativity theory.

Younger faculty such as Born and Sommerfeld and students such as Robb, Ritz, Laub, Schlick and von Laue would also address relativity theory. Ritz developed an emission theory of light particles as an alternative to Einstein's second principle and the velocity-dependence of mass, Laub would collaborate with Einstein on the concept of force with a critique of Minkowski's dynamical assumptions and on the relativistic explanation of H.A. Wilson's effect, the polarization of a dielectric rotating in a magnetic field. Laub subsequently publish his attempt at a relativistic dispersion theory and a widely-cited comprehensive discussion of experimental foundations of the theory and von Laue penned the first book-length treatment of the theory (Laub, 1910; von Laue, 1911).

As Robb subsequently noted, his interest in relativity was rooted in Cambridge researches by Larmor and Rayleigh on the problem of the detection of effects of uniform motion in the ether (Robb, 1921: Preface). He became reacquainted with the issues from the Cambridge perspective at from statements by Rayleigh and Larmor at the 1902 meeting of the British Association for the Advancement of Science in his hometown of Belfast, while he was already at Göttingen engaged in physical optics and electron theory in the Zeeman effect (at the meeting Robb presented a paper on the theory of determinants). Researches at Cambridge and Göttingen are the roots of Robb's combined interests in relativity theory and the physical basis of the relevant geometric concepts such as equality of length, which he revisited after becoming acquainted with Einstein and Minkowski's geometrical and kinematic principles.

During the decade that followed Robb's Göttingen work, I will argue, his interests in geometry and the relation between mechanics and optics—in his dissertation, between the motion of electrons and their radiation—underwent a dual transformation that may be characterized as (1) a synthesis and, more

specifically, (2) an axiomatic and logical turn. This turn was more explicit and systematic than I have identified, above, in Campbell's work. In particular, what became understood as his version of relativity theory was the result of (1) addressing a few problems similar to Einstein's and (2) the project of solving them by providing an axiomatic, geometric foundation of physics by means of an axiomatic, physical foundation of geometry.

To understand this systematic development, one should look to (1) the publication Einstein's special theory of relativity and Minkowski's formulation in terms of a four-dimensional geometry of space-time considered, with Robb, as contributions to physical geometry,¹⁴ and, I suggest, also to (2) Robb's education in the new developments in geometry and his selective engagement and eclectic mix –a further synthesis– of different strands among the new trends: Helmholtz, Poincaré, Hilbert, the Italian school, Russell and the so-called American postulationists.

Robb's commitment to axiomatization was informed by an interest in logical properties –the logical structure of theory–, but not in logicism –the logical foundation of theory. Each was related to a different tradition of mathematical logic, one of mathematics in logic (ex., Boole, Schröder, Peano) and the other, more recent, of logic in mathematics (ex., Bolzano, Frege, Russell).¹⁵

In the axiomatic foundations of mathematics, two different epistemological perspectives corresponded with different locations for the epistemic grounds for those theories. From the perspective I call externalist, the grounds were external to the system, and the abstract character of the basic propositions and their concepts did not show any relation to those origins or motivations or even justifications; this approach was shared by Riemann, Pasch, Hilbert, the Italian School and Poincaré. From the other, internalist, perspective, new foundations were expressed by new axioms; this was shared by Helmholtz, Russell, Frege and Robb.

Rather than taking place in the context of the Cavendish research, the particular evolution of Robb's work might have been facilitated by the membership in the more mathematical orientation of the Cambridge Philosophical Society and the London Mathematical Society (to which he was elected in 1905 and 1910, respectively).

¹⁴ The more obvious physical precursor works in relativity and in geometry available to Robb, including Russell and Whitehead at Cambridge, have been briefly noted in Sánchez Ron (1987), Walter (1999) and Barrow-Green and Gray (2006).

¹⁵ Mancosu notes the prevalence of this distinction at Göttingen in Mancosu (2003).

Outside the Cavendish, Cambridge offered Robb access to Russell and his work on the logical foundations of mathematics, including geometry. In the wake of Einstein's publications, which like so many colleagues, Robb would have related to his work in electron theory, he also followed theoretical developments in Göttingen, especially by Minkowski. The principled formulation of Einstein's theory in 1905 and Minkowski's four-dimensional space-time geometric rendition of 1908 fitted with the logical and axiomatic elements in the foundations of geometry (and mathematics). Robb didn't separate neatly the two projects; one served the other.

Minkowski introduced his non-Euclidean geometric account of the kinematics of relativity theory within the tradition of evolving axiomatic formulations of geometry and mechanics. He worked in the footsteps of his friend Hilbert, who had laid out a project of axiomatization of physics in lectures during 1905 and at a seminar on electron theory jointly convened by the two of them with the participation of other faculty and a seminar on electrodynamics led by both (Corry, 1997). For Hilbert and Minkowski the application of the axiomatic method served the epistemic function of identifying and evaluating physical and mathematical assumptions, including definitions implied in empirical claims and mathematically proven results (Corry, 1997: 280). Considering, as most scientists did, that Einstein's paper of 1905 was a contribution to electrodynamics and electron theory, Minkowski asked Einstein for a copy for discussion at the 1905 seminar. He considered it from the point of view of Hilbert's program and his own mathematical interests, in this case geometry. The result helped articulate the radical implications of Einstein's proposal and to arouse wider interest among theoretical physicists and mathematicians.

In his now classic talk from 1908 'Raum und Zeit' Minkowski formulated its central idea in the form of a fundamental postulate, namely, of the positive value of the space-time interval, which he interpreted kinematically as the limiting value of the speed of light. Geometrically, it introduced an absolute perspective in physical geometry that recognized independent reality only in four-dimensional space-time (Minkowski, 1909/1911). Physical geometry is a temporal geometry. Minkowski went beyond the mere juxtaposition of separate axioms of geometry and mechanics that Hilbert had endorsed in 1905 in a lecture on the axiomatization of laws of motion (Corry, 1997: 293). For Hilbert the analysis of motion required only adding axioms about two basic properties of time, its uniform passage and unidimensionality. In his new, integrated framework, Minkowski represented the two-dimensional invariant relation between x and t , that is, $ct^2 - x^2 = 1$, with a hyperbolic curve. The curved

also expressed the transformations of subluminal uniform velocities bounded by the absolute value of c –the Lorentz group of transformations Minkowski now interpreted as a group of rotations in four-dimensional space-time. The curve is contained within the geometric form of a cone of light signals with an absolute velocity. The null interval provides the equation for the geometric figure of the cone. The negative values of the time variable defined the fore-cone (*Vorkegel*) –that is, the past cone– and the positive value the aft-cone (*Nachkegel*) –that is, the future cone (Minkowski 1909/1911: vol. 2, 438).

He presented his condition on the space-time interval as the space-time version of Einstein relativistic group-invariance principle and called it first an axiom, next he suggested 'Relativity Postulate' (*Relativitätspostulat*) but rejected it as 'weak' since it appeared limited to the manifestation of four-dimensional space-time by phenomena; finally, in his own terms, he called it the Postulate of the Absolute World, or World-Postulate, for short (*Welt-postulat*) (Minkowski 1909/1911: vol. 2, 437). In an earlier talk aiming to include dynamics, electromagnetism and gravitation, Minkowski detailed how the equations of electrodynamics of moving bodies would follow from the postulate and two other axioms about transformations of quantities and equations relating them (Minkowski, 1915).¹⁶ In line with Hilbert's program, Minkowski called them axioms. The so-called postulate didn't just adopt, like Poincaré had done, the general invariance of mechanics and electrodynamics as an inductive generalization about the absence of absolute rest among the properties of observable phenomena. For Minkowski relativity was a normative principle, a constraint on the construction or discovery of new physical theories of observable phenomena. Needless to say, postulate-talk is hardly Hilbert's and resonates with the vocabulary of classic Euclidean geometry and Italians' new approach to axiomatics (see below). It was just not Einstein's principle of relativity, whose designation Minkowski used for the principle of covariance of physical laws under Lorentz transformations.

Göttingen was not the source exclusively of Hilbert-style, formal axiomatics. Robb's education in electron theory alone, if not also in geometry, would have led him to Helmholtz and Poincaré, who had written both on electromagnetism and geometry. Russell's would work too (including his exchanges with Poincaré). The diversity of doctrines, then, would have led him to adopt, broadly speaking, a foundational, axiomatic perspective with an emphasis on logical considerations of demonstration and of consistency and independence

¹⁶ The talk, from 1907, was published posthumously.

of axioms. Then he resolved the issue of which specific doctrine to adopt on terms set by his own particular dynamical model of radiating electrons and the more fundamental kinematic perspective of relativity theory.¹⁷

In the context of the Göttingen interdisciplinary seminar, Hilbert projected extending the mathematical standard of axiomatics to mathematical physics, by appealing of first physical principles and concepts. But his axiomatization of geometry followed earlier German formulations by Pasch and formulations by Peano and his followers in the Italian school such as Padoa, Pieri and Veronese in leaving his symbolic axioms abstract. In this way they remained independent of any interpretation, except internal, formal implicit definitions of the concepts, in Veronese's analogy, like roots of a system of logical equations. Consistency itself was a formal property that determined the existence of mathematical entities and the truth of propositions about them. From an externalist point of view, the axioms provided, as axioms of geometry, a logical analysis of human spatial intuitions, stating, as he put it, fundamental facts about them (Hilbert, 1899). In general, however, Hilbert's formalistic approach to axiomatics constituted and was most influential as what has been called an image –a standard or ideal– rather than a body of mathematical knowledge.¹⁸

6. Axiomatics and physical geometry

While Russell and Whitehead were publishing at Cambridge axiomatic systems of geometry and defending their famous reductive project of logicism, Robb engaged, instead, the empiricist physical approach he encountered in Helmholtz. This earlier German doctrine on the foundations of geometry was more in fitting with Robb's commitment to dynamical description as well as the quasi-axiomatic and geometric formulations of relativity theory.¹⁹ It was Riemann at Göttingen who had first pitted non-Euclidean geometry against the Kantian idealist doctrine on geometry and famously declared that geometry's foundations were constituted by hypotheses.

¹⁷ Walter has offered a brief examination of the latter as an instance of non-Euclidean trend in relativity theory that included Minkowski, Sommerfeld and Robb; see Walter (1999). Here I emphasize, instead, the evolving synthesis of logical and physical aspects of Robb's interest in axiomatics in physical geometry.

¹⁸ On the distinction see Corry (2004).

¹⁹ On the interpretation of Helmholtz's philosophy of geometry I follow Torretti (1978) and DiSalle (1993).

Not unlike Helmholtz, and then partly in Robb, Riemann's epistemological approach to geometry rested on his background in experimentation and the application of analysis in physics, especially in ether physics—in relation to electric and magnetic forces—end energy physics (Ferreirós, 2006; Torretti 1978). At Göttingen he had developed interests in electricity and geometry alongside his teachers Gauss and Wilhelm Weber, who had collaborated on empirical determination of units of measurement in geometry and electromagnetism. Riemann's so-called problem of space, then, consisted in identifying the empirical hypotheses that singled out Euclidean geometry. From what I have called an externalist perspective, the hypotheses were traceable to the physical experience of space, the possibility of empirical measurement in it and the related motion of objects.²⁰

Helmholtz sought to ground Riemann's geometrical hypotheses, internally, on axioms describing more fundamental empirical facts. The empirical character of the fundamental facts was linked to Helmholtz's ideas about the origins of visual space in anatomy, physiology and learning habits. Learning from the experience of physical objects and developing 'intuitions of fixed typical relations' was the general context for more specific scientific facts, the mechanical conditions of geometrical measurements. The fundamental grounds for geometry concerned the free mobility of rigid objects required for the comparison of spatial magnitudes. While the factual grounds challenged the Kantian idealist doctrine of the a priori status of Euclidean geometry, in this context and in the foundation of physics on energy conservation Helmholtz retained Kant's causal standard of intelligibility of Nature.²¹

In this tradition, Minkowski's non-Euclidean geometry of space-time was the latest significant contribution.

²⁰ Riemann's five hypotheses, simplified, are the following: (1) space—that is, the concept of geometrical space—is a continuous differentiable manifold of n -dimensions (a set of points whose n -coordinates were the result of measurements); (2) space has 3 dimensions; (3) space allows for the definition of an element of length in the form of the square root of a quadratic differential expression of the coordinate functions (metric); (4) the curvature of space is constant; (5) space has constant zero curvature (flatness).

²¹ The axioms at the basis of the system of Euclidean geometry are the following: (1) space is a n -dim manifold whose points are characterized by the n coordinates with values resulting from the measurements of n continuous differentiable variables (non-factual definition that enables the application of analysis in geometry and physics); (2) rigid bodies exist in space characterized by movable point pairs whose relations are unaffected by the body's motion (rigidity is an empirical idealization); (3) rigid bodies can move freely to any points in space; (4) the rotation of any rigid bodies can take it, without reversal of motion, back to its initial position; and (5) space has 3 dimensions.

7. Russell's logical point of view: philosophy of mathematics between philosophy of logic and philosophy of language

In relation to Riemann's axioms, or hypotheses, Helmholtz intended his third axiom to prove Riemann's fourth, on the constant curvature of space. Subsequent authors such as Peano, Padoa and Russell introduced more abstract, purely kinematic versions, namely, de-materIALIZED, acausal conditions of free mobility without distortion of spatial magnitudes in terms of mathematical transformations. From their point of view, especially Russell's, geometry preceded dynamics.

Russell's philosophy of mathematics, logic and knowledge more generally developed in reaction to fundamental assumptions and claims of idealist and rationalist doctrines encountered at Cambridge and Oxford (his references and target included both Kant and Leibniz). The character of the engagement changed from being critical but sympathetic to being by the end of the century outright dismissive.

The gradual rejection of idealism required a conceptually coherent theory of geometry. The coherence of geometry, and mathematics more generally, relied on its reduction to concepts of numbers and next to concepts of logic. Although for Russell, axiomatics reflected the conception of geometry as a branch of logic, he also defended, like Frege, an empirical interpretation of the origins of geometrical concepts and principles, especially Euclidean (unlike in Hilbert's presentation); the doctrine provided the model of his epistemology of atomic sensations as the basis for the logical construction of theoretical entities (his solution to the problem of the knowledge of the external world that inspired Carnap). Similar views had been shared by Mach and Poincaré's, who also defended a conventional approach to the axiom basis admitting of empirical and mechanical explanations (defended also by Riemann and Helmholtz).

The new rigorous mathematics and mathematical logic showed the way. This Russell learned from German mathematicians such as Bolzano, Dedekind, Weierstrass, Cantor and Pasch and, especially, from Peano. Russell heard Peano first in 1897 at the Congress of Mathematicians held in Zurich, where Peano presented his symbolic notation for a mathematical logic, and then in Paris in 1900 at the Congress of Philosophy, where Peano presented a logic of relations and undefinable terms. This doctrine shared with Leibniz's project of characteristic universalis the ideal of a universal symbolic language on which philosophical method could rely to solve philosophical problems. It

also contrasted with Hilbert's formulation of axiomatics; and yet both yielded a modern new image of mathematics, a standard established at the new foundational space between mathematics and philosophy.

From a symbolic standpoint, the generality of logic and mathematics was based on unrestricted character of variables (concepts). But then every proposition would, on his realist metaphysics, contain every entity; this cannot be a condition of actual knowledge and its boundaries, since it challenges the boundary of the mind's grasp, which excludes the infinitely large or complex, and also the boundary between logic and non-logic as matter of generality of scope.

Here problems of philosophy of language and mathematics dovetailed. Terms in propositions cannot denote without restrictions.²² Similarly, numbers cannot be just classes of similar classes of objects. In both cases Russell encountered famous paradoxes and inconsistencies. His solution involved distinctions between logical levels. In the mathematical case of numbers, the distinction between functions and their arguments introduce levels of types. In the linguistic case, the denoting concept or term cannot be part of the content of the proposition. On a related basis Russell developed a general theory of descriptions and of knowledge, in which he famously distinguished knowledge by acquaintance of elementary constituents –whether logical or perceptual– and knowledge by description of higher-level constructs.

In mathematics, his rejection of idealism rested on the defense of the reductionist program of logicism, known then as logistics. The first formulation of the program along with discussion of the issues in metaphysics and language appeared in *Principles of Geometry* (Russell, 1903). There he followed on the steps of Peano and others in the so-called Italian school. They shared the new symbolic, logical preoccupation with axiomatizing geometry and arithmetic; but they differed in the epistemic assumptions about the status, interpretation and sources of the axioms.

In Russell's case, the particular ambivalent stance towards the basic propositions of geometry received linguistic expression in the interchangeable use of the terms 'axioms' and 'postulates' in relation to the revisable axioms of parallels in Euclidean geometry (for different reasons, the same stance and expressions are apparent in Poincaré's views). This epistemic lack of consensus was pushed to the limit by challenges raised by Poincaré's convention-

²² On denoting see Russell (1903) and (1905b).

alism and American mathematicians' postulational philosophy. It challenged the notion that any view was necessary and opened a domain of freedom of exploration, like non-Euclidean geometries had done in their specific domain.

In order to pursue the reduction of geometry to numbers and then to logic, Russell offered a comprehensive study of different geometries, descriptive, projective and metric. He distinguished between pure and applied geometry; the former studied hypothetical properties of abstract structures, which in the latter are studied as representations of the properties of space in the actual world. In the latter he identified three axioms reminiscent of Riemann's and Helmholtz's empirical solutions of the so-called problem of space: the axiom of dimension, the axiom of distance and the axiom of free mobility (Russell, 1899; Torretti, 1978). His ambition however aimed at a more general understanding of geometry, in relation to the standards set by earlier projects of a rigorous arithmetization of analysis and the formal organization and classification of different branches of mathematics, whether in terms of the algebra of group theory or of logic of axiomatization. While Poincaré was declaring that geometry is the study of certain groups, Russell declared that 'geometry is the study of series of one or more dimensions.' (Russell, 1903: 372).

8. Robb's logical turn and the application of new axiomatics

Unlike Russell, Robb was a physicist. He was interested in principled approaches in physics and the geometrical formulations of relativity theory raised the more specific issue of the application of geometry in physics. Already familiar with Hilbert's program of axiomatics in mathematics and physics, he read into Russell's new ideas the importance of the preoccupation with logic, the formal standard set by the Italians, the shifting status of interpretation and motivation of axioms and the post-Riemannian, abstract kinematic axioms of geometry. These assumptions were compatible with his project of physical geometry and were independent of Russell's particular project of logicism, for which Robb had no use. Still, Russell's terminology of logic, axioms/postulates, terms, order, series and classes found physical application in Robb's axiomatic project of 1911 and 1914.

Pursuing his interests in physical geometry and the logical aspects of axiomatics, Robb remained engaged in ongoing foundational debates. In the process, he encountered and rejected two opposite doctrines: Poincaré's conventionalism and Russell's logicism. Between logicism, idealism and Helmholtz's physical empiricism, Poincaré had defended conventionalism. Robb would have been familiar with Poincaré's work in relation to two active

subjects of research at Göttingen, geometry and electron theory. According to Poincaré, the lesson from non-Euclidean systems of geometry was that geometric axioms were convenient conventions, linked to ideas from human experience but not necessitated by it (Poincaré, 1902). The preference for the Euclidean system of geometry combined elements of ancestral adaptation of the human species and elements of choice based on the exercise of the will in scientific contexts involving practices such as measurement and theorizing. Unlike for the case of arithmetic, in geometry Poincaré sought to avoid what he took to be pitfalls of overly limiting Kantian idealism and Mill's naïve empiricism. Poincaré's was an account of the foundations of geometry but, like Riemann and Helmholtz's, it was an anti-foundationalist one, rejecting the old notion of axioms providing firm foundations, as either self-evident or universal and necessary propositions. The necessity of disguised definitions is as illusory as the stability of their geometrical facts and hypotheses.

Robb's more general interest in logical and mathematical matters relating to Russell's ideas he pursued briefly and privately, at least in correspondence with Russell himself. Upon his return to Cambridge, Robb was elected to the Cambridge Philosophical Society (November 1905) and subsequently to the London Mathematical Society, where he presented, *inter alia*, some of the ideas that developed into his *Optical Geometry of Motion*. It must have been during this period that he became further acquainted with work in foundations of mathematics such as Russell's in, for instance, *The Principles of Mathematics* (1903).

In 1908 and 1914 Robb engaged in a brief correspondence with Russell.²³ It began with a letter to Russell of 29 August, 1906, which Russell labeled 'from A.A. Robb, a distinguished geometer' and annotated indicating that Robb had applied himself to the contradiction, or Russell's paradox, in the theory of classes (Russell, 1903)—in fact, also contradictions discussed in the treatment of definite descriptions (Russell, 1905b). In a letter of 5 February 1908, he complained to Russell that the paper had been rejected by *Mind*, on a recommendation from a referee designated as 'R.' Robb would write a paper on the subject of the contradiction in terms of differences of definitions of terms involved (sameness of extensions) and preventing self-referential or reflexive increases of extensions applicable, per Russell's request, also to the

²³ Bertrand Russell Archives, McMaster University, documents:
2637/054860/5.39/RA1 710, 79662/054861/5.39/RA1 710, 79663/054862/5.39/RA1 710,
79664/054863/5.39/RA1 710, 79665/054864/5.39/RA1 710, 79666/054865/5.39/RA1 710,
75368/250221/7.28/RA3 1027 and 79668/054866/5.39/RA1 710.

liar's paradox (letter of 11 February). He also used the example of the law of non-contradiction to illustrate the idea that propositions do not refer to themselves.

In the Cambridge physical tradition (traceable to Maxwell's molecular model of the mechanical ether), Robb modeled an argument or train of thought in terms of closed connected systems of cogwheels that might prevent connected motion unless in even number, illustrating the different ways to identify and resolve a paradox or contradiction (the different possible unwarranted assumptions), the logical counterpart of the mechanical problem (letter of 15 February). Similarly, in *Optical Geometry of Motion*, the elimination of apparent contradiction resulting from non-uniqueness of relative time in the theory of relativity is removed by the right representation of the causal connection between particles.

Robb pursued a defense of his paper on contradiction in three other letters of the same month and an acrimonious letter of March 1st objects to Russell's unwillingness to correspond on the matter. Nevertheless, Robb would send Russell a copy of his manuscript of *A Theory of Time and Space* and in a letter of 18 January 1914 acknowledged Russell's favorable report on the manuscript for publication by Cambridge University Press.

Robb introduced his treatment of relativity from a logical point of view: 'This remarkable suggestion [relativity of simultaneity] was at once seized upon with it apparently not being noticed that it struck at the very foundation of logic. That a thing cannot 'be and not be at the same time' has long been accepted as one of the first principles of reasoning, but there it appeared for the first time in science to be definitely laid aside.' (Robb 1914b, 2).²⁴

The correspondence evinces Robb's interest and reputation in the foundations of geometry and Russell's work more broadly, which was based on axiomatic and hierarchical structures and the philosophical use of formal logical language and the constructive techniques of formal logic. The correspondence also reflects Robb's attention to the journal *Mind*, where Russell had published significant essays, including 'On Denoting', with a discussion of a paradox in the philosophy of language and the application of logic to prevent it (Russell, 1905b). In 1905 Russell had also published an unfavorable review of the new English edition of Poincaré's *Science and Hypothesis* (with

²⁴ Goldberg has noted Robb's reaction to relativity theory as resting on a logical fallacy, although only as an example of British physicists' failure to understand relativity; the new wine, to follow his analogy about the reception of revolutions, was kept in old bottles that left it in the dark; see Goldberg (1984: 234).

a preface by Robb's mentor Larmor) criticizing the conventional, rather than the experimental, view of principles of geometry and mechanics (Russell, 1905a).

While Robb rejected Poincaré's conventionalism explicitly in 1911 in *Optical Geometry of Motion* (Robb, 1911), Russell's philosophy he ignored. In Russell he nevertheless might have learned about related works from the Italian school that had also informed Hilbert's project of axiomatics. By 1914 he had subsequently incorporated related insights from Russell, the Italians and the American school, integrating them into the development of the 1911 work, *A Theory of Time and Space* (Robb, 1914b). This time Russell not only received the work favorably; he also adopted its key earlier ideas in his new discussion of empirical theory of knowledge of the same year (Russell, 1914).

Robb's engagement of logic, axiomatics and related issues in the foundations of geometry shifted noticeably between 1904 and 1911 and after. By 1911 Robb's new work on physical geometry had shown a new though relatively limited engagement (and acquaintance) with the debates in geometry and new positions in foundations of geometry and axiomatics, not even Russell's. Readings of the relevant works, especially by members of the Italian School, may have been prompted much earlier by his own interest in the field, Russell's own work, and even the more traditional specialized papers at the Mathematical Society. They may have been prompted also by reading Veblen sometime after 1911, which includes references to Italians also in Russell's *Principles*, and to fellow Americans Young and Huntington. 1910-1913 is also the period of publication of the three volumes of Russell and Whitehead's *Principia Mathematica*. In the Preface to the first volume, Russell and Whitehead declare that in geometry 'we have had continually before us the writings of v. Staudt, Pasch, Peano, Pieri, and Veblen.' (Whitehead & Russell, 1910: vol. 1, ix).

9. Robb's Italian and American sources

Besides German and British sources, we should mention the Italian and American. They combined distinctive approaches to the foundations of mathematics from an axiomatic point of view a marked . The so-called Italian school, around Veronese, Peano, Padoa and Pieri, broke ground with an uncompromising and systematic effort to formulate logical systems of arithmetic and geometry. Veronese's *Fondamenti di Geometria* (1891) referred to Euclid's postulates, otherwise for the general new foundations he mentioned axioms (*assiomi*). Peano, concerned with universal artificial languages for

precise mathematical concepts and proofs, looked to Grassmann and Pasch, and wrote in terms of fundamental propositions (*proposizioni fondamentali*), which he divided into definitions (*definizioni*) and primitive propositions or axioms (*proposizioni primitivi o assiomi*). He also referred to the fundamental or primitive propositions as, equivalently, ‘axioms or postulates’ (*assiomi o postulati*), but the main operative terms were ‘definition’, ‘axiom’ and ‘theorem, especially in *I Principii di Geometria Logicamente Esposti* (1889).

Padoa similarly declared the purpose of formulating ‘a system of unproven propositions (postulates) from which (from definitions and axioms) one could prove all other propositions.’ (Padoa, 1904)²⁵. Members of the Italian school such as Peano believed, despite the symbolic nature of the languages employed, in the perceptual or empirical origin of the propositions represented by the axioms: ‘if one wants to give this work the name of geometry it is necessary that such hypotheses or postulates express the result of simple and elementary observations of physical figures.’²⁶

The main exception to the widespread consideration of axioms in the first decade of the 20th century would be Poincaré and the so-called American postulate theorists. Poincaré referred to the parallels postulate as Euclid’s postulate and more generally to the postulates and axioms of geometry in *Science and Hypothesis* (1902) and his review of Hilbert (1902), translated by Huntington (1903). Huntington preserved Poincaré’s separate use, adopting a pre-axiomatics standard use, maybe apparently indicating the historical change in the status of Euclidean geometry and therefore the revisability status of its postulates; and, more generally, the conventional nature of all geometrical axioms. Poincaré formulated his theory of relativity precisely with an emphasis on the formal general elements such as the principle of relativity and the groups of transformations. Unlike Einstein, however, he believed in the empirical, inductive origin of the first principles.²⁷

The so-called American postulate theorists such as Huntington, Veblen and Young, who often recover not just the disjunction ‘axiom, or postulate’, but make primary use of the term ‘postulate’ (most notably by Huntington) or else introduce alternatives such as ‘assumption’ (by Veblen and Young).²⁸

²⁵ Presented at the Paris Second International Congress of Mathematics 1900.

²⁶ Quoted in Corry (2004: 44); see also Torretti (1978), comp. Schlimm (2003).

²⁷ By contrast, his a priori commitments were the concepts of electron and ether; see Goldberg (1984).

²⁸ The rubric of American postulationism was introduced in Corcoran (1980) and examined further in Scanlan (1991). My account of American postulationism goes beyond the characterization in Scanlan (1991).

In a presentation to the American Mathematical Society of results from his doctoral dissertation, Huntington offered what he called 'a complete logical basis for a deductive mathematical theory' of absolute continuous magnitudes (Huntington, 1902).²⁹ The logical basis of the theory from which the relevant theorems are deduced is formed by six propositions he called postulates, with the following clarification:

Following the usual distinction, we use "postulate" to mean a proposition the acceptance of which is demanded or agreed upon as a basis for future reasoning, reserving "axiom" to mean "a self-evident proposition, requiring no formal demonstration to prove its truth, but received and accepted as soon as mentioned. (Huntington, 1902: 264n)

The use of the term 'axiom' indicates, by contrast, the view that basic propositions express 'the essential characteristics' of the magnitude in question.³⁰

We find further clarification of this attitude towards basic propositions in a logical treatment of mathematical theory in Veblen and Young's subsequent formulation of an axiomatic system of projective geometry. Echoing Hilbert, they wrote: 'The starting point of any strictly logical treatment of geometry (and indeed of any branch of mathematics) must be a set of undefined elements and relations, and a set of unproven propositions involving them.' (Veblen & Young 1910: vol. 1, 1; Veblen, 1903). Now, they explained that given the purely formal or abstract nature of the symbols, devoid of concrete content ('application or representation'), 'it is manifestly absurd to speak of a proposition involving these symbols as self-evident', thus 'the unproved propositions referred to above must be regarded as mere assumptions.' (Veblen & Young 1910: vol. 1, 2). Yet, their motivation differed from Huntington's and the customary use in ignoring the axiom/postulate distinction and attributing the absence of self-evidence less to the absence of essential information than to the formal status: 'It is customary to refer to these fundamental propositions as axioms or postulates, but we prefer to retain the term assumption as more expressive of their real logical character.' (Veblen & Young 1910: vol. 1, 2). Axioms or assumptions, in this logical sense, are characterized by their

²⁹ His dissertation at Strassbourg in 1901 included a discussion of complex quantities.

³⁰ Ibid., 264; in his dissertation, Huntington refers to the Archimedes postulate and the postulate of continuity, but also refers to them as axioms and uses, more generally, the expression 'das Axiom oder Postulat'; Huntington (1901: xvi).

status as unproven, in particular not being deduced from other such axioms, and fundamental in their joint capacity of the set of axioms to derive every proposition associated with, for instance, Euclidean geometry.

In 1911, Veblen again re-stated his original position:

the first propositions of all cannot be deduced, because there are no previous propositions to deduce them from. There must therefore be *assumptions*. These may be stated so plausibly that no one doubts their truth, but whether they are true or not cannot affect the correctness of the reasoning based upon them, nor the fact that they are assumptions. We shall not enter into the metaphysical question as to whether these assumptions are self-evident truths, axioms, common notions, experimental data or what not, but shall try to keep within the realm of mathematics by using the non-committal word assumptions. (Veblen, 1911: 4-5, original italics)

Huntington distinguished axioms from postulates or assumptions as statements of fact, whereas the word 'postulate' recovers the classic meaning of unsettled demand that might or not be satisfied (Huntington, 1911: 171). Veblen added in a footnote that truth becomes a hypothetical matter of testable validity: 'the truth of a statement can be determined only by testing all its consequences, so that the real test of the validity of the hypotheses of geometry is the validity of the theorems.' (Veblen, 1911: 4n).

Veblen cast in the new terms or at least the new conception of axioms as basic statements the old Euclidean project of geometry:

the problem of the foundations of geometry is to find a system of axioms that is necessary and sufficient for geometry, –necessary, in that no axiom can be dispensed with, and sufficient for the deduction of the whole system of geometrical knowledge. (Veblen, 1903: 309)

For Veblen and Huntington this is the standard that grants the status of science (Huntington, 1911: 158). The new standard included also the rejection of Euclidean geometry as the unique solution and Hilbert's new conception of mathematics as 'a body of propositions stated about certain elements in terms of certain relations.' (Veblen, 1903: 304). The new formalistic perspective championed by Hilbert was based on relations between uninterpreted symbols, 'devoid of content', and the derivation of theorems by the methods of formal logic. According to Veblen the new perspective implied the new postulational attitude:

Since it is manifestly absurd to speak of a proposition involving these symbols as self-evident, the unproved propositions referred to above must be regarded as mere *assumptions*. It is customary to refer to these fundamental propositions as axioms or postulates, but we prefer to retain the term assumption as more expressive of their real logical character. (Veblen & Young, 1910: vol. 1, 1-2).

Huntington emphasized two connected aspects of postulates that suggest his distinctive commitment to postulate-based axiomatics was motivated also by his focus on algebra rather than geometry. Conditions expressed by postulates are lack propositional content, therefore they can't be self-evidently true because they lack truth-value altogether. To categorize them, Huntington borrowed Russell's notion of propositional function (Huntington, 1911: 172). Moreover, he appealed to the original meaning of the term 'postulate' as a demand, rather than a description, that systems might fail to meet. He gave the example of army admission conditions in the form of requirements or instructions that a class of men might not satisfy (Huntington, 1911: 172). This constructionist approach fits the case of algebraic systems. The relevant systems to each the postulates apply, that is, that are eligible for satisfying them, consist of a class of elements such as geometrical points or numbers, and relations they obey such as order or betweenness. One may think, instead, in a formal mode, of regulating the meaning of terms, 'points' and 'betweenness.' In the case of algebraic systems, the specific types of relations between elements in a system are rules or operations, which fit the character of demand or instruction that distinguished postulates.

In a review of subsequent work by Huntington, N.J. Lennes drew attention to this precise significance in the by now anomalous terminological choices; his diagnosis combined Huntington's terminology with Veblen's interpretation:

The original name for the unproved propositions of a mathematical science was "axiom,"—a truth so simple that everyone must assent to it whenever the statement is fully comprehended. In this respect, the point of view has changed completely. If a , b , $(+)$, $(.)$ are purely abstract symbols, then no propositions whatever is evident about them. Hence the word "axiom" with its old connotation is being discarded. The paper under review uses "postulate." Other writers, as Veblen and Young, are using "assumption". (Lennes, 1911: 364-5)

Their terminological particularity adopted along with the focus on either postulates or axioms understood in new epistemological ways has been associated with a broader uniformity of interest and approach to foundational mathematical research.³¹ The explicit rejection of the traditional foundationalist connotation of the term ‘axiom’, when not the introduction of the postulational rubric, marks changing commitments to axiomatics and to the logical and epistemological status of axioms. It is a commitment to foundations without foundationalism.

Their work emphasizes the distinction between the syntactic undefined expressions in the systems, or postulate sets, and their semantic interpretations. On the basis of the distinction Veblen and Huntington followed Hilbert in developing formal metatheoretical conditions of adequacy of the sets such as consistency, sufficiency and independence (or irreducibility), which together characterized the completeness of a set of postulates and granted them the status of logical basis for a deductive mathematical theory (Huntington, 1902: 264; Huntington 1911). With an explicit and systematic semantic approach missing in Hilbert’s formulation of axiomatics, Veblen and Huntington articulated a model-theoretic conception of the metalogical categories in terms of satisfaction and truth, including the notion of equivalence of classes of objects satisfying the same sets of postulates, that is, ‘that there is *essentially only one* class of which the twelve axioms are valid.’ (Veblen, 1904: 346, original italics). Veblen introduced for this property the term ‘categorical.’³² Neither author used the word ‘model.’ Huntington described the equivalence between ‘assemblages’ in terms of isomorphism, or one-to-one correspondence; then he proves a theorem:

any two assemblages M and M' which satisfy the postulates 1-6 are equivalent; that is, they can be brought into one-to-one correspondence in such a way that a o b will correspond with a' o b' whenever a and b in M correspond with a' and b' in M' respectively. (Huntington, 1902: 277)

³¹ Corcoran (1980) and especially Scanlan (1991), although he glosses over the above distinctions. According to these proposals, members of the school of American postulationists include L.E. Dickson, E.H. Moore, E.V. Huntington, O. Veblen, J.W. Young, R.L. Moore, B.A. Bernstein, R.E. Hendrick, J. R. Klein, H.M. Sheffer, C.H. Langford and C.J. Keyser. Their locations are predominantly Chicago (E.H. Moore and his student Dickson), Princeton (Veblen) and Harvard (Huntington).

³² According to Veblen, the term was suggested by John Dewey; *ibid.* Huntington introduced it in 1911 as the term of a sufficient set of postulates (Huntington, 1911: 171n).

Veblen subsequently called the objects satisfying a consistent set of assumptions their *interpretation* and, equivalently, their *concrete representation* or *application of an abstract science* (Veblen & Young, 1910: vol. 1, 3 and 336).

After the First World War postulationism was identified and defended as a doctrine in the philosophy of mathematics by Cassius Jackson Keyser at Columbia and, more generally, by D.R. Carmichael then at Illinois, Urbana-Champaign (Cat, 2016). Carmichael's commitment dates back to his pre-war work on relativity.

10. Relativistic postulationism

Veblen's attitude towards assumptions is the view at work in Einstein's original choice of the term 'presuppositions' (*Voraussetzungen*) and the view adopted also by Carmichael in his postulate formulation of relativity theory (Carmichael, 1912; 1913). While familiar with the work of Huntington and others, in relation to relativity, Carmichael borrowed the emphasis on postulates from Lewis and Tolman (1909; and Tolman 1910). So did, I believe, Einstein himself, von Laue and then others adopted too, at least in relation to the name and status of the basic principles becoming the two postulates of relativity.³³ By 1911 Einstein, had read G.N. Lewis and Richard Tolman's paper on the new non-Newtonian system of mechanics after receiving copies probably from Lewis himself, whom Einstein had met in Zürich in 1901. Also von Laue had read it as well as Tolman's follow-up paper and cited it in his textbook treatment of the theory, which Einstein read as well (von Laue, 1911). Einstein praised Lewis and Tolman's paper to Vladimir Varičak as a beautiful study.³⁴ Further proof of his re-acquaintance with Lewis' work was his recommendation to his collaborator Jakob Laub to contact Lewis for employment at the MIT laboratory of physical chemistry.³⁵

In light of Einstein's physico-chemical researches it is not surprising that in 1901 in Zürich he received the visit of Ostwald's former assistant and colleague George Bredig and his American visitor G.N. Lewis.³⁶ Bredig was ap-

³³ I offer a study of this development as part of a multidisciplinary history of relativity in America in Cat (2016).

³⁴ Einstein's letter of 3 March, 1911, CPAE vol. 5, doc. 257a, 7 (*The Collected Papers of Albert Einstein*, Princeton, NJ: Princeton university Press).

³⁵ Einstein's letter of 9 November, 1910, CPAE vol. 5, doc. 231, 166.

³⁶ Lewis' letters to Einstein, 23 February 1921 and 27 July 1926, CPAE vol. 12, doc 62, 100, and vol. 5,

pointed to the ETH in 1910 and was Einstein's colleague there between 1912 and 1914. Like T.W. Richards, his Harvard advisor before him, Lewis had taken the opportunity to spend a year in Germany with Ostwald in Leipzig and Nernst in Göttingen. It was only after reading Lewis and Tolman's paper and possibly also Tolman's follow-up sometime in 1910 that Einstein would gradually drop talk of principles of relativity in favor of postulates, especially in the context of work in the new general theory.

The adoption of the American postulational terminology and perspective was consistent with Minkowski's own choice in 1908. His application of non-Euclidean geometry was not the sole distinctive disciplinary resource and incentive for mathematicians (and mathematical physicists). The axiomatic structure was part and parcel of the new mathematical approaches, at least in post-Euclidean geometry. To mathematicians it was as important to their reception, reconstruction and development of relativity as was the geometric perspective³⁷ and group algebraic invariants.

In fact, his choice of postulate terminology might seem somewhat perplexing, and stems from Minkowski's distinction between three different concepts of relativity: he had labeled the 'relativity theorem' Lorentz's ad hoc ('artificial') hypothesis, the 'relativity postulate', Poincaré's inductive generalization and Einstein's empirically motivated reconceptualization of time, and 'relativity principle' the generalized covariance principle for the relations between observable magnitudes (Corry, 2004: 193-4). The principle of relativity is, strictly speaking, the third of the axioms from which he derived the equations of electrodynamics. Following Hilbert's axiomatic epistemology in geometry, the goal was the clarification of relativity as an axiom probing the redundancy and inconsistency in the foundations of mechanics.

11. Robb's turn to axiomatic foundations of geometry beyond Russell

The contrast between Robb's 1911 and 1914 books parallels the contrast between Russell's 1903 and 1910-1913's books. It is not the exploration of logicism that had changed in Russell, but his turn to explicit axiomatic presentation in order to apply his philosophical method of analysis. He applied the logical techniques to problems in metaphysics, epistemology and philosophy of language. It is this method and the logical structure of axiomatic systems, not the logicist project, that Robb might felt prompted to follow.

262n.

³⁷ This is the focus of Walter (1999).

His exchange with Russell of 1908 might not have distanced him from Russell's general project in philosophy of mathematics as much as did his original physical perspective and the specific physical challenge posed by the theory of relativity. Robb and Russell pursued different philosophical and theoretical projects in relation to geometry. So Robb relied on alternative sources, Italian and American, older and more recent, along with some of their foundational attitudes and vocabulary.

Then in 1912 Robb made his acquaintance at least with some of the other protagonists of the axiomatics movement themselves, and his subsequent works would show it, citing them and not Russell—or even Hilbert. The special occasion was the International Congress of Mathematicians that took place in Cambridge in August 1912.³⁸ In the morning of August 23rd met a session of the Philosophy and History subsection of section IV (Philosophy, History and Didactics), chaired by Russell. The papers read addressed foundational issues with an emphasis on axiomatics: by G. Itelson (on the essence of mathematics), E. Zermelo (on the axiomatic and genetic methods), H. Blumberg (on a set of postulates for arithmetic and algebra), E.V. Huntington (on a set of postulates for abstract geometry) and A. Padoa (on the principle of induction) (Hobson & Love, 1913: vol 1, 53-4).

Peano too was attending the conference. Robb attended the session, likely among others, and participated alongside Padoa and N.A. Whitehead in the discussion of the paper by Blumberg, who had recently received his doctorate from Göttingen under Edmund Landau. Notice that it is the Continental-educated Americans, Blumberg and Huntington, who, as Robb would too, referred to sets of postulates. This linguistic marker helps tracks changing commitments to axiomatics and to the logical and epistemological status of axioms.

Veblen's preoccupation with the logical independence of axiom systems followed recent work by his advisor at the University of Chicago, E.H. Moore. Moore had criticized Hilbert's claim of the independence of his system of axioms by proving that one of them (II, 4) was redundant (Moore, 1902). Veblen also echoed Peano's defense of the primitive character of points and Padoa's recent criticism of Hilbert's set of basic terms, for basic elements, 'point', 'line', and 'plane', and for basic relations, 'situatedness' and 'betweenness,' are reducible to two undefined terms, 'point' and 'betweenness.'³⁹

³⁸ 22-18 August 1912, see Hobson and Love (1913), vol.1.

³⁹ Veblen (1903), Peano (1889) and (1894) and Padoa (1900).

In the Italians' footsteps Veblen then proposed a system of axioms, or assumptions, and definitions for Euclidean geometry based on the undefined term 'point' for the basic class of elements and 'order' for the basic relation between them (Veblen, 1904; 1911). Veblen and Huntington picked up the theme of the independence of basic assumptions or postulates in their 1911 essays collected in a monograph edited by Young (Veblen, 1911; Huntington, 1911). It was also an issue Huntington addressed in his presentation at the Cambridge conference of 1912.

Shortly after, Robb turned his attention to Peano's system of axioms for the geometry of the straight line to examine their independence (Robb, 1913a). He concluded that one of the axioms, IX, could be proven, that is, it was not independent. Next in a follow-up note he published a second proof to the effect that also another axiom, VI, was, borrowing Veblen and Moore's terminology, reducible (Robb, 1913b). In 1914 he referred to Peano's axiom as redundant (Robb, 1914b: 105). In the aftermath of the Cambridge conference, the logical analysis of Peano's axioms provides the link to his system of geometric postulates that integrates the kinematic results of relativity theory.

The effects of the exposure and contribution to new developments in the foundations of geometry during the period 1911-1913 are evident in the transition between *Optical Geometry of Motion* (1911) and *A Theory of Time and Space* (1914). The distinctive aspect of the 1911 book is the emphasis on the physical interpretation; the distinctive aspect of the subsequent book of 1914 is the attention to the logical structure. In 1911 Robb didn't consider the specific set of geometric axioms and the logical structure it supported, nor their logical properties such as independence and consistency.

The focus on the foundations of geometry became the core of his approach to Einstein's resolution of the difficulties that beset electrodynamics in his theory of relativity. It informed his new view of the theory of relativity, developed more explicitly and in more detail in *A Theory of Time and Space* (1914). The book, however, should be understood in the tradition of Peano, Veblen and Huntington, with the particularity of the physical foundation that updates Helmholtz's project and integrates Einstein's results after Minkowski's geometric formulation. The subtitle of *Optical Theory of Motion, A New View of the Theory of Relativity* made clear the intended focus in 1911. Yet in 1914 the treatment of relativity is incidental except as the spatio-temporal framework for integrating the different strands in the foundations of geometry. The themes of formal logic, the elimination of paradoxes, the axiomatic approach to geometry, the physical interpretation of its axioms and the rejection of Poincaré's conventionalism (despite its endorsement of

the empirical and mechanical bases for geometry) all appear mentioned in the Introduction to *Optical Geometry of Motion* (1911), but not developed. Robb defended a physical approach to the foundations of geometry, as an axiomatic system, rather than a logical approach in the logicist sense, that is, considering geometry a branch of formal logic (Robb, 1911: Preface). But it is in 1914 that he would recast the geometrical project in explicit terms of postulates with the inclusion of Veblen's and Huntington's meta-theoretical considerations of independence and consistency.

The central motivation was geometrical, the axiomatic foundations of geometry, and choice and interpretation of its axioms. Both are clearly set against a logical axiomatic structure of geometry. Robb sought explicitly to reject Poincaré's conventionalism (as well as Minkowski's abstract four-dimensional algebraic-geometrical treatment) and to adopt a position closer to Riemann's and Helmholtz's, distinguishing between axioms with a logical basis and axioms with a physical basis; the latter expressed the chronological ordering of mechanical and optical facts at spatio-temporal points. In the Preface to the book of 1911 Robb declared that geometry was from the standpoint of pure mathematics a branch of logic, but its origins lie with a physical problem (Robb, 1911: Preface). Another logical motivation concerned his articulation of relativity theory, as had done also for Einstein and Minkowski, namely, avoiding paradox or contradiction. Robb noted the second logical consideration in a footnote:

It rather seems to the writer that the assumption of a unique time is intimately bound up with the logical principle of non-contradiction, whereby a thing cannot both be and not be at the same time. The conception of the index of a particle at an instant appears to avoid this difficulty. (Robb, 1911: 7n; Robb, 1914b: 2-4).

The emphasis on the physical, in connection to his early work on electron theory and radiation, dominated the treatment of geometry his title advertised as a new view of relativity theory. The role of logic, explicit but marginal in 1911, had become more prominent, even central, by 1914, in relation to the first explicit axiom system, presented in terms of postulates. There the same critical remarks about the relativity of simultaneity appear in the main text of the Preface (Robb, 1914b: 2).

The physical aspect, he noted, had been studied by Helmholtz and it could now supplement the logical aspects (Robb, 1914b: 1). From his teacher Minkowski's abstract physical geometry of space-time Robb adopted the

graphic representation of the cone limiting subluminal velocities and the commitment to the integration of space and time. Minkowski had expressed the spirit of integration with these words: ‘space by itself, and time by itself, are doomed to fade away into the shadows, and only a kind of union of the two will preserve an independent reality.’ Robb expressed the integration and the absolute perspective with similar words, although from quote by Carlyle that begins as follows: ‘But deepest of all illusory Appearances, for hiding Wonder, as for many other ends, are your two grand fundamental world-enveloping Appearances, SPACE and TIME.’ (Robb, 1911: epigraph from Carlyle’s *Sartor Resartus*, original emphasis). In 1914 Robb considered the axiomatic system of physical geometry to be expressing a logical theory of time that, he concluded, had to imply ‘the Unchangeable.’ The final words are also by Carlyle, and express the same fundamental role for time in the analysis of space and the consistent absolute perspective he had found in Minkowski rather than in Einstein: ‘Know of a truth that only the Time-shadows have perished, or are perishable; that the real Being of whatever was, and whatever is, and whatever will be, is even now and forever.’ (Robb, 1914b: 371). The emphasis on the absolute as an alternative to what he considered to be Einstein’s logically paradoxical emphasis on relativity appeared in the title of the first post-war version of the book, *The Absolute Relations of Space and Time* (1921). The focus would turn to an absolute time order.

With a focus on the (non-Euclidean) geometry of trajectories of particles and light flashes, geometry is then physical geometry, an optical geometry of motion. According to Robb, its basic axioms would include logical and physical propositions, the latter expressing optical rather than logical facts. In other words, optical facts constitute an interpretation of geometrical concepts (Robb, 1911: 2). But Robb offered no such axioms in *Optical Geometry of Motion* (1911). It was a matter of emphasis on the physical basis:

It is proposed in the following pages to refer briefly, in the first place, upon which we might suppose some of the chief axioms to have their foundations.; and then to employ these to establish on a new basis some of the groundwork of the theory of “Relativity.”

The writer does not propose, in the present paper, to go into the more minute Logical details of the foundations of Geometry; as it seems to him that these would tend to obscure the general standpoint which he desires to emphasize. For this reason he prefers to reserve them for a future occasion. (Robb, 1911: 1-2).

In 1914 he still insisted on interpreting the theory of relativity as a particular approach to the more general 'investigation of the relations of Time and Space in connection with the physical phenomena of Optics.' (Robb, 1914b: 1). And he located the theoretical roots of the project, and of his contribution to it, in the electron theory of his teacher Larmor and of Lorentz.⁴⁰ According to Larmor, the electromagnetic properties of the electrons constituting ponderable matter could account for the null result of the Michelson-Morley experiment, the Lorentz-FitzGerald contraction hypothesis and the ensuing impossibility of distinguishing by optical or electromagnetic means between systems at rest or in uniform motion, which Robb referred to as Einstein's symmetries.⁴¹

In response to the problem of optics of moving bodies that dominated Cambridge and Göttingen physics and to Einstein's relativistic solution, Robb sought a particular physical basis for his system of geometry. It required absolute quantities and relations exhibiting an absolute order. With Helmholtz's precedent, he built on his own physical researches in the motion of radiating electrons. The geometry of coordinates describes the motion of elementary particles and flashes of light emitted between them, in Einstein's manner and recovering in passing Einstein's theory's kinematic results and, as a consequence, by putting it on a new basis (Robb, 1914b: 2).⁴²

In 1911, for Robb the notion of congruence and the axiom that introduces it in the system of geometry receive physical meaning from the absolute character of the finite value of the speed of light. The physical interpretation involves the physical fact that light travels at a finite speed (but he did not assume isotropy, that the speed was the same in every direction). He considered the simultaneous emission of a flash of light to three different particles and the reception of the flash back at the emitting particle. Then he declared the lines spanning the distance between those particles as equal or congruent. Moreover, if flashes sent to two of the receiving and returning particles arrive simultaneously back at the emitting particle, the system of the three particles is not rotating in its plane (Robb, 1911: 4). He considers this physical scenario as giving physical meaning to the notion of absolute rotation.

⁴⁰ 'Although generally associated with the names Einstein and Minkowski, the really essential physical considerations underlying the theories are due to Larmor and Lorentz.' (Robb, 1914b: 1).

⁴¹ 'It was then shown by Larmor that the electromagnetic equations could, by a linear substitution, be made to assume the same form when taken with respect to a system moving with uniform velocity as they had when taken with respect to a system "at rest," and similar results were arrived at by Lorentz.' (Robb, 1914b: 1).

⁴² See also Windred (1933), Torretti (1983), Walter (1999).

Finally he defined absolute distance in similar physical terms. He introduced a new variable associated with a particle at an instant, its index, which tracks the time order of the transmissions of light flashes between particles.⁴³ For Robb the focus on the index solved the psychological difficulty of non-unique time orders he associated with the relativity of simultaneity in the usual presentation of Einstein's theory, and the logical contradiction he perceived accordingly, with events simultaneously being and not being, at least from the absolute standpoint of a unique time (Robb, 1911: note). Simultaneity made sense only locally; and Robb sought to avoid identifying time determinations at distant positions. He distinguished an index of departure (emission), N_d , an index of arrival, N_a , and an index of return (reception), N_r (the first and last indices are properties of the first particle, the second index, a property of the second particle).

Absolute distance to a particle in motion relative to a fundamental particle in the so-called system of permanent (geometric) configuration is the same for each particle in the system and is defined by $\frac{1}{2}(N_r - N_d)$ and is always positive (echoing Minkowski's postulate). The index of arrival becomes $\frac{1}{2}(N_r + N_d)$, which may not coincide with the actual instant of arrival or require the same speed for the propagation of light in each direction (Robb, 1911: 7).

Since the representation of distance is physically based on the propagation of light, it is restricted to the scope of its reach. Then the uniform motion of a particle on a place relative to the index of a particle in the permanent system will be represented by a line at an angle smaller than 45 degrees; the latter is the angle of the line corresponding to the propagation of light. Robb calls this the standard cone with respect to a point on the index line (Robb, 1911: 8).

To conclude the optical interpretation the system of physical geometry, Robb ventured a physical interpretation of the particle's index. The most significant aspect is its reliance on his earlier research in the electronic theory of spectral lines:

The number of vibrations corresponding to a definite spectrum line of a particular substance, which are executed in any interval, is proportional to the difference of index of the particle emitting the light at the beginning and end of the interval, the constant of proportion being fixed for each particular line. (Robb, 1911: 32).

⁴³ He acknowledged that a particle's index was effectively a measure of time, but only in the particle's neighborhood, but he dismissed the general identification of the two concepts (Robb, 1911: 5).

The physical facts at the basis of the space-time geometry yield a new geometry. He avoided conflict with classical intuitions, the Galilean law of additivity of velocities is preserved by a non-Euclidean, hyperbolic, triangle between the lines of three particles representing new quantities he called uniform relative “rapidities.” It recalled Minkowski's geometrical treatment.⁴⁴ For a rapidity w , the absolute velocity relative to a non-rotating system of permanent configuration is $v = \tanh w$.

Only in the more systematic explicit treatment of 1914 did Robb present an axiomatic system of geometry after the example set by Huntington and Veblen (and their Italian predecessors such as Peano and their system of geometric axioms) with their rejection (not Russell's or the Germans') of an exclusive talk of axioms (Veblen, 1911).⁴⁵ By then, as I pointed out, Robb had become acquainted with their work –and in 1912 two of the authors themselves– and followed in their footsteps with a critical examination of Peano's system. In his system of algebra, Huntington had introduced the fundamental concept of element and the relations of rule of combination; in geometry Peano and Veblen had adopted the fundamental concepts of points and the relations of spatial betweenness and order, respectively.⁴⁶ For the system of physical geometry based on a logic of time, Robb introduced the fundamental concept of elements and the relations of so-called conical ordered based on temporal relations of before and after. Robb was seeking to integrate what he considered new physical geometry, kinematics, and the new logical foundations of pure geometry. He was not alone; in 1912 Huntington and Robert Carmichael had formulated different postulate systems for relativity theory. Still, Robb cited neither despite his recent familiarity with at least Huntington's work and adoption of his terminology.⁴⁷

Robb's system of geometry rests on twenty-one postulates and separate definitions. The kinematic structure of relativity becomes absorbed into a non-Euclidean, hyperbolic structure of physical geometry that integrates, after Minkowski's abstract geometry, both space and time, that is, spatial and

⁴⁴ Robb mentions a similar derivation by Sommerfeld from Minkowski's postulate of relativity (Sommerfeld, 1910a; 1910b). As Barrow-Green and Gray note, Varičák arrived independently at a similar result in 1912.

⁴⁵ Barrow-Green and Gray focus on the post-war period and note Robb's references to Peano and Veblen in 1921 and then suggest the omission of Hilbert's name was due to a post-war anti-German sentiment; clearly the speculation doesn't apply to the same references in 1914.

⁴⁶ Huntington (1902) and (1911), Peano (1894) and Veblen (1911); Veblen following Moritz Pasch rather than Hilbert.

⁴⁷ Carmichael (1912) and (1913) and Huntington (1912); for details see Cat (2016).

temporal orders. The axioms establish the so-called conical order out of two primitive concepts: *element* of a class or set and the relation of *after* between instants, or elements, of time. He concluded that he had ‘shown how from some twenty-one postulates involving the ideas of *after* and *before* it is possible to set up a system of geometry in which any element may be represented by four coordinates x, y, z, t .’ (Robb, 1914b: 369, original italics).

Robb insisted on the phenomenological nature of the system. The system of physical geometry is also a system of experienced geometry, ‘*a representation of the space and time of our experience in so far as their geometrical relations are concerned.*’ (Robb, 1914b: 367). In fact, he placed the phenomenological dimension in the very determination of the fundamental concepts, that is, the elements of time standing in the fundamental relation are ‘any two elements of time of which I am *directly* conscious.’ (Robb, 1914b: 4). The very logical difficulty he had perceived behind the ‘beauty and symmetry’ at the heart of the relativity of simultaneity, ‘that “a thing cannot both be and not be *at the same time*”’ (Robb, 1914b: 2), he also cast in psychological terms, as ‘something that was psychologically very strange.’ (Robb, 1914b: 2). He was not alone; also Tolman and Lewis had cast the conceptual matter as a psychological difficulty (Lewis & Tolman, 1909; Tolman 1910). But this psychological dimension emphasizes the empirical dimension of physical space and time concepts more than it expresses any form of idealism. Robb doesn’t explicitly defend any operationalist account of such concepts in terms of measurement procedures, as Einstein did, only their dependence on physical processes. As I show below, Robb also thought of logic, not just geometry, as a mechanical matter, in this case of a mental process that could be represented mechanically. In this sense, both his geometry and logic combine older mechanical foundations with the abstract logical features of the new axiomatics and foundations of mathematics.

The set of instants form a series in linear order satisfying five conditions (Robb, 1914b: 4, original italics):

- (1) If an instant A be *after* an instant B, the instant B is not *after* the instant A, and is said to be *before* it.
- (2) If A be any instant, I can conceive of an instant which is *after* A and also of one which is *before* A.
- (3) If an instant A be *after* an instant B, I can conceive of an instant which is both *after* B and *before* A.

- (4) If an instant B be *after* an instant A and an instant C be *after* the instant B, the instant C is *after* the instant A.
- (5) If an instant A be neither *before* nor *after* an instant B, the instants A and B are identical.

Space-time points are the locations of physical events. In physical time those events satisfy what Robb called the *conical order*, represented geometrically by relations between sets of cones associated with any events at any space-time points. Thus, at any point occupied by a physical event we can define two cones sharing the same apex and axis, one opening upwards and another opening downwards. One event, B, is after another, A, if the point corresponding to B's space-time location lies within or on A's upward—that is, forward—cone. Similarly, B is before A if its space-time location lies within or on A's downward—that is, backward—cone. The order introduced by the cones is universal or uniform in the sense that at any different points cones share the orientation of their up-down axes and the cones' angle.

What makes the conical order a case of physical geometry is the physical meaning of the lines that define the cones. Robb distinguishes between three kinds of lines: inertial lines, optical lines and separation lines. *Inertial lines* are the lines connecting events inside a cone; they represent uniform motion. *Optical lines* are the lines defining a cone, making up its surface. They identify the physical meaning of the geometrical figure as the set of light rays leaving or arriving at a point at an absolute (universal) speed, or a two-dimensional light pulse. *Separation lines* are the lines connecting A to points outside its cones, that is, points that are neither before nor after A.

In physical space-time the conical order makes geometric sense of the kinematic fact that two events can be simultaneous only if they take place at the same spatial as well as temporal location (Robb, 1914b: 6, 13 and 47). The absolute character of the speed of light expresses the objective, absolute, significance of the inseparability of space and time, echoing Minkowski's insight. It's the same geometry that can express also Minkowski's hyperbolic structure of non-uniform relative motions, limited by asymptotes that represent optical lines, or the speed of light (Robb, 1914b: 364).

Robb developed the system of physical space-time geometry after the standard of axiomatics introduced in the systems by Peano, Veblen and Huntington. Half-way through Robb's exposition of his axiomatic system, theorem 69 relates the parallel optical lines running through three points connected by a separation line (Robb, 1914b: 100). Robb then draws an analogy with

the notion of betweenness at the foundation of Peano's axioms of the straight line he had analyzed and criticized a year earlier (Robb, 1914b: 104; 1913a and 1913b). Next, after theorem 197, he argues that the three-dimensional geometry of the three types of lines for any three points are equivalent to the axioms of order from which Veblen deduced the system of Euclidean geometry (Robb, 1914b: 334).⁴⁸

The role of Peano's and Veblen's systems, however, is more fundamental than Robb localized analogies suggest. His disavowal of axiom talk is a distinctive of Veblen, Young and Huntington and, although less consistently so, of Italians such as Peano and Padoa. And, as I mentioned above, talk of order can be traced to Veblen's assumptions of order in his monograph on the foundations of geometry, while talk of elements and postulates can be traced to Huntington's work, included in the same volume of monographs edited by Young containing Veblen's monograph (Robb, 1914b: 339; Huntington, 1911). Moreover, the first five postulates in Robb's system are analogous to some of the first assumptions or axioms in Veblen's and Peano's cited systems.

Robb's Postulate I of the Conical Order is 'if an element B be after an element A, then the element A is not after the element B.' (Robb, 1914b: 10). Veblen's corresponding assumption of order is Assumption II: 'if points A, B, C are in order [ABC] they are not in the order [BCA].' (Veblen, 1911: 5).

Robb's Postulate II is '(a) if A be any element, there is at least one element which is after A' and '(b) if A be any element there is at least one element which is before A.' (Robb, 1914b: 10). Peano's corresponding axiom is Axiom II: 'If A is any point, there is a point distinct from A.' (Robb, 1913a: 121; Robb, 1914b: 104).

Robb's Postulate III is 'if an element B be after an element A, and if an element C be after the element B, the element C is after the element A.' (Robb, 1914b: 10). The corresponding axiom in Peano's system is Axiom VIII: 'If A and D are distinct points, and C is a member of AD, and B of AC, then B is a member of AD.' (Robb, 1913a: 122; Robb, 1914b: 104).

Robb's Postulate IV is 'if an element B be after an element A, there is at least one element which is both after A and before B.' (Robb, 1914b: 10). The corresponding assumption in Veblen's system is Assumption IV: 'If A and B are two distinct points, there exists a point C such that A, B, and C are in the

⁴⁸ He cites Veblen (1911) and mentions the other references therein (Robb, 1914b: 339).

order [ABC].’ (Veblen, 1911: 5). We can find a corresponding axiom also in Peano’s system, Axiom IV: ‘If A and B are distinct points, there is at least one point lying between A and B.’ (Robb, 1913a: 121; Robb, 1914b: 104).

Robb’s Postulate V is ‘if A be any element, there is at least one other element distinct from A which is neither before nor after A.’ (Robb, 1914b: 10). The corresponding assumption in Veblen’s system is Assumption VI: ‘There exist three distinct points, A, B, C, not in any of the orders [ABC], [BCA], [CAB].’ (Veblen, 1911: 6).

Finally, Robb adopted from Veblen and Huntington also their concern with logical properties of the systems of postulates or assumptions such as consistency, sufficiency (or “categoricalness”) and independence. They had addressed those properties in earlier work on systems of geometry and algebra,⁴⁹ and they get attention again in the monographs of 1911 (Veblen, 1911; Huntington, 1911).⁵⁰ At the end of his monograph Veblen actually deferred to Huntington’s explanation (Veblen, 1911: 49). Huntington devoted a separate section to each property –followed by a defense of the use of the terms “postulate” and “assumption” instead of “axiom” (Huntington, 1911: 165-71).

Conditions or postulates are *consistent*, in Huntington’s own terms, if there exists a system that satisfies them all (Huntington, 1911: 165). The basic postulates are *independent* if none is, as he put it, reducible or redundant, that is, none is a consequence of another (Huntington, 1911: 169). The system is *sufficient* if all the systems consisting of a class of elements and a basic relation or rule connecting them and satisfying the postulates are, in Huntington’s terms, isomorphic, or can be put on a one-to-one correspondence (Huntington, 1911: 170).

Robb concluded the exposition of his system of geometry by turning briefly to the questions of consistency, independence and sufficiency. He had first noted in passing the sufficiency of the system of propositions as a basis for Euclidean geometry in the same way Veblen had defended his own (Veblen, 1904: 334 and 337). In the conclusion he raised the ‘question of the consistency of the whole twenty-one postulates’ and concluded that he had left ‘little doubt that they are all consistent with one another.’ (Robb, 1914b: 369-70). As I have mentioned, Robb had discussed the redundancy or independence of axioms first in 1913, criticizing the independence of one of Peano’s axi-

⁴⁹ See for instance Huntington (1902) and Veblen (1904).

⁵⁰ Like Veblen and Huntington, also Robb might have been aware, while in Göttingen, of Hilbert’s interest in the independence and consistency of axioms.

oms in the footsteps of Veblen similar critique of Hilbert. He mentioned the result in relation to the analogy with Peano's system (Robb, 1914b: 105). In the conclusion he turned to his own system: 'The question as to whether the postulates are all independent is mainly a matter of logical nicety and is of comparatively little importance provided the number of redundant postulates be not large.' (Robb, 1914b: 370). He acknowledged that of the twenty-one postulates, not all are independent. Postulate II is a consequence of V and VI and that VI and XI could be combined (Robb, 1914b: 370).

In June of 1914, prior to the publication of the book, Robb wielded his logical approach in a letter to the editor of *Nature*. His target was Cunningham's recent papers on the principle of relativity. Robb questioned the conceptual consistency of Cunningham's formulation on the grounds that the idea of an absolute and definite velocity for light was inconsistent with the alleged indefiniteness (relativity) of measurements of length and simultaneity. He concluded with a veiled demand on Cunningham that expresses his commitment and the attempt to set the rules of the discussion of relativity theory accordingly: 'Query- What are Mr. Cunningham's fundamental concepts?' (Robb, 1914a: 454). Cunningham's reply must have seemed to Robb simplistic and logically inadequate, but it contained an acknowledgment of Robb's distinctive new perspective:

the "fundamental" concepts in the representation of physical phenomena are space and time. But the articles did not profess to describe in detail a logical scheme of the universe of motion. Mr. Robb's forthcoming work in which this is attempted is anticipated with much interest. (Cunningham, 1914: 454)

12. The image and logic of the light cone: from intuitive methodological model to semantic logical model too

The transition of Robb's research interests from physics to physical geometry, that is, from electron theory to space-time theory, lays out a connected series of guiding elements. First, Einstein's theory was widely understood as a reformulation of electron theory; and electron research, especially in relation to radiation, connected the theoretical and experimental activities at Cambridge and Göttingen. Second, at Göttingen Minkowski shifted the focus on relativity from electrodynamics to space-time geometry. Third, geometry was the subject of sustained meta-mathematical, or foundational, analysis and reconstruction, with an emphasis on axiomatic systems and logical properties. I have discussed these elements above. In this final section, I discuss briefly a

fourth connecting element: Robb's major works, in 1904, 1911 and 1914, feature conic geometric models with a varying meaning. The evolution is part of a longer genealogy preceding Robb's cones. By 1914, the geometrical model is not only a concrete physical model; it is also a logical model in the semantic, model-theoretic sense, at the service of logical claims. Moreover, Robb kept the term 'model' to designate both conceptions, the physical-geometric and the logical, providing continuity between both traditions.

1) *Geometric and physical models*

A geometric model is a geometric entity or a combination thereof with specific geometric properties satisfying the propositions of some abstract geometric theory such as Euclidean geometry. Its role is illustrative, to provide a particular example. A cone is a geometric model. Geometry was Robb's earliest scientific interest in Belfast. In the Cambridge tradition within which Robb would later study and write, a geometric illustration displayed spatial intuitive qualities that facilitated the application of more general and abstract relations such as mathematical equations. The cognitive value was of special use in communication or education situations such as problem-solving in examinations (Cat, 2001; Warwick, 2003). Alternatively, the concrete illustration might have methodological use. For instance, it provided the representation of geometrical properties of an empirical system for a predictive and explanatory purposes, as in astronomy or cartography, or constructive, as in architecture and engineering.

Geometric models are visualizable, but not always visual. Diagrams are the types of visual models representing geometric properties; they facilitate ultimately much of the communicative as well as computational and others roles. Three-dimensional objects with the relevant geometric features were typical educational aids. Robb was obviously familiar with geometric models and diagrams from his early interest in geometry and subsequent education at Cambridge.

Physical models were typically understood as specific representations of physical properties or relations according to more general and abstract representations. They had their own concrete instantiations, like geometric models, in this case three-dimensional concrete material objects. Whether descriptions or concrete material objects, physical models displayed selected relevant features. The selection was grounded on relations of instantiation and analogy. Even when the model described possible systems, the specific description was meant to satisfy the more abstract and general relations. This

semantic relation of satisfaction enabled the functions of relative concreteness and analogy. Their different functions could be illustrative, computational, predictive or methodological, enabling the application of more general principles or relations to the representation of empirical systems.

Geometric models may be also part of physical models, populating treatments of optics and mechanics or research publications in those areas. Mechanical theorizing placed spatial properties at the center of the description of mechanical systems characterized by structural features such as shapes and kinematic behavior such as trajectories. Diagrams provided adequate visual representations of the relevant spatial properties or analogs. While the traditional relation between geometry and mechanical and optical properties lied in practices and instruments of geometric construction and measurement, Robb subscribed to Riemann's and Helmholtz's foundational account of physical geometry provided a foundational relation, with principled accounts of the dependence of geometric notions and axioms on mechanical and optical phenomena. Physical models could be also part, then, of geometric ones.

Mechanical theory and 19th-century mechanical engineering placed mechanical models at the center of a diversity of scientific and technological practices. At Cambridge, the role of models was based on the fundamental cognitive status of spatio-temporal and mechanical features. The mathematical theory of mechanics, extended to the hypothetical ether, enabled the intuitive mathematization of phenomena such as the propagation of light and the action of electric and magnetic forces. In particular, Maxwell and Kelvin famously succeeded in bringing electromagnetic phenomena under the new mathematical theory of energy physics, including optics. Maxwell's legacy at the Cavendish and among followers beyond involved the appeal to mechanical models of fluid flows, elastic solids and connected spheres and cogwheels in education and electromagnetic research. Research in electron theory and radiation extended this tradition.

2) Precursors to Robb's geometric and physical cones and their precursors

Robb's use of conic models as geometric and physical models included two-dimensional diagrams. This tangle didn't just extend an earlier local modeling tradition. It also extended a more recent tangled genealogy of conic models both at Cambridge and Göttingen.

As I have mentioned above, Voigt derived a set of transformations (anticipating properties of Lorentz's) that preserved the velocity of light and applied

this result to the propagation of wave surfaces in the shape of a light cone (Voigt, 1887: 48-50; Sommerfeld, 1910a: 666, Fig. 4). This is one in a series of cone models serving different but connected theoretical projects including Robb's. In several of Voigt's books, both on mechanics and on electricity and magnetism, conic models appear occasionally playing one of two roles: the illustrative application of a physical principle and the technique for solving a problem. In both cases the cone model operates as a geometrical constraint or boundary condition (Voigt, 1896; 1901).

In 1904 Robb followed Lorentz and Voigt in applying classical dynamics to explain Zeeman's sets of spectral lines in terms of the vibrating motion electrons. He postulated a structure of the radiating particle containing a coupled pair of electrons in oscillating in response to an elastic central force (Robb, 1904). Inspiration had come from a treatise on dynamics written by the Edward J. Routh, Cambridge's most successful Tripos examination coach, and which included examples from examination problems (Routh, 1892: vol. 2).⁵¹

As a possible geometric constraint on the coordinates and velocities of two bodies Robb borrowed from Routh's text the example of motion on a cone. The cone model serves in the treatise a tripe role of illustrating general physical principles, help with calculation (especially in the application of solid geometry to treatments of rotation) and help the student practice the formal application of the physical principles to specific geometric situations. A number of examples involving cones were borrowed from exam problems that Robb would have studied in preparation for his own Tripos examination.⁵²

In the geometric treatment of rotation due mainly to Poincot, Routh introduced a specific use of the model of the dynamics of a cone to represent time (Routh, 1892: vol. 2, art. 198):

Poincot has shown that the motion of the body may be constructed by a cone fixed in the body rolling on a plane which turns uniformly round the invariable line. If, as in the preceding theory, we suppose the plane rough, and to be turned by the cone as it rolls on the plane, the angle turned by the plane will measure the time elapsed.

⁵¹ See Robb (1904: 13-14).

⁵² See, for instance, examples in arts. 198 and 229 of Routh (1892).

Robb's strategy in his dissertation fits with the Cambridge tradition of 19th century mathematical physics, in which physical research was guided by the application of mathematics, especially the calculus, and the focus on certain systems as set in examination problems.⁵³

V-shaped geometric space-time diagrams began appearing in electron theory after Robb defended his dissertation in February 1904. In July 1904 Sommerfeld presented before the Göttingen Royal Society of Sciences the two installments of his treatment of the electron's surface charge distribution at uniform speeds below and over the speed of light. He presented the second installment in June 1905. Both installments included space-time diagrams depicting electron motion (Fig. 1).⁵⁴

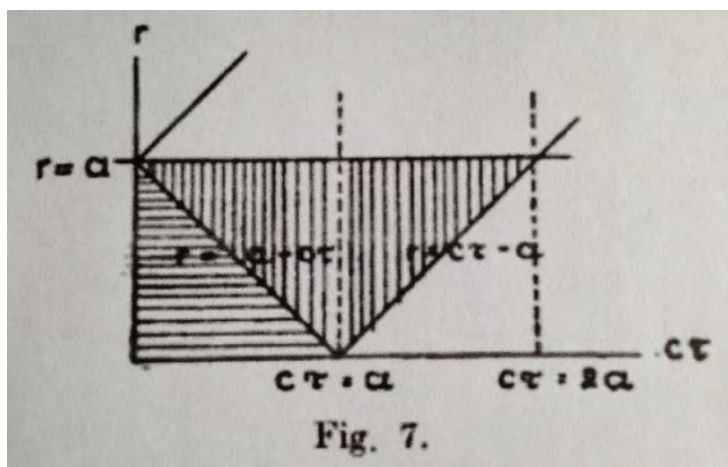


Figure 1. Sommerfeld's space-time diagram depicting electron motion (1904).

He was then professor of mechanics at Aachen, where graphic techniques were valued for use in engineering (Pyenson, 1979: 81).

One X-shaped diagram in Voigt's later *Magneto- und Elektrooptik* representing electric potential lines (Fig. 2) is graphically reminiscent of the space-time diagram in Sommerfeld's articles on electron theory of 1904 and 1905 (Voigt, 1908: 365, Fig. 71).

⁵³ The role of the Cambridge Tripos exams in the introduction and research application of the calculus has been studied by Warwick in Warwick (2003). See also Cat (2001).

⁵⁴ Sommerfeld (1904: 429, Fig. 7), and Sommerfeld (1905: 230, Fig. 14).

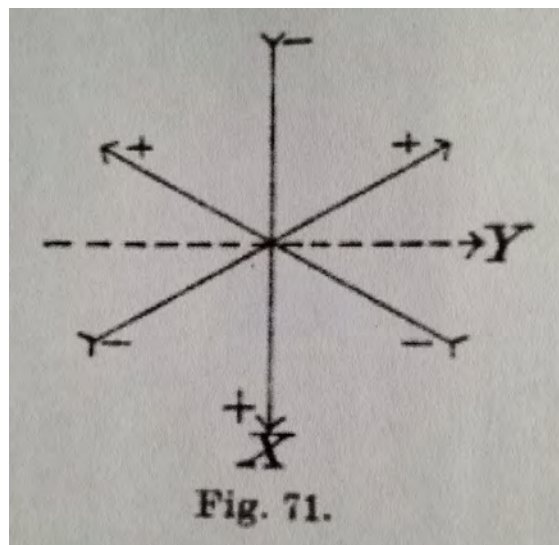


Figure 2. Voigt's spatial diagram for electric fields (1908).

Despite the graphic similarity with Voigt's diagram, it is Sommerfeld's explicit space-time diagrams that in turn constitute the immediate geometrical predecessor of the space-time cone diagram in Minkowski's 1908 lecture (Pyenson, 1979: 84). They all constitute a family of close graphic precursors of Sommerfeld's and Robb's subsequent cone diagrams, tools in their transition from electron theory to relativistic geometry in 1910 and 1911, respectively.⁵⁵

Minkowski's use of space-time diagrams relied on a prior commitment to visual thinking, in particular through visual-geometrical intuition as a tool for discovery (Galison, 1979: 87). He had appealed to spatial and geometrical intuition first for insight into mathematical concepts in number theory in *Geometry of Numbers* (1896), then for insight into physics of space-time and electrodynamics (1908). Throughout he assumed a pre-established harmony between mathematics and nature.

For Minkowski relativity theory was justified as a contribution to the electromagnetic worldview; his contribution was clarifying how the motion of electrons was informed by the physical reality of space-time geometry.

⁵⁵ Sommerfeld discussed Minkowski's diagram especially in Sommerfeld (1910a: 752; 1910b: 666).

Lorentz had constructed an electrodynamics of moving bodies on the back of mathematical transformations and hypothesis of physical contractions. Minkowski understood them from the standpoint of the aesthetic value of symmetry and the structure of groups of geometric rotations and four-dimensional invariants (an analysis borrowed from Poincaré). This algebraic interpretation received geometric expression in the representation of the invariant interval as a hyperboloid that contains the representation of all possible space-time coordinates of a physical event.

Minkowski represented graphically the hyperboloid on a V-like axis system two-dimensional space-time centered on an event placed at the origin of coordinates. The V-shape represented two-dimensionally a space-time cone. He then generalized the diagram to an X-shaped axis system that included the central event's past. The transformation curves are contained in what he called the fore-cone (*Vorkegel*) and the aft-cone (*Nachkegel*) (see Figure 3) (Minkowski 1909/1911: vol. 2, 433 and 438).⁵⁶

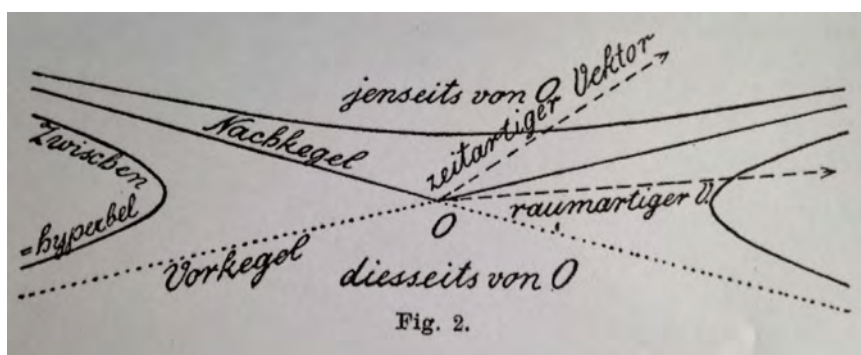
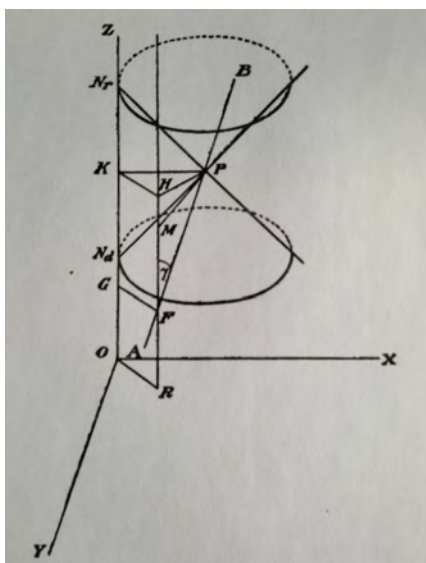


Figure 3. Minkowski's space-time diagram and light cones (1908).

The fore-cone contains all the (past) points that emit light towards the central event, while the aft-cone contains all the (future) points that receive light from it. They are light cones in the physical geometry of space-time.

⁵⁶ The cones are now known as the future and past cones, respectively.

In *Optical Geometry of Motion* (1911) Robb introduced the geometry of uniform motions relative of a given particle –the fundamental particle– at a point on an axis that represented the particle’s index. On this axis, the index represents local time in terms of the order of events of light emission and reception at the fundamental particle. The propagation of a flash of light emitted in the direction of a moving particle is represented by a line at a 45-degree angle relative to the index axis. Relative to the location $C=(a, b, c)$ of the particle, all the lines representing the motion of light lie on a cone centered around the index axis, $z, (x-a)^2 + (y-b)^2 - (z-c)^2 = 0$. (Robb, 1911: 8). This is the physical light cone; he called it the *standard cone* relative to the point C. Robb extended the model relative to the location of a uniformly moving particle with two cones, representing reception and emission of light flashes, around its index line (Fig. 4) (Robb, 1911: 11). The geometric and physical properties are inseparable; the geometric model is in fact a model of physical geometry. Further, a diagram depicted the bi-conic geometric model with the geometric properties of the physical standard cone, that is, of a physical model.



The cones allowed Robb to calculate relations between the indices of the particle in uniform relative motion and establish the non-Euclidean geometry for rapidities, which satisfy the classical relation of additive composition.

Next Robb's geometric project underwent an "axiomatic" turn. As I have discussed above, in *A Theory of Time and Space* (1914) Robb represented the physical geometry of space-time embedded in a system of postulates. And to that effect, he re-introduced the conic model as a 'geometrical illustration.' (Robb, 1914b: 4). It illustrated the fundamental concept of order that he had borrowed from prior axiomatizations of Euclidean geometry. But the so-called *conic order* was a geometric model of the physical geometry of space-time and, like its 1908 and 1911 predecessors, it concerned local time relations of before and after between space-time events. The two relations required two cones; the geometric model is, again, a bi-conic model. Among the temporal relations, Robb was particularly interested in the relation of simultaneity, the source of much logical dissatisfaction towards Einstein's theory. The cone system illustrated the possibility of events that were neither before nor after each other. In his system, Robb restricted the relation of simultaneity to events occurring at the same place (Robb, 1914b: 6).

The model was also physical beyond the temporal dimension: the physical geometry of the cones was defined by limiting optical lines that represented the trajectory of light signals to or from a particle, that is, emission and reception events located at the cones' vertex. Lines representing the trajectory of particles at subluminal speeds are contained within the cones. The future and past cones contain the subluminal local physical histories accessible to the system at the vertex, the local conic order. As in 1911, Robb also portrayed the model graphically, with a geometrical diagram (Fig. 5) (Robb, 1914b: 5).

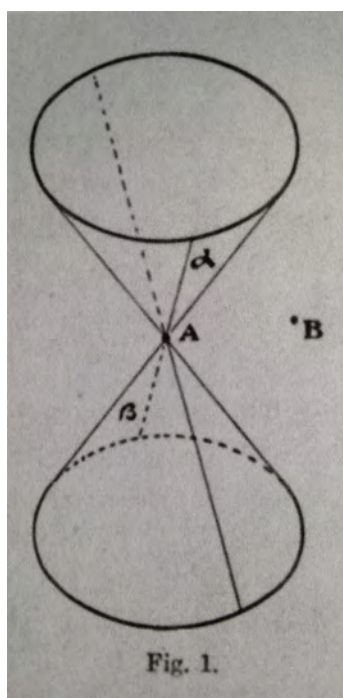


Figure 5. Robb's light cones (1914)

4) *Logical models and the logic of cones*

I have situated Robb's light cone model in a genealogy of graphic and physical cone models; it includes space-time diagrams physical models in electron theory and mechanics in his early work and work by teachers at Cambridge and Göttingen. Now, any elements of continuity get further complicated by the additional, logical role of the light cone model in 1914. The logical turn is the expression of Robb's engagement with recent trends in the foundations of mathematics that I have documented above, especially after two events: the publication of Young's volume of monographs in 1911, which included one by Veblen and another by Huntington, and the 1912 meeting of the International Congress of Mathematics at Cambridge with the presence of Peano, Padoa, Zermelo and Huntington –the last three speaking at the meeting of the Philosophy Section with Robb's attendance on record. Robb's new axiomatic standard for his space-time geometry included a concern with

the (meta)logical dimensions of axiomatics that the Americans Veblen and Huntington introduced reaching beyond Russell's and Hilbert's work at Cambridge and Göttingen, respectively.

I call a logical model a semantic model or interpretation of symbolic axioms at the service of logical features of an axiom system. Interpretations of sentences make them truth-valued, they become models when they satisfy the sentences or make them truth in that interpretation. The modern understanding of model theory under this term is associated with Tarski, appearing early in his 1935 definition of logical consequence: 'The sentence X follows logically from the sentences of the class K if and only if every model of the class K is also a model [*Modell*] of the sentence X.' (Tarski, 1936/1956: 417).⁵⁷ Tarski was explicit that the concept of model reflected the semantic role in axiom theory:

an arbitrary sequence of objects which satisfies every sentential function of the class L' [of sentential functions] will be called a *model (Modell)* or *realization (Realisierung)* of the class L of sentences (in just this sense one usually speaks of models of an axiom system of a deductive theory). (Tarski, 1936/1956: 417; Tarski, 1936/1986: vol. 2, 279, original italics).

In fact, von Neumann had already introduced the term 'model' (*Modell*) in his paper of 1925 with an axiomatization of set theory. His use adopted the semantic meaning that Veblen and Huntington had associated with sets, systems, classes or assemblages that satisfy a given system of axioms (or rather, in their case, assumptions or postulates): von Neumann presented as equivalent the statements 'to find a system Σ satisfying the axioms' ('*ein System Σ zu finden, welches den Axiomen genügt*') and 'find a model of set theory' ('*ein Modell für die Mengenlehre findet*') (von Neumann, 1925: 235).

Robb used the light cone model—that is, the bi-conic model—in the logical sense, as an interpretation of postulates relevant to proving properties of the system of geometry such as the independence and consistency of its postulates. In 1913 he had followed Veblen's and Moore's criticism of Hilbert's system of Euclidean geometry to criticize the independence of Peano's axioms. Now in 1914 he applied the same standard to prove the independence of the fifth condition of the conic order, about the possibility of events that are neither before nor after each other: 'that [the fifth condition] is in reality no logical consequence of the other conditions may be shown by the help of a geometrical illustration.' (Robb, 1914b: 4). He added: 'We may have two ele-

⁵⁷ Original in Tarski (1936/1986: vol. 2, 278).

ments, of which one is neither before nor after the other, but which yet are not identical, without our being involved in any logical absurdity.' (Robb, 1914b: 6). By the end of the book, Robb seems to have loosened, at least temporarily, his commitment to the absolute value of independence: 'The question as to whether the postulates are all independent is mainly a matter of logical nicety and is of comparatively little importance provided that the number of redundant postulates be not large.' (Robb, 1914b: 370). What is significant is the acknowledgment and application of the new standards of axiomatics.

In the spirit of formalism, he also acknowledged that the status of the model is semantic, interpreting or illustrating the logically basic conditions without replacing them: the 'illustration is suggestive, but the development of our theory is in no logical sense dependent upon it.' (Robb, 1914, 4). The emphasis on illustration and interpretation provide the link between the Cambridge-style methodological type of model and the semantic one. Strictly speaking, as I have noted above, a semantic role is part of the Cambridge tradition of geometrical and mechanical models, but it is embedded in a theoretical framework, without the additional foundational, logical function I draw attention to by referring to logical models (Cat, 2001). The duality of types of models is clearly derivative from the duality of functions.

Another element of continuity between the traditions is terminological. The use of the same term 'model' in both contexts provides a linguistic link between the earlier, physical tradition and the more recent, semantic one in logic and axiomatics. Robb's use in the latter sense is one of the earliest instances of the use of the term with a semantic meaning in the new, model-theoretic sense. He had used it in his dissertation in German, *Modell*, in the mechanical and methodological senses familiar to German audiences mainly from the work of Maxwell and his British followers. The mechanical model of radiating electrons describes a connecting mechanism of interaction and the geometric properties of their constrained motion (here the cone is eventually introduced) (Robb, 1904: 65).⁵⁸ To the illustrating mechanical model, Robb added a visually illustrating graphic representation.

⁵⁸ The distinguishing features of the Cambridge, Maxwellian standard are evident in Robb's introduction of the model: 'Im Folgenden ist ein Modell beschrieben, das eine solche geometrische Verbindung illustriert und das vielleicht von einigem Interesse ist. Selbstverständlich beabsichtigen wir nicht damit zu sagen, daß der Mechanismus dieser Modelle irgend etwas mit dem *wirklichen* Mechanismus, der die Elektronen verbindet, gemeinsam hat.' (Robb, 1904: 65, original italics).

According to Robb, the model with the system of cones provided, an “interpretation”, “visualization” and “clarification” of the fundamental relations of the conic order and other postulates:

Results involving only three coordinates x , y and t may be visualized by means of the three-dimensional conical order described in the introduction, but a certain amount of distortion appears in a model of this kind, since equal lengths in the model do not in general represent equal lengths as we have defined them.

The optical signification of the Posts. I to XVIII are however made clear by such models, and it is easily seen that the assertions made in these postulates, when interpreted in the manner described, are in accordance with the ordinarily accepted ideas.

Post. XXI also finds an interpretation in such a model, but its significance is concerned rather with the logic of continuity than with any observable physical phenomenon. (Robb, 1904: 368-9)

Finally, Robb addressed the model’s (meta)logical role in proving the consistency of the system of postulates:

Of the postulates used: nineteen, namely I to XVIII and Post. XXI, may easily be seen to have an interpretation in three-dimensional geometry by making use of cones as described in the introduction.

It follows that if ordinary geometry be consistent with itself, these nineteen postulates must be consistent with one another. (Robb, 1904: 369).

Robb’s axiomatization of space-time geometry constitutes not only the earliest axiomatic treatment of non-Euclidean physical geometry as a presentation of relativity theory. It was also one of the earliest axiomatizations in physics by the new standards of axiomatics and with attention to its metamathematical or metalogical foundations.

In the succession of models of cones, I have identified dimensions of partial continuity: geometric models, mechanical models (motion of particles and light), graphic models (diagrams) and linguistic labels. In the tangled genealogy, Robb’s shifting use of cones changed from the geometric and mechanical to including the graphic and the logical. In doing so, the evolution tracked his changing commitments and interests engaging related new developments in both physics –electron theory and relativity– and the foundations of mathematics –axiomatics and postulationism.

Conclusion

I have argued that Robb's transition to an axiomatic approach to both geometry and relativity is a synthesis of Cambridge electrodynamics, represented by Robb's mentors Joseph Larmor and J.J. Thomson, and modern foundations of geometry, especially axiomatics, represented by Russell in Britain and, as his references and use of postulates rather than axioms indicate, also by Veblen, Young and Huntington in America. In addition, one may recognize in the synthesis the enabling role of familiar work in geometry, relativity and electrodynamics at Göttingen, especially by Hilbert, Sommerfeld, Minkowski and his dissertation advisor Voigt. The transition to work in space-time geometry and the role of new work in the foundations of mathematics may seem surprising that in the light of his neglected initial research. Here I have documented his subsequent engagement of new foundations of mathematics and argued that its role can be tracked by the evolving use and significance of cone models that I have documented in his different works. The role of foundational movement in Germany, Britain and America explains in turn the evolution of the cone models. It also places his research in seamless contact with physics, geometry, logic and the foundations of mathematics.

References

- BARROW-GREEN, J. & Gray, J.J. (2006). 'Geometry at Cambridge, 1863-1940', *Historia Mathematica* 33, 315-356.
- CAMPBELL, N.R. (1910a). 'The principles of dynamics', *Philosophical Magazine* Ser. 6, 19, 168-81.
- CAMPBELL, N.R. (1911a). 'The common sense of relativity', *Philosophical Magazine* Ser. 6, 21, 502-517.
- CAMPBELL, N.R. (1919). *Physics. The Elements*, Cambridge: Cambridge University Press.
- CARMICHAEL, R.D. (1912). 'On the theory of relativity: Analysis of the postulates', *Physical Review* 35, n.3, 153-176.
- CARMICHAEL, R.D. (1913). *The Theory of Relativity*, New York: John Wiley & Sons.
- CAT, J. (2001). 'On understanding: Maxwell on the methods of illustration and scientific metaphor', *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 33B, n.3, 395-442.

- CAT, J. (2016). *Intellectual Trajectories and Local Interactions: Carmichael and Davis from Mathematics to Relativity and Philosophy at Indiana University in the 1910s and 20s*, Indiana University ms.
- CORCORAN, J. (1980). 'On definitional equivalence and related topics', *History and Philosophy of Logic* 1, 231-4.
- CORRY, L. (1997). 'Hermann Minkowski and the postulate of relativity', *Archive for History of Exact Sciences* 51, n.4, 273-314.
- CORRY, L. (2004). *David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1898-1918)*, Dordrecht: Kluwer.
- CUNNINGHAM, E.C. (1914). 'Letter to the editor: The Principle of Relativity', *Nature* 92, 2331, 454.
- DARRIGOL, O. (2000). *Electrodynamics from Ampère to Einstein*, Chicago: University of Chicago Press.
- DARRIGOL, O. (2014). *Physics and Necessity*, Oxford: Oxford University Press.
- DiSALLE, R. (1993). 'Helmholtz's empiricist philosophy of mathematics: Between laws of perception and laws of nature', in D. Cahan, ed., *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, Berkeley: University of California Press, 498-521.
- FERREIRÓS, J. (2006). 'Riemann's *Habilitationsvortrag* at the Crossroads at Mathematics, Physics and Philosophy', in J. Ferreirós and J.J. Gray, eds., *The Architecture of Modern Mathematics: Essays in History and Philosophy*, Oxford: Oxford University Press, 67-96.
- GALISON, P.L. (1979). 'Minkowski's space-time: from visual thinking to the absolute world', *Historical Studies in the Physical Sciences* 10, 85-121.
- GOLDBERG, S. (1984). *Understanding Relativity: Origin and Impact of a Scientific Revolution*, Boston: Birkhäuser.
- HILBERT, D. (1899). *Grundlagen der Geometrie*, Leipzig: Teubner.
- HOBSON, E.W. & LOVE, A.E.H. (eds.) (1913). *Proceedings of the Fifth International Congress of Mathematicians*, 2 vols., Cambridge: Cambridge University Press.
- HUNT, B.J. (1991). *The Maxwellians*, Ithaca, NY: Cornell University Press.

- HUNTINGTON, E.V. (1902). 'A complete set of postulates for the theory of absolute continuous magnitude', *Transactions of the American Mathematical Society* 3, n.2, 264-79.
- HUNTINGTON, E.V. (1911). 'The fundamental propositions of algebra', in J.W.A. Young, ed., *Monographs on the Topics of Modern Mathematics*, New York: Longmans, Green and Co., 151-210.
- HUNTINGTON, E.V. (1912). 'A new approach to the theory of relativity', *Philosophical Magazine* 23, n.136, 494-513.
- KOX, A.J. (1997). 'The discovery of the electron: II. The Zeeman effect', *European Journal of Physics* 18, 139-44.
- LARMOR, J. (1900). *Aether and Matter*, Cambridge: Cambridge University Press.
- LAUB, J. (1910). 'Über die experimentellen Grundlagen des Relativitätsprinzips', *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 7, 405-463.
- VON LAUE, M. (1911). *Das Relativitätsprinzip*, Braunschweig: Vieweg.
- LENNES, N.J. (1911). 'Review: Edward V. Huntington, *The Fundamental Laws of Addition and Multiplication in Elementary Algebra*', *Bulletin of the American Mathematical Society* 17, n.7, 362-5.
- LEWIS, G.N. & TOLMAN, R.C. (1909). 'The Principle of Relativity, and non-Newtonian mechanics', *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 44, n. 25, 711-24.
- LORENTZ, H.A. (1916). *The Theory of Electrons and Its Applications to the Phenomena of Light and Radiant Heat*, Leipzig: B.G. Teubner.
- MANCOSU, P. (2003). 'The Russellian influence on Hilbert and his school', *Synthese* 137, 59-101.
- MILLER, A.I. (1981). *Albert Einstein's Special Theory of Relativity: emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)*, New York: Springer.
- MINKOWSKI, H. (1909/1911). 'Raum und Zeit', *Physikalische Zeitschrift* 10, 104-111, in *Gesammelte Abhandlungen*, ed. D. Hilbert, 1911, vol. 2, 431-444.
- MINKOWSKI, H. (1915). 'Das Relativitätsprinzip', *Annalen der Physik* 47, 927-38.
- MOORE, E.H. (1902). 'On the projective axioms of geometry', *Transactions of the American Mathematical Society* 3, 142-158.

- VON NEUMANN, J. (1925). 'Eine Axiomatisierung der Mengenlehre', *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 22, 219-40.
- PADOA, A. (1904). 'Un nuovo sistema di definizioni per la geometria euclidea', *Periodico di Matematiche* 1, 74-80.
- PEANO, G. (1889). *I Principii di Geometria Logicamente Esposti*, Torino: Fratelli Bocca Editori.
- PEANO, G. (1894). 'Sui fondamenti della geometria', *Rivista di Matematica* 4, 51-90.
- POINCARÉ, H. (1902). *La Science et l'Hypothèse*, Paris: Flammarion.
- PRESSLAND, A.J. (1892). 'On the history and degree of certain geometrical approximation', *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society* 10, 27.
- PYENSON, L. (1976). 'Einstein's early scientific collaboration', *Historical Studies in the Physical Sciences* 7, 83-123.
- PYENSON, L. (1979). 'Physics in the shadow of mathematics: The Göttingen electron-theory seminar of 1905', *Archive for History of the Exact Sciences* 21, n.1, 55-89.
- ROBB, A.A. (1904). *Beiträge zur Theorie des Zeemaneffektes*, Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- ROBB, A.A. (1905a). 'On the conduction of electricity through gases between parallel plates. Part I', *Philosophical Magazine* Ser. 6, 10, n.56, 237-42.
- ROBB, A.A. (1905b). 'On the conduction of electricity through gases between parallel plates. Part II', *Philosophical Magazine* Ser. 6, 10, n.60, 664-76.
- ROBB, A.A. (1906). 'The revolution of the corpuscle', *Nature* 1892, n. 73, 321.
- ROBB, A.A. (1911). *Optical Geometry of Motion. A New View of the Theory of Relativity*, Cambridge: W. Heffer and Sons.
- ROBB, A.A. (1913a). 'Proof of one of Peano's axioms of the straight line', *The Messenger of Mathematics* 42, 121-3.
- ROBB, A.A. (1913b). 'Note on the proof of one of Peano's axioms of the straight line', *The Messenger of Mathematics* 42, 134.

- ROBB, A.A. (1914a). 'Letter to the editor: The Principle of Relativity', *Nature* 92, 2331, 454.
- ROBB, A.A. (1914b). *A Theory of Time and Space*, Cambridge: Cambridge University Press.
- ROBB, A.A. (1921). *The Absolute Relations of Time and Space*, Cambridge: Cambridge University Press.
- ROUTH, E.J. (1892). *An Advanced Treatise on the Dynamics of Rigid Bodies*, 2 vols., Cambridge: Cambridge University Press.
- RUSSELL, B. (1899). 'Sur les axiomes de la géométrie', *Revue de Métaphysique et de Morale* 7, 684-707.
- RUSSELL, B. (1903). *Principles of Mathematics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- RUSSELL, B. (1905a). 'Review of Henri Poincaré's *Science and Hypothesis*', *Mind* 14, 412-418.
- RUSSELL, B., (1905b). 'On Denoting', *Mind* 56, 479-493.
- RUSSELL, B. (1914). 'The relation of sense-data to physics', *Scientia* 16, 1-27.
- SÁNCHEZ-RON, J.M. (1987). 'The reception of Special Relativity in Great Britain', in T. Glick, ed., *The Comparative Reception of Relativity*, Dordrecht: Reidel, 27-58.
- SCANLAN, M. (1991). 'Who were the American postulate theorists?', *Journal of Symbolic Logic* 56, n.3, 981-1002.
- SCHLIMM, D. (2003). 'Axioms in mathematical practice', *Philosophia Mathematica* (III) 21, 37-92.
- SOMMERFELD, A. (1904). 'Zur elektronentheorie. II. Grundlagen für eine allgemeine Dynamik des Elektrons', *Nachrichten v.d. Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften z. Göttingen* 1904, n.1, 363-439.
- SOMMERFELD, A. (1905). 'Zur Elektronentheorie. III. Ueber Lichtgeschwindigkeits- und Ueberlichtgeschwindigkeits-Elektronen', *Nachrichten v.d. Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften z. Göttingen* 1905, n.3, 201-235.
- SOMMERFELD, A. (1910a). 'Zur Relativitätstheorie. I. Vierdimensionale Vektoralgebra', *Annalen der Physik* 337, n. 9, 749-76.
- SOMMERFELD, A. (1910b). 'Zur Relativitätstheorie. I. Vierdimensionale Vektoranalysis', *Annalen der Physik* 338, n.14, 649-689.

- TARSKI, A. (1936/1956). 'On the concept of logical consequence', *Logic, Semantics, Metamathematics*, Oxford: Clarendon Press, 409-20.
- TARSKI, A. (1936/1986). 'Über den Begriff der logischen Folgerung', in S.R. Givant and R.N. McKenzie, eds., *Alfred Tarski. Collected Papers*, vol. 2, 1935-1944, Boston: Birkhäuser, 269-82.
- THOMSON, J.J. (ed.) (1910). *A History of the Cavendish Laboratory 1870-1910*, Cambridge: Cambridge University Press.
- TOLMAN, R.C. (1910). 'The second postulate of relativity', *Physical Review* Ser. 1, 31, n.1, 26-40.
- TORRETTI, R. (1978). *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*, Dordrecht: Reidel.
- TORRETTI, R. (1983/1996). *Relativity and Geometry*, New York: Dover.
- VEBLEN, O. (1903). 'Hilbert's foundations of geometry', *The Monist* 13, n.2, 303-9.
- VEBLEN, O. (1904). 'A system of axioms for geometry', *Transactions of the American Mathematical Society* 5, n.3, 343-384.
- VEBLEN, O. (1911). 'The foundations of geometry', in J.W.A. Young, ed., *Monographs on the Topics of Modern Mathematics*, New York: Longmans, Green and Co., 3-54.
- VEBLEN, O. & YOUNG, J.W.A. (1910). *Projective Geometry*, 2 vols., Boston: Ginn and Co.
- VOIGT, W. (1887). 'Ueber das Doppler'sche Princip,' *Nachrichten v.d. Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften u.d. Georg-August-Universität z. Göttingen* 1887, n.2, 41-51.
- VOIGT, W. (1896). *Kompendium der theoretische Physik*, 2 vols., Leipzig: Verlag von Veit & Comp.
- VOIGT, W. (1899). 'Weiters zur Theorie der Zeemaneffectes', *Annalen der Physik* 68, 352-364.
- VOIGT, W. (1901). *Elementare Mechanik*, Leipzig: Verlag von Veit & Comp.
- VOIGT, W. (1908). *Magneto- und Elektrooptik* Leipzig: B.G. Teubner.
- WALTER, S. (1999). 'The non-Euclidean style of Minkowskian relativity', in J.J. Gray, ed., 1999, *The Symbolic Universe*, Oxford: Oxford University Press, 99-127.

- WARWICK, A.C. (2003). *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*, Chicago: University of Chicago Press.
- WHITEHEAD, A.N. (1906). *The Axioms of Projective Geometry*, Cambridge: Cambridge University Press.
- WHITEHEAD, A.N. (1907). *The Axioms of Descriptive Geometry*, Cambridge: Cambridge University Press.
- WHITEHEAD, A.N. & Russell, B. (1910-1913). *Principia Mathematica*, 3 vols., Cambridge: Cambridge University Press.
- WINDRED, G. (1933). 'The history of mathematical time: II', *Isis* 20, n.1, 192-219.

Pragmatic Realism*

Hasok Chang**

Abstract

In this paper I seek to articulate and develop Roberto Torretti's advocacy of pragmatic realism. At the core of Torretti's view is a rejection of the notion that the truth of scientific theories consists in their correspondence to the world. I propose to understand correspondence in that sense as a metaphorical notion. I articulate a notion of pragmatist coherence, on the basis of which I make new coherence theories of truth and reality. Then it becomes possible to say that pragmatic realism consists in the pursuit of true knowledge of reality, in a way that is also consonant with Torretti's pluralism.

Keywords: pragmatism, realism, pluralism, coherence, truth, reality

Realismo Pragmático

Resumen

En este trabajo intento articular y desarrollar la defensa que Roberto Torretti hace del realismo pragmático. En el núcleo de la visión de Torretti existe un rechazo a la idea de que la verdad de las teorías científicas consista en su correspondencia con el mundo. Propongo entonces entender la correspondencia como una noción metafórica. Articularé una noción de coherencia pragmática sobre la cual establezco una nueva teoría de la coherencia entre verdad y realidad. En consecuencia, resultará posible afirmar que el realismo pragmático

* Recibido: octubre 2016.

This paper is partly based on a presentation entitled "Pragmatist Coherence as the Source of Truth and Reality," given at the sixth biennial conference of the Society for Philosophy of Science in Practice (SPSP) on 17 June 2016 at Rowan University. It also draws from presentations given at the fifth biennial conference of SPSP on 25 June 2015 at Aarhus University, and the Philosophy Masterclass lectures delivered at Bielefeld University in May 2016.

** Department of History and Philosophy of Science, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom. Email: hc372@cam.ac.uk

consiste en la búsqueda del verdadero conocimiento de la realidad, de un modo que también concuerda con el pragmatismo defendido por Torretti.

Palabras clave: pragmatismo, realismo, pluralismo, coherencia, verdad, realidad.

In his paper “‘Scientific Realism’ and Scientific Practice” Roberto Torretti (2000: 114) advocates a position that he calls “pragmatic realism” following Hilary Putnam. He holds Putnam up as an exemplary philosopher who had sufficient wisdom to allow himself to be dissuaded away from standard scientific realism, to which Putnam had contributed iconically by articulating a popular version of the “no miracles” argument. As Torretti points out, Putnam (1987: 17) mused that he should have used the phrase “pragmatic realism” instead of “internal realism” to designate his mature position on realism.

This appears to be an aspect of Torretti’s work that is very significant yet not widely known. The aim of my paper is to give a brief exposition of pragmatic realism as he has stated, and then to attempt a further development of it. The more elaborated position is my own, and I do not know whether Professor Torretti would agree with its details. However, what I can say with confidence is that my thinking has been significantly influenced by the process of studying his work.

To Torretti it is, in a sense, obvious that realism and pragmatism pull in the same direction, the Latin *res* and the Greek *pragmata* both having the same meaning, namely, “things” (Torretti, 2000: 113). So “pragmatic realism” is in fact a redundant phrase, a pleonasm. Realists are concerned about having correct knowledge of things; so are pragmatists. He states that science is “the continuation of common sense by other means” (*ibid.*, 114-115), reflecting the insistence by John Dewey and other pragmatists that the process of inquiry is continuous from everyday life to the most esoteric branches of science. In all cases, knowledge is about getting on in the world, dealing with our situation in the most effective way possible.

Away from the mirage of correspondence

We live in the world, and knowledge is only meaningful from that perspective within the world. It is a futile and pernicious philosophical dream to find an “external” perspective from which we can tell the real shape of the world. Torretti (2000: 114) blasts the “scientific realists” who believe “that reality is well-defined, once and for all, independently of human action and human thought,” yet “in a way that can be adequately articulated in human discourse.” They hold that science aims to develop “just the sort of discourse which adequately articulates reality — which, as Plato said, ‘cuts it at its joints’ —, and that modern science is visibly approaching the fulfilment of this aim.” He confesses that he finds it difficult “to accept any of these statements or even to make sense of them.”

He suspects, and I agree, that such “realism” is a religious hangover: “The existence of a well-defined or — as Putnam called it — ready-made reality is no doubt implied by the standard monotheistic conception of God, but I have not the slightest ground for thinking that God’s worldview can be articulated in human discourse. To entertain the notion that we could convey that view in words is a symptom of acute provincialism.” Such a view is something that a mature philosophy of science ought to be able to transcend: “it is pragmatic realism, not the nostalgic kryptotheology of ‘scientific realism’, that best expresses the real facts of human knowledge and the working scientist’s understanding of reality.” (*ibid.*, 115) Torretti maintains that “science as it is actually practiced” is not concerned with looking for an “absolute structure” of reality (*ibid.*, 117). He once recalled with pleasure: “During the Winter of 1983/84 I shocked my young Australian friend John Norton when I told him —as we stepped into the elevator of the Pittsburgh Center for the Philosophy of Science— that ‘it is not the business of science to establish beliefs, let alone to deal in them.’ Science is no belief-monger, like the Church.”¹ It is quite apt that this conversation should have taken place at the “Cathedral of Learning” at the University of Pittsburgh!

But there is more than just the hangover of monotheism that promotes the scientific realist’s view of knowledge as correspondence to external reality. I believe that the traditional philosophical idea of scientific theory “representing” the external world is a deep-seated and pervasive metaphor, grounded in other human epistemic activities that are actually representational. Suppose we see an object and make a drawing of it; here we can say straightforwardly that the drawing represents the object. We can check how well it represents the

¹ Roberto Torretti to Hasok Chang, private communication, 26 September 2012.

object by comparing how the object looks and how the drawing looks. We have direct access to both, and we can easily compare them with each other.² This is not at all the kind of situation when we talk about the relation between a theory and the world. We have no direct access to “the world”, if by that we mean things-in-themselves or noumena in Kantian terminology. And if something is not *presented* to us in the first place, we cannot re-present it.

The very idea of the “external world” is a metaphor (outside of what?), grounded in the phenomenal objects that we observe and make representations of. As Ian Hacking says (1983: 141–142), the notion of reality is “parasitic upon our practices of representation.”³ The external world is a metaphor created by imagining that there must be something that a theory represents, even when we haven’t made the theory by actually representing anything we know. After the mental creation of the metaphorical *object*, the rest of the metaphorical structure follows easily: the theory *represents* the imagined object, through some sort of *correspondence* between various aspects of the theory and various imagined properties of the imagined object. This metaphorical correspondence is the elusive “truth” sought by scientific realists.

I dare to think that the main message I am trying to convey is as simple as the Emperor of the well-known fairytale wearing no clothes: if the state of the world is completely independent of humans, then we cannot have any access to it; the common talk of representing-the-world and correspondence-to-the-world is metaphorical, not literal. Numerous eminent philosophers, such as Immanuel Kant, Ernst Cassirer, and the Vienna Circle have made similar points. The pragmatists were quite explicit in their objection to the “copy theory” of knowledge. Here is a memorable statement from William James (1978 [1907]: 96):

The popular notion is that a true idea must copy its reality. Like other popular views, this one follows the analogy of the most usual experience. Our true ideas of sensible things do indeed copy them. Shut your eyes and think of yonder clock on the wall, and you get just such a true picture or copy of its dial. But your idea of its ‘works’ (unless you are a clock-maker) is much less of a copy, yet it passes muster, for it in no way clashes with reality. Even tho

² For the purpose of this paper, the dictionary meaning of “metaphor” is good enough: “a figure of speech containing an implied comparison, in which a word or phrase ordinarily and primarily used of one thing is applied to another” (*Webster’s New World Dictionary*, 1991).

³ I thank Rasmus Winther for alerting me to this statement from Hacking.

[sic] it should shrink to the mere word ‘works,’ that word still serves you truly; and when you speak of the ‘time-keeping function’ of the clock, or of its spring’s ‘elasticity,’ it is hard to see exactly what your ideas can copy.

Clarence Irving Lewis (1929: 162) was equally emphatic, and more concise: “Knowledge does not copy anything presented. It proceeds from something given toward something else. When it finds that something else, the perception is verified.”

The notions of representing-the-world and correspondence-to-the-world serve as serious obstacles in the philosophical understanding of scientific practices. Metaphors often do have useful functions to serve, but these particular metaphors have done more harm than good. The concepts of the external world, representation and correspondence, as they normally occur in philosophical discussions, are not only metaphors, but *dead* metaphors — that is a technical term referring to metaphors that are so ingrained in our way of talking that they are routinely mistaken as literal expressions.⁴ For example, as George Lakoff and Mark Johnson point out, we say that the temperature of a room is going “up” and that we are feeling “down” today, as if there were something inherently vertical about warmth or sadness. We may do harm by taking a metaphor literally, like the people who declared the so-called “war on drugs” and began to behave as if they were conducting a real war.⁵ Now, in some scientific and quotidian situations dead metaphors may serve as useful blinkers. But it is difficult to imagine situations in philosophy in which lack of awareness would be beneficial. In philosophy, I would argue, metaphors are only useful if they are employed consciously.

The representational metaphors I am speaking of here seem not only dead, but also *un-dead*: it seems impossible to kill them, no matter how many eminent philosophers attempt to do so. They continue to project the mirage of transcendental truth that science must seek, providing standard scientific realism with its seemingly inexhaustible intuitive fuel. The metaphors of representation and correspondence concerning the world have led to a perversion of the notions of something being “true” or “real.” These notions are perfectly meaningful in the phenomenal realm of representing and

⁴ See Bowdle and Gentner (2005). *Wikipedia* defines it as follows: “A dead metaphor is a figure of speech which has lost the original imagery of its meaning due to extensive, repetitive, and popular usage generally the result of ... the literalization of a metaphor.”

⁵ Another problem with dead metaphors is that they no longer serve the creative and exploratory functions of metaphors, discussed by Mary Hesse (1996) and Gerald Holton (1986) among others, which require awareness that the expression in question is not literal.

intervening, and they should stay in that realm. We need to look away from the correspondence theory of truth, and look instead to J. L. Austin and “how to do things with words” (1962). Then a statement being true will mean that it passes all the tests of correctness that we can apply, as when you say: “Is it true that there is an airport in Cambridge?” (There is.) We know exactly how to answer that question, and how to double-check the answer as needed. As Putnam (1995: 10) put it succinctly, paraphrasing William James: “Truth... must be such that we can say how it is possible for us to grasp what it is.”

Pragmatist coherence

We can retool the notions of truth and reality so that they become operable; thereby we can reclaim these key concepts for the use of people who are actually engaged in the production and improvement of empirical knowledge. At the heart of the reorientation I am proposing is the notion of *pragmatist coherence*.

What I mean by pragmatist coherence is not what epistemologists usually mean by “coherence”. In the most simple-minded version of the coherence theory of truth, coherence is taken to mean mere logical consistency within a set of statements. This is nothing short of a philosophical disaster, an invitation to vicious circularity and the most problematic kind of relativism; it eliminates any inherent link between knowledge and reality. James O. Young (2015) notes that a more plausible version of the coherence theory “states that the coherence relation is some form of entailment. . . . Another more plausible version . . . is that coherence is mutual explanatory support between propositions.” A similar thought to Young’s latter formulation is expressed by Richard Foley (1998: 157): “Coherentists deny that any beliefs are self-justifying and propose instead that beliefs are justified in so far as they belong to a system of beliefs that are mutually supportive.” But the problems of circularity and relativism remain in the idea of propositions rendering one another true by mutual support without anything else to ground any of them.

What I propose instead is a re-vitalized pragmatist notion of “coherence”, implicit in John Dewey’s theory of knowledge, which is irreducible to logical relations-between statements. *I define (pragmatist) coherence as a harmonious fitting-together of actions that leads to the successful achievement of one’s aims*. Such coherence may be exhibited in something as simple as the correct coordination of bodily movements needed in riding a bicycle, lighting a match, or walking up the stairs (very difficult to achieve, as we have learned in contemporary robotics), or something as complex as the successful

integration of a range of material technologies and various abstract theories in the operation of the global positioning system (GPS). A coherent epistemic activity achieves its aim well, and avoids performative self-contradiction. When we do not heed the sign that warns “watch/mind your step”, that rare moment of stumble reminds us how carefully and how well we normally maintain the coherence of our bodily movements in everyday life without even thinking about it.

Pragmatist coherence pertains to an activity, not to a set of propositions. It is defined in relation to the aims of the activity in question. Coherence is the chief characteristic of a successful activity; in fact, coherence and success are pretty much synonymous (though I also want to leave open the possibility of conceiving coherence as the cause of, or the explanation for, success). It should go without saying that pragmatist coherence cannot be achieved by wishful thinking or mere interpersonal agreement. In order to do things successfully in the world, we need to have an understanding or mastery of our surroundings. It is pragmatist coherence, not the mirage of correspondence, that is the vehicle through which the mind-independent world is brought to bear on our knowledge. Pragmatist coherence carries within it the constraint by nature. In fact, having cleared away the ungrammatical illusion of a direct correspondence between proposition and reality, we can see that pragmatist coherence is the only way in which reality can enter knowledge, the only way in which reality can bear on our practices. (This is also part of the definition of “reality”, as we will see.)

To help us think about pragmatist coherence, I propose that we take Neurath’s boat, literally: “We are like sailors who have to rebuild their ship on the open sea, without ever being able to dismantle it in dry-dock and reconstruct it from the best components.” (Neurath, 1983 [1932/33]: 92) This is usually taken as a splendid coherentist metaphor for the fitting-together of propositions. But let’s try seeing the boat, or rather boat-fixing, as a particular situation illustrating the nature of pragmatist coherence. Is the boat sufficiently water-tight? Can it be made tighter by piecemeal engineering? The “coherence” of what we do with the boat here is not conceived in an absolute way, as logical consistency would be. Rather, it is defined with respect to a very particular purpose, namely keeping the boat afloat.

A new coherence theory of truth

If coherence is the property of an activity, how does it relate to truth, which is the property of a statement or a proposition? This is a significant and difficult question, but let me at least provide a sketch of an answer. The “pragmatic theory of truth” attributed to James is widely regarded as absurd, and this has contributed greatly to the unpopularity of pragmatism among tough-minded philosophers. Here is probably the most notorious statement by James (1978 [1907]: 106): “*The true', to put it very briefly, is only the expedient in the way of our thinking, just as 'the right' is only the expedient in the way of our behaving. Expedient in almost any fashion . . .*”

I think James’s choice of the word “expedient” here was unfortunate, sounding too much like mere “convenience” or “usefulness”. Possibly, the word had quite a different connotation back then; that is for real James scholars to debate. What I want to do is propose a different formulation, in terms of my notion of coherence: *A statement is true in a given circumstance if (belief in) it is (necessarily) involved in a coherent epistemic activity.* What I mean by an “epistemic activity” is a set of mental or physical operations that are intended to contribute to the production or improvement of knowledge in a particular way, in accordance with some discernible rules.⁶

The epistemic activity involved in the definition of truth does not have to be that of explicit theory-testing. Sometimes a true statement is explicitly verified; other times its truth consists in its involvement in other kinds of successful activities. One thing to note is that if truth is defined in terms of coherence, it has to be a matter of degree, and I think that is right. And the truth of a statement acquired in one epistemic activity may be extended through involvement in other coherent epistemic activities; therefore truth is a matter of scope as well as degree.

The statement quoted above from James actually continues as follows, which tends to confirm my reading of him: “. . . and expedient in the long run and on the whole of course; for what meets expediently all the experience in sight won’t necessarily meet all farther experiences equally satisfactorily. Experience, as we know, has ways of *boiling over*, and making us correct our present formulas.” The last bit of James’s statement actually fits very well with my notion that pragmatist coherence is the only way in which reality gives input into our knowledge. And this gives coherentist truth the mind-

⁶ For further discussion of epistemic activities (and also what I call *systems of practice*), see Chang (2014). It may not be necessary to specify the activity in question as epistemic, but it would be a reasonable restriction to make within the philosophy of science.

independence that realists value most in correspondence truth, while it is an “internal” notion meaningful within a system of practice, not without it. Such a conception of truth easily allows plurality while avoiding arbitrariness.

There is one part of my definition that will definitely raise some worries: belief in a statement may be involved in a coherent activity in a superfluous way (in a way reminiscent of the tacking paradox or the Gettier problem). How do we solve this problem of impostor propositions? There is no magic solution. As Clarence Irving Lewis (1930: 14) put it in his review’s of John Dewey’s *The Quest for Certainty*: “Salvation is through work; through experimental effort, intelligently directed to an actual human future.”

That is to say, in testing the truth of a proposition, we need to check for (pragmatist) necessity: can the coherence of the activity be maintained, can the aims of the activity still be achieved, if we negate the proposition is question? For example, we can work with Maxwell’s equations while denying that the ether exists, so we can argue that belief in the existence of the ether is superfluous in relation to the coherence of the activity of solving Maxwell’s equations, even though it was not superfluous in Maxwell’s original activity of model-building which led him to the equations in the first place. Checking for pragmatic necessity is nothing more grand than Mill’s method of difference. It may not live up to some overblown image of a philosophical solution, but it is how we get on in science, and in the rest of life, too.

A quick illustration of how this pragmatist coherentist notion of truth works out may be useful. Take the proposition that is perhaps the most important in the history of organic structural chemistry in the 19th century: “Carbon has valency 4,” meaning that it was capable of forming 4 bonds with other chemical units (atoms or radicals). This statement was involved in the successful working-out of numerous molecular structures. It was also involved in the understanding and execution of substitution reactions; for example, it was possible to make a body of methane gas (CH_4) absorb a volume of chlorine gas and emit an equal volume of hydrogen gas, turning the methane into chloromethane (CH_3Cl). Such a substitution could be made four times in total, in the end yielding carbon tetrachloride (CCl_4). Such successes, it is fair to say, constitute the truth of “Carbon has valency 4.” But this truth was a limited one. We know, for example, that the structure of carbon monoxide remained a mystery for a long time. Even carbon dioxide was not trivial to understand, but it could be accommodated by saying that the carbon atom formed a *double* bond with each of the two oxygen atoms it was combined with ($\text{O}=\text{C}=\text{O}$), thereby using up all of its 4 bonding-potentials. But it was not clear at all how carbon monoxide (CO) could be understood.

My new coherence theory of truth is ultimately indistinguishable from James's pragmatist theory of truth freed from misunderstandings. According to this conception, if our use of a theory has led to successful outcomes and not as a result of any strange accident or coincidence as far as we can see, then we can and should say, modestly and provisionally, that the relevant statements made in this theory are "true" — in the same sense as we say that it is true that rabbits have whiskers and live in underground burrows. This "truth" is operational and verifiable. It is the same thing as empirical confirmation, taken in a broad sense. It is achievable, to various degrees, and its pursuit is clearly useful.

A coherence theory of reality

So far I have been speaking loosely about "reality", and it is now time to give a more precise pragmatist characterization of that notion. In a similar way to how I have defined truth, pragmatist coherence can also ground an operative notion of reality. The easiest way to see this is to start with Ian Hacking's "entity realism": "If you can spray them, then they're real." (Hacking, 1983: 23) He adds: "One can believe in some entities without believing in any particular theory in which they are embedded." (*ibid.*, 29)

Concepts enabling successful investigations deserve our realist confidence. I propose a *coherence theory of reality*: *a putative entity should be considered real if it is employed in a coherent epistemic activity that relies on its existence and its basic properties (by which we identify it)*. This notion of reality (or real-ness) might be written with a lowercase "r" in order to distinguish it from the idea of "Reality" that denotes the whole "world", or some transcendent existence. Like truth in my pragmatist coherentist conception, "small-r" reality comes in different degrees, and is defeasible, as it is based on coherence.⁷

There is an obvious objection to Hacking-type stance, which is actually a blessing in disguise: might we not misunderstand our experiments, presuming that some non-existent entity is involved in it? This seems to have happened with some regularity in the history of science. For example, Joseph Priestley claimed to be able to manipulate *phlogiston*, and one cannot deny that most of his numerous experiments were successful. In the 1770s he made an attempt to "de-phlogisticate" air by reducing a calx (rust) back into metallic form in an enclosed space; the air in that space would give up its phlogiston to the

⁷ C. I. Lewis (1929: chapter 7) employed this device of distinguishing "Reality" and "reality" for similar purposes.

calx, restoring its metallic nature. This seemed to work out, as he obtained a gas that supported combustion exceptionally well; air deprived of its phlogiston would be eager to absorb phlogiston from a combustible substance (which is combustible precisely because it contains plenty of phlogiston that can be removed). This is how Priestley first made the gas that was later dubbed “oxygen” by Antoine Lavoisier. In a less ambiguous experiment, he predicted that a calx could be reduced by heating in inflammable air (later called hydrogen), which he conceived as pure phlogiston. This experiment succeeded brilliantly. Did Priestley’s successes mean that he and his contemporaries should have granted reality to phlogiston? In short, my answer to that question is yes.⁸

William Herschel’s discovery of infrared radiation in 1800 supplies a simpler example, though not as satisfyingly outrageous.⁹ Having used a prism to make a rainbow-like spectrum from the sunbeam, Herschel found that a thermometer inserted into the dark space beyond the red end of the spectrum detected a good deal of heating effect. According to our modern understanding, Herschel discovered that low-frequency electromagnetic radiation is not detectable by the eye but has a heating effect. That is not how Herschel and many of his contemporaries saw his achievement: they thought that he was using a prism to separate out the rays of caloric (Lavoisier’s substance of heat) and the rays of light in the sunbeam. In that interpretation, Herschel successfully directed caloric rays onto the thermometer to raise the temperature. If this doesn’t qualify as “spraying,” I don’t know what does.

I will invoke just one more example, which is quite well-known. Not only a great deal of theoretical explanations but numerous experimental interventions in modern chemistry rely on the concept of orbitals and on the detailed knowledge of the number and shapes of various types of atomic and molecular orbitals. But orbitals inhabited by individual electrons have no reality if we take quantum mechanics literally, since all electrons are identical and they cannot be said to occupy different orbitals within a given atom or molecule. Yet, it makes sense to attribute reality to orbitals, on the basis of the successful chemical practices employing them.

Now, don’t these cases just amount to a refutation of Hacking’s view on realism and my definition of reality, since we know that phlogiston, caloric, and orbitals aren’t real? But this response is question-begging: how *do* we know that such entities are not real? On the other hand, why do we think

⁸ See Chang (2012: chapter 1) for a detailed discussion of the phlogiston case.

⁹ See Chang and Leonelli (2005) for details on this case.

anything is real? In this context Hacking (1983: 189), with unlikely help from George Berkeley's *A New Theory of Vision*, points out that even our normal 3-D vision concerning "medium-sized dry goods" is only acquired through a conjunction of the senses of vision and muscular tension (involved in moving around and picking things up); Berkeley also reminds us that focusing at various distances involves muscular tension in the eye. What this suggests is that our intuition about reality at the most basic level is based on coherence: in this case, a harmonious convergence of different modalities of sensation in the course of our daily lives.¹⁰

In a similar way, phlogiston within its domain of successful use is as real as tables-and-chairs and cats-and-dogs are in our daily lives. At the basis of this assessment is the notion of pragmatist coherence. Let's consider more carefully what it really means to say "X is real." In a previous publication (Chang, 2012: chapter 4) I saw "Reality" as nature itself, something mind-independent, something that can resist our attempts to deal with it in some particular way that we might prefer. But this sense of "Reality" is like the Kantian thing-in-itself, about which we can and should say nothing. I also advanced a doctrine of "active realism," which is a commitment to learn as much as possible about Reality. But that makes no sense if Reality itself is something one can't say anything about. So I was talking nonsense.

When Hacking says that positrons are real, or when I say phlogiston is real, the sense of it is that a specific *part* or aspect of that unspecified overall Reality is somehow being captured in our conception. And this parsing-out of Reality is crucial in any kind of cognitive activity. If we cannot identify sensible parts (or aspects) of nature, we cannot say anything intelligible, make any kind of analysis, or engage with nature in any specific and directed way. So we have no choice but to worry about whether we are able to do the parsing well.¹¹ But how can we ever tell whether we have done it correctly? Again, "salvation is through work" — we can never be absolutely sure, but we check, double-check, and try checking in new domains of phenomena.

¹⁰ Richard Held (1965) conducted experiments that seemed to show that normal vision failed to develop when kittens were deprived of muscular activity moving themselves around.

¹¹ So, in a sense, a kind of entity realism is prior to any truth-realism one might hope for.

Pluralism and pragmatic realism

The criterion of coherence rules out many things, but also rules in many things. In the absence of what else we might operationally mean by “real”, and with the recognition that this concept of reality is not something we can do without, we should have the courage to admit that a lot of different kinds of things are real, even if the concepts pointing to them belong to mutually incommensurable systems of practice. So here I end with a modest sort of metaphysical pluralism.

This is in line with pragmatic realism in Torretti’s rendering, which comes with a distinctly pluralist flavor. And he is not alone. Israel Scheffler (1999) has made a plea for a pluralist realism, which he calls “plurealism”. John Dupré (1993) has advocated a “promiscuous realism”. And as Putnam (1987: 21) reminds us, there is a much longer and very respectable pedigree of “ontological relativity”:

Quine has urged us to accept the existence of abstract entities on the ground that these are indispensable in mathematics, and of microparticles and space-time points on the ground that these are indispensable in physics; and what better justification is there for accepting an ontology than its indispensability in our scientific practice? he asks. Goodman has urged us to take seriously the metaphors that artists use to restructure our worlds, on the ground that these are an indispensable way of understanding our experience. Davidson has rejected the idea that talk of propositional attitudes is ‘second class’, on similar grounds.

Professor Torretti, while commenting very favorably on my 2012 book *Is Water H₂O?*, chided me for not going strongly against metaphysical monism: “I regret that you do not clearly and emphatically chastise . . . the assumption that ‘reality’ consists of one definite set of bits, that there is one and only one ‘correct’ way of cutting up the unstopping flow of phenomena into bits. Indeed, if there were such a unique set of well-defined and not further and diversely analyzable bits, one might reasonably expect each bit to carry just one truth.”¹² Metaphysical pluralism, of course, is an important counterpart to epistemological pluralism. I aspire to do better in this regard in my future work, starting with the present paper.

Torretti argues that “the way that scientific theories succeed and displace one another provides strong grounds for doubting the scientific realist’s belief

¹² Roberto Torretti to Hasok Chang, private communication, 26 September 2012.

that science is getting ever closer to achieving an adequate grasp of the self-subsisting, uniquely defined structure of reality.” He particularly draws our attention to “the manner in which conceptually disparate theories are jointly brought to bear on the understanding of specific phenomena and the solution of particular problems.” (Torretti, 2000: 117) As often is the case, Torretti’s inspiring examples come from modern physics, yet they give us insights that are not normally taken from modern physics.

In the first of the two cases that Torretti highlights, Stephen Hawking worked out the “evaporation” of black holes by applying the notion of quantum tunneling to them. This was a very successful move, but not a credible one if seen from the monist realist point of view. Hawking successfully pulled together certain specific aspects of general relativity and quantum mechanics with no guarantee that the two theories could be unified or even reconciled with each other on the whole. Torretti says (2000: 117): “Hawking’s work on evaporating black holes ... combines disparate theories, I dare say, outrageously.” In the second case, Torretti challenges the received wisdom on the great success of the general theory of relativity in explaining the perihelion shift of mercury (*ibid.*, 118-119). Applying Newtonian theory, with no regard to general relativity, accounted for the shift of 530” per century. The remaining 43” per century was obtained from a solution of the general relativistic field equation, but in reaching that solution “the relativists simply ignored the 530” secular precession.” In Torretti’s analysis, this amounted to “bringing to bear on [the problem] two conceptually very different theories, irreconcilable in God’s eye”. Such cases abound in modern scientific practice, as Sandra Mitchell (2003) has stressed in support of her doctrine of “integrative pluralism” arising from her study of complex biological systems.

When the pragmatist coherentism sketched here is fully developed, people committed to a realistic understanding of scientific practice will be able to re-claim the notions of truth and reality, which are actually useful terms in ordinary language as well as scientific discourse.¹³ This will help us in the task of making detailed and systematic studies of scientific practice while not dispensing with concerns about truth and rationality. I take inspiration from Kant’s view of the “Copernical Revolution” that he saw himself making in philosophy (Kant, 1933 [1781]: 22/B xvii): “If intuition must conform to the constitution of the objects, I do not see how we could know anything of the latter *a priori*; but if the object must conform to the constitution of our faculty of intuition, I have no difficulty in conceiving such a possibility.” In a similar

¹³ I plan to articulate this perspective in detail in a book entitled *Realism for Realistic People*.

way, we may say in relation to pragmatist coherentism concerning truth and reality: it is not that our activities are coherent because our theoretical entities are real and our theoretical propositions are true; rather, we regard as real and true the entities and statements that underpin coherent activities.

References

- AUSTIN, J. L. (1962). *How to do things with words*. Oxford: Clarendon Press.
- BOWDLE, B. F. & GENTNER, D. (2005). "The career of metaphor". *Psychological Review*, 112, 193-216.
- CHANG, H. (2012). *Is water H₂O? Evidence, realism and pluralism*. Dordrecht: Springer.
- CHANG, H. (2014). "Epistemic activities and systems of practice: Units of analysis in philosophy of science after the practice turn". In L. Soler, S. Zwart, M. Lynch, & V. Israel-Jost (Eds.), *Science after the practice turn in the philosophy, history and social studies of science* (pp. 67-79). London and Abingdon: Routledge.
- CHANG, H. & LEONELLI, S. (2005). "Infrared metaphysics: The elusive ontology of radiation (part 1)". *Studies in History and Philosophy of Science*, 36, 477-508.
- DURPÉ, J. (1993). *The disorder of things: Metaphysical foundations of the disunity of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- FOLEY, R. (1998). "Justification, epistemic". In E. Craig (Ed.), *Routledge Encyclopedia of Philosophy* (vol. 5, pp. 157-165). London: Routledge.
- HACKING, I. (1983). *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HELD, R. (1965). "Plasticity in sensory-motor systems". *Scientific American*, 213 (5), 84-94.
- HESSE, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- HOLTON, G. (1986). "Metaphors in science and education". In G. Holton, *The advancement of science, and its burdens* (pp. 229-252). Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- JAMES, W. (1978 [1907]). *Pragmatism and The meaning of truth*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- KANT, I. (1933 [1781]). *The critique of pure reason*, 2nd ed. Trans. by N. Kemp Smith. London: Macmillan.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- LEWIS, C. I. (1929). *Mind and the world-order: Outline of a theory of knowledge*. New York: Dover.
- LEWIS, C. I. (1930). [Book review] "The quest for certainty: A study of the relation of knowledge and action [by] John Dewey". *The Journal of Philosophy*, 27, 14-25.
- MITCHELL, S. D. (2003). *Biological complexity and integrative pluralism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NEURATH, O. (1983 [1932/33]). "Protocol Statements". In R. S. Cohen, & M. Neurath (Eds.), *Philosophical papers 1913-1946* (pp. 91-99). Dordrecht: Reidel.
- PUTNAM, H. (1987). *The many faces of realism*. Chicago and La Salle: Open Court.
- PUTNAM, H. (1995). *Pragmatism: An open question*. Oxford: Blackwell.
- SCHEFFLER, I. (1999). "A Plea for Pluralism". *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 35, 425-436.
- TORRETTI, R. (2000). "'Scientific realism' and scientific practice". In E. Agazzi & M. Pauri (Eds.), *The reality of the unobservable* (pp. 113-122). Dordrecht: Kluwer.
- YOUNG, J. O. (2015). "The coherence theory of truth". In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*. <http://plato.stanford.edu/entries/truth-coherence/>.

La gran antinomia^{*}

José Ferreirós^{}**

Resumen

Se plantea y discute una “gran antinomia” entre concepciones teoreticistas o fundacionistas, y concepciones pragmatistas, en relación con una amplia diversidad de enfoques científicos y/o filosóficos. Ilustramos este contraste de manera especial con el concepto de tiempo y algunas consideraciones en torno a los ‘negacionistas’ del tiempo, guiados por visiones teoreticistas.

Palabras clave: teoreticismo, pragmatismo, fundacionismo, concepto de tiempo, atemporalidad.

The Great Antinomy

Abstract

We formulate and discuss a “great antinomy” between theoreticist/foundationist conceptions and pragmatist conceptions, in relation to a wide diversity of scientific and/or philosophical approaches. The contrast is illustrated in particular with the concept of time, considering the ‘timelessness crowd’ that has been guided by a theoreticist vision.

Keywords: Theoreticism, Pragmatism, Foundationism, concept of time, timelessness.

^{*} Recibido: octubre 2016.

^{**} Universidad de Sevilla. Sevilla, España. Email: josef@us.es

Mi primer encuentro con la obra de Roberto Torretti debió ser hacia el año 1989, cuando estudiaba asuntos de filosofía de la geometría con vistas a entender la obra de Riemann.¹ Como es natural, utilicé su gran obra sobre el desarrollo de la geometría y su filosofía entre Riemann y Poincaré: un libro sumamente informativo, escrito de manera muy rigurosa. Desde entonces he tenido muchas ocasiones de consultar trabajos suyos y he disfrutado enormemente con la combinación de erudición histórica, penetración filosófica, rigor científico y estilo de escritura, que hacen sus obras inconfundibles y llenas de interés.

Cuando el prof. Redmond y la RHV me invitaron a escribir para este número especial de homenaje a Torretti, se me ocurrió un buen número de posibles temas ligados a cuestiones que Torretti ha estudiado con interés: la noción del continuo y sus cambios; el papel de la matemática en la construcción simbólica de (nuestra imagen de) la realidad; la tradición conjuntista y los enfoques semánticos en filosofía del lenguaje, de la verdad y de la ciencia. Pero al final decidí descartarlos, a pesar del interés que me despiertan.

Me gustaría dedicar este brevísimo trabajo a exponer un contraste que me parece decisivo, y en el que creo que Torretti se situaría decididamente a mi lado. Tanto es así, que sospecho que él sería más radical que yo, y seguramente pueda parecerle a Don Roberto un tanto superfluo dedicar unas páginas a comentar la oposición que voy a discutir. Y sin embargo, en mi experiencia la posición de la Tesis que discuto abajo —que cabe denominar fundacionista o cartesiana, o incluso ontoteológica— sigue demasiado viva y presente tanto entre filósofos como entre científicos. Es teniendo esto en cuenta que me animo a publicar esta Antinomia, cuya idea debió venirme a la cabeza a mediados de los años 2000 y quedó entonces registrada en un breve documento de una sola página.

La visión fundacionista de la Tesis, típica de algunos científicos teóricos, se contrapone a la Antítesis, que cabría denominar pragmatista en el sentido de Peirce. Se puede afirmar también que la 1ª tiene una impronta científicista, mientras que la 2ª sería más bien “humanista” en el sentido habitual de este término. Creo compartir con Torretti —y no sólo con él: pienso en Putnam, en Hacking— la idea de que, en el desarrollo de las reflexiones filosóficas durante los últimos dos siglos, la Tesis ha quedado claramente desfasada, en especial después de las rupturas introducidas por Peirce, Wittgenstein y Heidegger (el de 1927) durante la primera mitad del siglo XX. Pero somos

¹ Solo he llegado a conocerle con ocasión de ser nombrado Doctor honoris causa por la Universidad Autónoma de Barcelona, en 2005; aproveché entonces la ocasión para encontrarme en vivo con un filósofo al que admiro.

conscientes también de que en filosofía casi nada muere: siempre hay un buen número de profesionales del gremio dispuestos a insistir en ideas del pasado, sean las que sean.

TESIS: **visión fundamentista**

El mundo tal como lo experimentamos y nuestras estructuras mentales se explican como producto de cuerpos teóricos altamente desarrollados.

Eslogan: *La lógica avanzada está en la base de nuestras mentes; la matemática avanzada está en la base del mundo.*

La visión expuesta en la TESIS es coherente con una larga línea de pensamiento que incluye a Llull, Leibniz, Frege, quizá Turing, y numerosos matemáticos (¿posiblemente Grothendieck?). No somos directamente conscientes de esas teorías básicas, pero podemos hacernos conscientes gracias al desarrollo de la ciencia. Hacernos conscientes de ellas es desvelar lo oculto y acceder por vez primera a la auténtica estructura del mundo. Es el ideal del primado de la teoría, una visión de tendencia reduccionista, a la vez que idealizante.

ANTÍTESIS: **visión pragmatista**

Los cuerpos teóricos altamente desarrollados de las matemáticas, la lógica y la física son producto de nuestras estructuras cognitivas, que a su vez son parte del mundo.

Eslogan: *La lógica avanzada es un producto intelectual y cultural sofisticado; la matemática avanzada no se limita a reflejar el mundo físico.*

La imagen de la ANTÍTESIS es coherente con algunos resultados de ciencias como la psicología cognitiva o la antropología, con la insistencia en las prácticas concretas, y con pensadores como Hume, Peirce, Wittgenstein, Putnam. Según esto, las teorías son sólo medios, instrumentos para la predicción y la explicación, y por buenas que resulten nunca pueden reemplazar a la realidad concreta a través de la cual las ponemos a prueba. Las teorías son simplificaciones y como tales nunca pueden aspirar a desvelar lo más profundo de la realidad. Es el ideal del primado de la praxis, una visión no reduccionista que pone énfasis en la complejidad de los fenómenos y en lo concreto.

Quizá algún lector considere que la visión que propongo como Tesis es tan radical que no tendrá ningún representante de carne y hueso. Probablemente el mejor ejemplo de que no es así nos lo dan una serie de físicos teóricos que han llegado a negar la realidad del tiempo. Son físicos que afirman que

el tiempo es sólo una apariencia, mientras que lo realmente existente es una variedad abstracta, atemporal y multidimensional.² La temporalidad de los fenómenos es un aspecto tan esencial y básico de nuestra experiencia, que resulta sumamente llamativo encontrar cómo el desarrollo de ciertas teorías puede haber conducido a negarlo. Es una profunda paradoja que haya quién niega el tiempo en nombre del conocimiento científico: pues la temporalidad está presupuesta en toda acción, incluyendo aquellas acciones que conforman las prácticas experimentales de la ciencia; y sin experimentación, sin datos empíricos, no hay verdad científica. (Richard Feynman decía, simplificando al máximo, que el experimento es la única fuente de verdad; pero aunque reconozcamos que las cosas son más complejas, en su idea hay un núcleo de verdad incontrovertible) (Feynman, Leighton & Sands 1963: 1).

La cuestión del tiempo es una de esas que inevitablemente plantean dificultades filosóficas, en torno a las cuales pueden surgir conflictos entre ciencia y filosofía. Torretti mismo ha expresado su opinión de que la teoría física ha demostrado ser incapaz de lidiar con la temporalidad del presente. En el *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia*, voz ‘tiempo’, se lee que “la fugacidad del presente resulta intratable para una ciencia matemática” (Mosterín & Torretti, 2010: 597) y se insiste en que la física moderna, que “recoge y concierta admirablemente” varios aspectos clave de la noción de tiempo, “no da cabida” al aspecto más fenomenológico, ligado al suceder y al devenir, a la acción concreta y a nuestra vida práctica.

Ejemplo de la negación del tiempo son Julian Barbour (con su conocido libro *The end of time*, 1999) o Carlo Rovelli; en relación a gente como ellos, algún autor ha llegado a hablar de “the timelessness crowd.” Es famoso que el propio Einstein, aparentemente, llegó al final de su vida a ideas similares. Tras la muerte de su amigo y colaborador Michele Besso en 1955, Einstein escribió a su familia una carta de pésame donde decía: “Now he has departed from this strange world a little ahead of me. That signifies nothing. For those of us who believe in physics, the distinction between past, present and future is only a stubbornly persistent illusion.” (Speziali 1979). Pero esta conclusión no se sigue de la imposibilidad de dar un sentido absoluto a la noción del “ahora” en el contexto de la Relatividad.

Un problema clave en todos estos autores es que conceden mayor realidad a los modelos teóricos que manejan que a las experiencias —fuente de los datos— a las que remiten las ecuaciones teóricas. Al hacer esto, más o menos

² En 1952, en su libro *Relativity*, Einstein escribe lo siguiente a propósito de una discusión del Mundo de Minkowski: “Since there exists in this four dimensional structure [el espacio-tiempo] no longer any sections which represent “now” objectively, ... [i]t appears ... more natural to think of physical reality as a four dimensional existence, instead of, as hitherto, the evolution of a three dimensional existence.” (Einstein, 2001: 152).

conscientemente, se sitúan del lado de nuestra Tesis: piensan que el mundo tal como lo experimentamos y nuestras propias estructuras mentales se deben entender —de manera casi exclusiva— como producto de cuerpos teóricos altamente desarrollados.

Para un pragmático, esa visión es producto de un fetichismo de la representación teórica. No podemos comprender, ni mucho menos elaborar, la lógica ni las matemáticas ni los modelos físicos sin un largo proceso educativo y formativo; no son algo preexistente en la mente de Dios, ni en el fondo de las mentes humanas, sino productos del conocimiento: tampoco son un mero reflejo del mundo —como sugería la imagen del conocimiento en la Edad Moderna, la teoría de las ideas— sino un espejo en el que reflejamos el mundo, quizá deformándolo.

Si se me permite acudir a ciertas metáforas fundacionales del pensamiento científico moderno, la cosa quizá se aclara algo más. La idea de que el mundo físico es un trasunto de ciertas fórmulas matemáticas simples, y sumamente generales, tiene su origen en la imagen medieval del Dios geómetra o Sumo Arquitecto (que todavía está detrás de la famosa cita de Galileo sobre el gran Libro de la Naturaleza escrito en caracteres geométricos). El pragmático contraponería a esa imagen la idea de que las formulaciones matemáticas son como mapas, que ciertamente nos permiten movernos con más agilidad y certeza en la complejidad de los fenómenos. Ligada a aquella idea del mundo diseñado matemáticamente por el Creador está la visión de que nuestras mentes o almas —*our glassy essence*, nuestra esencia de cristal, como dijera Peirce— dan lugar a un reflejo puro y transparente de los fenómenos tal cual son. Pero, ¿y si no hay reflejo puro y transparente, sino que toda cognición es síntesis? En tal caso, no debemos retroproyectar los productos del conocimiento humano, por excelentes que sean, en una hipotética estructura de base en los niveles profundos de la mente o de la *physis*.

Referencias bibliográficas

- BARBOUR, Julian (1999). *The End of Time: The Next Revolution in Our Understanding of the Universe*. Oxford: Oxford University Press.
- EINSTEIN, Albert (2001). *Relativity. The Special and the General Theory*. London: Routledge.
- FEYNMAN, R.P. & LEIGHTON, R.B. & SANDS, M. (1963). *The Feynman Lectures on Physics*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- MOSTERÍN, Jesús & TORRETTI, Roberto (2010). *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia*. 2da Edición. Madrid: Alianza Editorial.
- SPEZIALI, P. (ed.) (1979). *Albert Einstein, Michele Besso: Correspondance: 1903-1955*. Paris: Hermann.

Carta abierta: acerca del mundo, los mundos y el papel de la filosofía*

Olimpia Lombardi**

Resumen

Esta carta abierta es el resultado del intenso intercambio epistolar que he mantenido con el Prof. Torretti durante muchos años, y a través del cual me he enriquecido ampliamente en el pensar filosófico. Aquí señalo nuestros acuerdos en la adopción de una perspectiva de inspiración kantiana, y en el reconocimiento del papel que juega la dimensión pragmática en la ciencia. No obstante, nos distanciamos en cuanto al peso que le adjudicamos al realismo en nuestras posturas. Estas discusiones con el Prof. Torretti me permitieron explicitar mi modo de vivir la filosofía como praxis filosófica, dirigida a enfrentarme con ciertos aspectos del modo en que actualmente se hace ciencia.

Palabras clave: Realismo pluralista, mundo de la vida cotidiana, dominios ontológicos en ciencia, esquema conceptual, modelos, praxis filosófica.

Open Letter: About the World, the Worlds and the Role of Philosophy

Abstract

This open letter is the result of the intense epistolary exchange I had with Prof. Torretti for many years, which has highly enriched my philosophical thought. Here I point out our agreement in adopting a Kantian perspective, and in the acknowledgement of the role played by the pragmatic dimension in science. However, we drift apart regarding the weight assigned to realism in our positions. These discussions with

* Recibido: junio 2015.

** Universidad de Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
Email: olimpiafilo@fibertel.com.ar

Prof. Torretti led me to make explicit the way in which I live philosophy: as a philosophical praxis directed to struggle against certain aspects of contemporary science.

Keywords: Pluralist realism, the world of everyday life, ontological domains in science, conceptual scheme, models, philosophical praxis.

Introducción

No es fácil participar de un homenaje al Profesor Roberto Torretti. Por un lado, la responsabilidad me abruma un poco. Pero, por el otro, son tantas las cosas que tengo para decir que es difícil decidir cómo empezar y cómo organizarlas. Y es que desde hace muchos años vengo manteniendo con él un extenso intercambio de ideas, sobre todo por vía epistolar, intercambio que no sólo me ha enseñado muchísimo, sino que me ha abierto la mente para pensar desde nuevas y originales perspectivas. Por eso guardo celosamente en mi computadora (y en mis back-up's) los múltiples e-mails intercambiados, así como sus documentos en pdf llenos de globitos amarillos con observaciones que muchas veces valen más que un -buen- libro de filosofía.

Así me encontraba, entonces, enfrentándome al síndrome de la hoja en blanco, agravado por la responsabilidad de la tarea, cuando tuve una idea. En lugar de escribir un artículo tradicional, que nunca lograría hacer justicia al homenajeado, decidí escribir una carta que recogiera, de algún modo, nuestras discusiones epistolares. En una suerte de diálogo implícito, entonces, intentaré expresar mi postura frente a los desafíos que la potencia del pensamiento de Torretti fue imponiendo a mis ideas originales. Trataré de mostrar cómo, sobre un fondo de importantes acuerdos filosóficos, se fueron filtrando desacuerdos que me obligaron a pensar y repensar cuestiones centrales, desde la noción de mundo hasta el papel actual de la filosofía y el sentido de mi propia actividad filosófica.

Claro está que no voy a incluir otras citas más que las que provienen de los escritos publicados por el Profesor Torretti. Por lo tanto, en muchos casos responderé siguiendo mi propia interpretación de sus comentarios. Espero no distorsionar demasiado su pensamiento. De todos modos, incluso mediando involuntarias distorsiones, lo cierto es que mis intercambios con el Profesor Torretti han sido y continúan siendo un ingrediente central de mi crecimiento filosófico.

Carta abierta

Querido Profesor Torretti:

Muchas gracias por sus comentarios acerca de nuestro libro¹: Ana Rosa y yo nos sentimos muy honradas por sus opiniones positivas y nos pone muy contentas comprobar los puntos de contacto entre nuestras posiciones.

1. Encuentros relativistas y pragmáticos

Creo que coincidimos en adoptar una perspectiva de inspiración kantiana², que rechaza el compromiso del realismo metafísico con un mundo “ya hecho”, conformado por objetos autosubsistentes y autoidentificantes, realismo que supone, además, la posibilidad de conocer dicho mundo tal como es en sí mismo, aunque sólo sea de manera aproximada. Como usted bien dice: “*Los realistas científicos 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*”³. Esta forma de realismo viene desmentida por la propia actividad científica. No sólo las propiedades y el comportamiento de las entidades estudiadas por la ciencia dependen del marco conceptual implícito en una teoría, sino también la propia existencia de esas entidades. Tan dependiente es la respuesta a ‘¿cómo es lo que hay?’ como lo es la respuesta a ‘¿qué es lo que hay?’.

A diferencia del empirismo, que privilegia el ámbito de lo observable, el realismo que, siguiendo a Putnam⁴, denominamos ‘internalista’ adopta una posición “democrática” respecto de cualquier tipo de entidades: todo objeto, en tanto objeto de conocimiento, está conceptualmente constituido, incluyendo las entidades más directamente observables. Estoy segura de que usted concuerda en que lo observable también depende de la teoría. En otras

¹ Olimpia Lombardi y Ana Rosa Pérez Ransanz, *Los Múltiples Mundos de la Ciencia*, 2012.

² Roberto Torretti, “Conocimiento discursivo”, 2005; “Objectivity: a Kantian perspective”, 2008.

³ “Scientific realism and scientific practice”, 2000. V.e. “El realismo científico y la ciencia como es”, 2007, p. 81.

⁴ Hilary Putnam, *Reason, Truth and History*, 1981.

palabras, la posesión de un marco conceptual, junto con los compromisos ontológicos que conlleva, son *condición de posibilidad de la contrastación empírica*.

Si bien un marco conceptual no es algo pasible de ser verdadero o falso, no cualquier marco es igualmente “bueno”. Aquí nos hacemos eco del énfasis que usted siempre ha puesto en la praxis científica. En efecto, en su devenir histórico, la ciencia desarrolla una gran diversidad de prácticas, tanto teóricas como experimentales, a través de las cuales no sólo se consolida una teoría exitosa, sino también el marco conceptual sobre el que la teoría se asienta. Es ese marco conceptual el que interviene en la constitución del dominio al cual la teoría refiere. Se recupera así la intuición básica acerca del papel primordial que tiene la acción humana en la formulación, evaluación y estabilización de nuestras creencias sobre el mundo, y en particular de las teorías científicas.

El rechazo al realismo metafísico no se restringe a las ciencias naturales, sino que también alcanza al conocimiento histórico. Los enunciados formulados gramaticalmente en tiempo pasado resultan verdaderos o falsos en el esquema conceptual presente: el pasado existe única y exclusivamente como *pasado del presente*. O como usted mismo lo expresa de manera insuperable: *“todo juicio se afina en las vivencias, conceptos y valoraciones actuales -lo cual, por cierto, conferiría al presente una autoridad tiránica insoportable si no fuese que infalible e incesantemente se convierte en pasado”*⁵.

Este realismo internalista y pragmático desemboca de manera natural en una postura anti-reduccionista cuando se consideran las relaciones entre teorías científicas y entre los dominios a los cuales éstas refieren. El supuesto metafísico de que existe un nivel ontológico fundamental y privilegiado no encuentra sustento en el análisis diacrónico ni el análisis sincrónico de las teorías científicas. La temperatura de un gas *no es* la energía cinética media de sus moléculas: la temperatura es aquello que, en el marco de la termodinámica, se mide con termómetros, que mantiene ciertas relaciones con la presión y el volumen, que se uniformiza siguiendo una ley definida, etc.; y ninguno de estos hechos requiere de una ontología subyacente para constatarse y establecerse como realmente existente. Supongo que usted coincidirá en que renunciar al reduccionismo no implica renunciar por completo al ideal de unificación en ciencias, si bien bajo una idea de unificación más flexible; una idea que se inscribe en la perspectiva abierta por Otto Neurath, cuando

⁵ “Inventar para entender”, 2012.

argumenta que la ciencia no se orienta hacia un sistema único, sino que procede mediante sistematizaciones locales, por lo cual tiene un carácter plural y siempre incompleto.

2. Disensos terminológicos (¿sólo terminológicos?)

Hasta aquí he comentado las coincidencias. Pero también agradezco profundamente sus críticas, porque me han hecho repensar cuestiones que, irreflexivamente, me parecían claras y no problemáticas.

En primer lugar, usted critica el uso que hacemos en nuestro libro de la palabra ‘ontología’ para referirnos a aquello a lo cual una teoría refiere. Considera que el uso es abusivo no sólo por la cantidad de veces que aparece en el texto, sino también porque es un término que originalmente significa “estudio del ente o de los entes”. Desde mis primeros escritos sobre el tema usé ese término porque creía que con él desalentaría las lecturas meramente epistémicas de los realistas en su búsqueda de la “verdadera” realidad. Pero es cierto que, como usted sugiere, podría haber hablado de una realidad constituida o relativa a una teoría y su marco conceptual, pero insistiendo en que es la única realidad objeto de conocimiento. También podría usar la expresión ‘dominio óntico’, que tal vez le resulte más ilustrativa por sus reminiscencias matemáticas.

Otra expresión que veo no le ha gustado es ‘esquema conceptual’, en el sentido de sistema de conceptos y/o categorías. Y creo que no le ha gustado porque parece referir a un marco completo y cerrado. Por eso me propongo ‘tinglado conceptual’, ya que es algo que se arma y desarma y se utiliza frecuentemente a medio armar; y que también puede desecharse después de usado, como la escalera de Wittgenstein. Me gusta la propuesta, si bien temo que habrá un número de filósofos hispanoparlantes que no sepan exactamente qué es un tinglado.

Tal vez lo que a usted le molesta de los términos ‘ontología’ y ‘esquema conceptual’ son sus “resonancias” de universalidad. Pero en nuestro caso se usan en un sentido “local”, tanto desde un punto de vista histórico, como en un mismo momento del desarrollo de la ciencia. Por ejemplo, en nuestros días conviven múltiples dominios ónticos (ontologías) y, correspondientemente, múltiples tinglados (esquemas) conceptuales, incluso en el seno de la propia física: hay un dominio mecánico-clásico, un dominio relativista general, un dominio termodinámico, habría un dominio mecánico-cuántico si lográramos ponernos de acuerdo con su interpretación, etc. Los físicos que se ocupan de

las diferentes teorías trabajan con dominios ónticos diferentes, si bien eso no significa que tales dominios no tengan nada en común: algo deben compartir la mecánica clásica y la relatividad general para que se puedan, al menos en principio, predecir los mismos hechos empíricos en ambas.

Creo que es en este sentido local del trabajo científico que puede decirse que, por ejemplo, los físicos que trabajan en teorías diferentes “viven en mundos distintos”. En nuestro libro nosotras usamos la palabra ‘mundo’ de un modo que permite la multiplicidad de mundos (el mundo aristotélico, el mundo de la mecánica clásica, el mundo de la termodinámica, el mundo de nuestro sentido común, etc.). No obstante, ya me parece escuchar su exclamación: “Pero Olimpia, ¡el *mundo* es siempre *global*!”, en consonancia con su conocido disgusto respecto de la expresión kuhniana. Quien nos escuchara podría pensar que se trata de un disenso puramente terminológico, que podría subsanarse si encontráramos un término mejor que ‘mundo’ o si, sencillamente, agregáramos a la palabra los subíndices ‘G’ y ‘L’ (‘global’ y ‘local’) para regocijo de los filósofos analíticos. Pero me parece que hay algo más, que hay un desacuerdo conceptual subyacente a la cuestión terminológica: veamos si me equivoco.

3. Desencuentros en el mundo de la vida cotidiana

Para nosotras, todos los dominios ontológicos, tanto los de la vida cotidiana como los de la ciencia, son dependientes de algún tinglado conceptual y, en principio, poseen el mismo rango ontológico; no existe un dominio privilegiado, un estrato fundante o fundamental respecto de los restantes. Yo sé que, desde su fuerte antifundacionismo, en principio usted simpatizará con esta postura. Sin embargo, ha sido muy claro al afirmar que la vida del intelecto, y aun la de la práctica de laboratorio, presuponen la vida cotidiana integral, donde nos hacemos problema por nuestros hijos (si sabré de eso...), sacamos fotos a nuestros nietos, y comemos sandwiches de jamón y palta (aguacate, para Ana Rosa). Como usted explica claramente en *Creative Understanding*: “Ninguna teoría física reivindica una comprensión global de la realidad. El físico que sustituye una teoría por otra sigue viviendo en el mismo vecindario, trabajando en el mismo instituto, conduciendo cada día por el mismo viejo camino entre ellos, de un lado al otro, mientras reflexiona acerca de la política de su país, o los humores de sus hijos adolescentes, o las fallas de su automóvil, a la luz de los mismos conceptos sociales, morales y de bajo nivel mecánico que usaba antes. El dictum de Kuhn de que «después de una revolución los científicos viven en mundos diferentes» es una pieza de

*retórica vacía, o bien un malentendido acerca de la naturaleza y los alcances de las teorías físicas*⁶. Aquí es claro el alcance global que para usted tiene la palabra ‘mundo’. Pero no sólo eso: creo que lo que se manifiesta es que, entre aquellos dominios que nosotras consideramos con el mismo estatuto ontológico, para usted hay uno privilegiado, que es el de la vida cotidiana. Así como para algunos el lenguaje natural es el nivel lingüístico último, el metalenguaje de todos los lenguajes, el mundo de la vida cotidiana brinda para usted el escenario común donde despliegan sus papeles los diferentes dominios de la ciencia.

Para nosotras, en cambio, *nuestro* mundo cotidiano es un mundo, pero no *el* mundo. Es un mundo bastante distinto del aquél del pequeño pueblo de Sicilia donde nació y vivió hasta hace poco mi abuela materna. Para sus habitantes más ancianos, muchos completamente analfabetos y con creencias místicas muy fuertes, el parentesco, la muerte, y hasta el espacio y el tiempo son completamente diferentes de los nuestros: todos los que emigraron viven en un lugar indeterminado que se llama “*l’America*”, no importa si se instalaron en Chicago o en Buenos Aires; la primera vez que estuve allí, la gente me confundía con mi madre, quien había dejado el pueblo con la edad que yo tenía entonces pero 40 años antes... Y si estas diferencias se pueden dar entre culturas occidentales y actuales, tengo que admitir que el quiebre puede ser mucho más profundo aún entre comunidades más alejadas culturalmente y/o históricamente. El monje benedictino del siglo XI no hacía casi nada de lo que hacemos hoy, y la mayoría de las cosas que él hacía ya no las hacemos nosotros; su realidad estaba poblada de entidades inobservables que no existen en nuestra realidad, y viceversa. Imaginémonos transportados a un monasterio cluniacense; supongo que ni siquiera físicamente podríamos resistir: nuestros propios estómagos no resistirían la comida, ni nuestros huesos el frío, ni nuestras narices los olores. Esto es lo que nos lleva a admitir la diversidad de realidades constituidas por los tinglados conceptuales y las prácticas de cada comunidad no sólo en el ámbito de la ciencia, sino en todo ámbito humano.

En otras palabras: el mismo argumento por el cual afirmamos que hay diferentes dominios ónticos en la ciencia, tanto diacrónicamente (el dominio aristotélico, el newtoniano, etc.) como sincrónicamente (el dominio de la mecánica clásica, del electromagnetismo, etc.), nos obliga a admitir la multiplicidad de realidades constituidas no-científicas. De ahí se desprenden nuestras afirmaciones acerca de la “democracia” entre los diferentes *mundos*, no sólo

⁶ *Creative Understanding*, 1990, p. 79.

los de la ciencia sino también los del sentido común. En este sentido somos *relativistas*, y así nos ven con espanto muchos filósofos de la ciencia tradicionales, más horrorizados aún aquéllos que creen que es la ciencia la que descubre la “verdadera” realidad.

4. Desencuentros en el ámbito de la ciencia

Si nuestros primeros desencuentros se manifiestan respecto del mundo cotidiano, no es de sorprender que se extiendan al ámbito de la ciencia. Usted considera que nosotras no nos hemos deshecho suficientemente del bagaje cartesiano, y quizás hartmanniano, con el que nos cargaron en la escuela. Y esto es así porque, a su modo de ver, ni la ciencia ni la filosofía crítica están en el negocio de cultivar concepciones del mundo: *“Llego a esta conclusión cuando veo la forma cómo teorías discrepantes se aplican conjuntamente en la consideración de ciertos fenómenos y en la solución de ciertos problemas”*⁷. Como ejemplos nos ofrece los cálculos de la trayectoria de Mercurio, que utilizan simultáneamente mecánica clásica y relatividad especial, y el estudio de Hawking sobre la evaporación de agujeros negros, que *“combina descaradamente teorías incompatibles”*⁸ como la relatividad general y la mecánica cuántica.

Sin duda, los ejemplos están inmejorablemente elegidos: las cosas sucedieron exactamente como usted dice. Sin embargo, me parece que disintimos respecto del valor que les adjudicamos. Para usted, estos casos son constitutivos de la propia actividad científica, que no se ocupa de brindar una visión consistente de lo real, sino de describir fenómenos y resolver problemas de un modo eficiente. Pero, creo, con ello se pierde el ingrediente central del realismo, para virar hacia una concepción más instrumental de la ciencia. La perspectiva realista que defiende, en cambio, no puede integrar la inconsistencia como algo natural o propio de la ciencia. Considero que el realismo exige, al menos, admitir que la actividad teórica y práctica de la ciencia está destinada a dar cuenta de algún dominio de lo real, y para ello la coherencia es un elemento irrenunciable. Las situaciones en las cuales teorías incompatibles se combinan descaradamente existen, sin duda, pero no suelen ser vistas por los científicos como constitutivas de su actividad, sino como limitaciones provisorias que se disipan con el aumento de la potencia de cálculo o que se resolverán con nuevos desarrollos teóricos.

⁷ “El realismo científico y la ciencia como es”, p. 81.

⁸ *Ibid.* p. 91

En definitiva, para el realismo al que adhiero, la actividad científica construye modelos que integran teorías incompatibles cuando no se cuenta con algo mejor; pero siempre se preferirán las descripciones basadas en una manera coherente de concebir lo real. Claro que esto no significa que el objetivo de la ciencia sea brindar una cosmovisión global y omniabarcante. Desde mi perspectiva pluralista, la práctica científica nos ofrece diferentes visiones no integrables en una cosmovisión única; pero cada una de ellas es consistente en sí misma en la medida en que refiere a un dominio óntico: en ello reside el ingrediente realista de mi posición.

5. Esquemas, teorías y modelos

Esta diferencia entre una aproximación más instrumental a la ciencia y una más realista adquiere una nueva manifestación en el modo en que concebimos los modelos en ciencias.

Cuando discutíamos acerca de la noción de *mundo*, usted señaló que los modelos de masas puntuales para representar el sistema solar formaban parte del dominio óntico de la mecánica celeste del siglo XIX, poblada precisamente por masas puntuales y fuerzas gravitatorias entre ellas. Sobre esta base, usted razonablemente concluye que ‘realidad constituida’ significa algo distinto de ‘mundo’: en el siglo XIX nadie vivía en un “mundo” de masas puntuales. Sin embargo, si no comprendí mal, esta conclusión requiere suponer que los modelos son o intervienen en la constitución de los diferentes dominios ónticos de la ciencia. Y aquí nuestras posiciones volverían a divergir.

Para mí existe una diferencia esencial entre *dominio óntico* y *modelo*. El dominio óntico es esa realidad constituida por el tinglado conceptual que subyace a una cierta teoría; pero para aplicar la teoría el científico se vale de un modelo, que es un sistema conceptualmente construido que media entre dicha teoría y la realidad constituida. El científico tenderá a usar el modelo más sencillo hasta que ya no le sirva. Por ejemplo, tal vez se pueda modelizar una pelota de fútbol como una masa puntual para explicar un penalty, pero tal modelo no sirve para explicar un gol olímpico, que exige concebir la pelota como un cuerpo rígido girando en su desplazamiento a través del aire. Pero no diría que ambos modelos son distintos dominios ónticos: ambos se usan para representar una misma realidad constituida, como lo es la de la mecánica clásica, “habitada” por cuerpos que chocan y se deforman en mayor o menor medida, cuerpos que orbitan unos respecto de otros, materiales que pueden transmitir ondas transversales, fluidos donde pueden producirse ondas longitudinales, etc. Pero en esta realidad no existen las ondas electromagnéticas,

y cuando Maxwell intentó demostrar que tales ondas también “habitaban” el dominio de la mecánica clásica, ya que no eran más que vibraciones mecánicas del éter, no le fue nada bien (si bien no es necesario que siempre sea así). En el ámbito mecánico-clásico, puedo modelizar el gas contenido en un recipiente como un gas de Lorentz (partículas puntuales que, por tanto, sólo chocan con las paredes del recipiente pero no entre sí), o puedo ir complejizando el modelo considerando las partículas con un cierto volumen para que choquen elásticamente entre sí, o puedo adjudicarles un coeficiente para que su choque sea plástico y se deformen, etc.; pero en todos estos casos se trata de modelos que median entre mi teoría (mecánica clásica) y el dominio óptico mecánico-clásico, donde no existe la temperatura, que sí habita en el dominio de la termodinámica⁹.

Volviendo a su ejemplo de la mecánica celeste del siglo XIX, yo diría que se trabajaba en la realidad constituida de la mecánica clásica (donde no existen fuerzas eléctricas ni magnéticas, ni ondas electromagnéticas, ni calor ni temperatura, ni reacciones químicas, etc.), utilizando un cierto *tipo de modelos*, que trataba los planetas como masas puntuales. Pero si se le preguntara a un físico de la segunda mitad del siglo XIX acerca de lo existente, no creo que respondiera que en la realidad había masas puntuales. No obstante, la mayoría de los físicos de la época seguramente habría negado la existencia del calor y de las ondas electromagnéticas como entidades diferentes del mero movimiento de partículas o de medios mecánicos.

Son, entonces, los esquemas o tinglados conceptuales los que intervienen en la constitución de los dominios ópticos, no los modelos. Los modelos intervienen en la aplicación de una teoría, mediando entre la propia teoría y la realidad previamente constituida, donde ‘previamente’ debe entenderse en un sentido lógico y no temporal. En efecto, es claro que, desde un punto de vista histórico-genético, en el proceso de consolidación de una teoría con su tinglado conceptual, en general no se pueden diferenciar como momentos distintos la constitución de la realidad, la formulación de una teoría y la utilización de cierto o ciertos modelos que funcionan como los referentes paradigmáticos de la teoría. Pero esto no cancela la diferencia conceptual entre los tres niveles: el tinglado conceptual es el que interviene en la constitución del dominio óptico, la teoría se refiere a dicho dominio -y puede haber muchas teorías, incluso contradictorias, que hablen de la misma realidad-, y

⁹ Desarrollé esta visión de los modelos científicos en algunos trabajos como “La noción de modelo en ciencias”, 1998, “Los modelos como mediadores entre teoría y realidad”, 2010 y “Acerca del modo en que la ciencia refiere a lo real: el papel de los modelos”, 2012 (en colaboración).

los modelos son sistemas conceptualmente contruidos que se utilizan para ciertos fines particulares. Por lo tanto, siempre hay múltiples modelos en la aplicación de una misma teoría científica, pero -en caso de tener pretensiones representacionales- todos ellos *representan parcialmente* la misma realidad constituida: no pueden representar aquello que en esa realidad no existe (no hay modelo de ondas electromagnéticas viajando en el vacío en la realidad constituida por la mecánica clásica). No obstante, los científicos no creen que aquello a lo cual los modelos *refieren* sea la realidad (constituida o no), sino que consideran que los modelos refieren a construcciones conceptuales que “viven” en sus propias cabezas y en sus propias prácticas. Dicho en palabras sencillas: en la realidad constituida por el tinglado conceptual de la mecánica clásica existen los planetas del sistema solar, pero no las masas puntuales del modelo de masas puntuales, aun si sólo pudiera aplicarse la teoría al sistema solar a través del modelo de masas puntuales.

Todo lo antedicho supone que los modelos de algún modo representan lo real. Pero actualmente hay una tendencia a considerar que la representatividad no es condición para que un modelo sea tal: diversos autores ponen ejemplos de modelos que no pueden resultar representativos en la medida en que contradicen la teoría sobre la que parcialmente se basan¹⁰ o integran teorías incompatibles¹¹. Este sería el caso de los modelos de evaporación de agujeros negros propuestos por Hawking que usted menciona. De este modo, incluso un realista puede aceptar que los modelos son puramente instrumentales, si bien suponiendo que las teorías intentan describir algún dominio de lo real.

Desde esta perspectiva, concibo tres formas posibles de cambio científico, que ordenaré desde la más a la menos conservadora. Consideremos el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley:

- La primera estrategia, y la más conservadora, es mantener la teoría (y con ello, la realidad constituida) y cambiar el modelo. En el caso considerado, se intentó modelizar el éter de modo que pudiera producir un “viento” capaz de dar cuenta del resultado negativo.
- La segunda estrategia es menos conservadora. Si el primer camino no funciona porque no se encuentra un modelo tal que, al aplicarle la teoría, brinde resultados empíricamente adecuados, el científico opta por intentar el cambio de teoría, pero preservando el mismo tinglado de

¹⁰ Ver, e.g., Mauricio Suárez y Nancy Cartwright, “Theories: tools versus models”, 2008.

¹¹ Ver, e.g., Hernán Accorinti y Juan Camilo Martínez González, “Acerca de la independencia de los modelos respecto de las teorías: un caso de la química cuántica”, 2016.

categorías y conceptos, o sea, manteniéndose en el marco del mismo dominio óntico. Esto es factible porque se pueden formular diferentes teorías sobre la base de un mismo tinglado conceptual, esto es, referidas a una misma realidad constituida. Éste sería un cambio teórico no revolucionario. En nuestro caso, ésta fue la alternativa de Lorentz y FitzGerald.

- La tercera estrategia es la menos conservadora, es la “revolucionaria”, y consiste en cambiar el propio tinglado de categorías y conceptos y, con él, la realidad constituida. En el ejemplo histórico considerado, ésta es la opción de Einstein. Esto no significa que ambos tinglados no tienen nada en común (no significa que ambas realidades no comparten nada), porque si así fuera no podríamos siquiera entender por qué se admite que, en algunos casos, teorías que refieren a dominios ónticos diferentes pretenden resolver los mismos problemas. Pero esto no cancela el hecho de que dichas teorías nos hablan de realidades constituidas diferentes.

En definitiva, desde mi punto de vista existe una diferencia central entre modelo, teoría y tinglado conceptual-realidad constituida. Un sustrato categorial-conceptual, en tanto interviene en la constitución del dominio óntico, es mucho más estable que las diferentes teorías que pueden formularse sobre su base. A su vez, una teoría científica es mucho más general y estable que los múltiples modelos que se usan en su aplicación: los modelos median en la relación entre teoría y realidad constituida; tienen un papel instrumental ya que se los utiliza para fines específicos y son los primeros elementos que los científicos están dispuestos a abandonar en caso de desajustes empíricos. La distinción entre estos tres conceptos es muy importante para mí, por razones que quedarán claras más abajo.

6. ¿Para qué la filosofía?

Hace ya varios años, participé en SADAF¹² de un homenaje a Eduardo Rabossi un tiempo después de su inesperado fallecimiento. Uno de los oradores, español y filósofo analítico, presentó una fuerte reflexión acerca del “para qué” del trabajo filosófico, en un ejercicio en el que asumía que la filosofía (principalmente la analítica) tiene un desarrollo endogámico con poca comunicación con el “afuera” de la propia actividad específica. La charla fue

¹² Sociedad Argentina de Análisis Filosófico, Buenos Aires.

bastante movilizadora para todos los presentes. Sin embargo, yo no me sentí particularmente afectada, porque tiendo a vivir la filosofía como praxis filosófica. Siempre digo que intento hacer, no filosofía *de* la ciencia, sino filosofía *para* la ciencia: creo que la reflexión filosófica puede ayudar a los científicos, no a convertirse en filósofos, sino a hacer mejor ciencia en la medida en que les permite reflexionar acerca de lo que hacen, y eso estimula el pensamiento crítico y la creatividad. Esto, por supuesto, se basa en mi convicción de que la actividad científica es una actividad humana valiosa que debemos promover. Es por ello que considero esencial para el filósofo de la ciencia el contacto con científicos, y siempre intento participar en cursos y charlas para estudiantes de grado y posgrado en ciencias.

El caso es que, desde que me enfrento a doctorandos y algunos jóvenes doctores en ciencias que asisten a mis cursos, me di cuenta de qué sucede con esta gente inmersa en el trabajo científico cotidiano. Casi en su totalidad, estos jóvenes fueron y siguen siendo educados en la idea de la “verdad verdadera”¹³, en la visión de una ciencia que corre el velo de la realidad para descubrirla tal como es de una vez y para siempre. Estos jóvenes (al menos los que pueden “liberarse” lo suficiente como para asistir a cursos o charlas de filosofía), sin embargo, se dan cuenta de que la práctica de su propia disciplina no responde a esa imagen ingenua, y así comienza el desarrollo de una crisis interna que muchos nunca podrán superar.

Es muy frecuente que en la facultad de ciencias o en conferencias a las que asisten jóvenes científicos aparezca algún sociólogo de la ciencia o filósofo posmoderno que sostiene que la ciencia no es más que mera negociación entre individuos que buscan su promoción en la carrera académica, o que todo es discurso y no hay nada detrás de las palabras. Y estos chicos, desilusionados de la “verdad verdadera”, compran este discurso relativista del “todo vale lo mismo”, que se da de patadas con su actividad científica cotidiana, en la cual pasan meses tratando de resolver una ecuación o tienen que ir a la facultad los fines de semana a alimentar a los organismos que estudian en el laboratorio. El resultado es pura esquizofrenia y frustración, que en algunos casos los afecta psicológicamente de una manera profunda: ya no saben para qué hacen lo que hacen.

En este marco, el relativismo no-salvaje que tratamos de delinear con Ana Rosa, basado en ciertas intuiciones kantianas, está teniendo una muy buena

¹³ Ver “Ciencia provisoria”, firmado por “Maestro Ciruela”, quien finalmente se reconoció como el editor en jefe del órgano difusión de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

recepción en el ámbito de la ciencia. Sin duda nuestro enfoque tiene muchas aspectos por discutir y pulir, pero ya actualmente está mostrando sus frutos en esto que llamo “praxis filosófica”. Porque nuestro realismo pluralista les permite a los jóvenes científicos y proto-científicos descartar de una vez por todas la idea de la “verdad verdadera”, sin que ese movimiento los conduzca a un relativismo “salvaje” que priva de todo sentido sus esfuerzos, tanto teóricos como experimentales. Pueden acomodar sus intuiciones relativistas (que, si bien borrosas, las tienen) en un contexto en el cual la actividad científica de “preguntar” a ese algo que está fuera de ellos mismos interviene en la construcción del conocimiento. Mi sueño, que seguro no veré, es que algún día esos jóvenes puedan llegar a posiciones institucionales que les permitan promover una actividad científica más rica y reflexiva que la que actualmente se desarrolla en las facultades de ciencias, al menos en la Argentina.

Ahora bien, hay una tercera posición, ortogonal a las de “la verdad verdadera” y del “todo vale lo mismo”, que es la postura “superada” del instrumentalismo extremo: es la de aquellos científicos que miran a la filosofía con indulgencia en el mejor de los casos, y en el peor con desprecio. Ellos “saben” que la ciencia no requiere ninguna reflexión filosófica puesto que su único objetivo es la predicción y el control. Entonces, como para ellos todo lo científico es instrumental, es tan instrumento lo que yo llamo ‘teoría’ como lo que yo llamo ‘modelo’. La actividad científica se reduce a construir modelos con fines exclusivamente prácticos.

Creo que era Nagel quien decía, acerca del instrumentalismo en relación con los llamados términos teóricos de la ciencia, que finalmente ser instrumentalista o realista es una cuestión puramente filosófica que no afecta al propio desarrollo científico. Sea que esté reconstruyendo bien o no esta idea, me permito disentir con ella. Creo que el instrumentalismo que lleva a pensar que todo es modelo, que cancela la diferencia entre teoría y modelo, le hace mucho mal a la propia ciencia, en particular a la física. Actualmente, una enorme proporción del trabajo de los físicos teóricos consiste en postular modelos, describirlos (matemáticamente las menos de las veces, mediante simulaciones numéricas por computadora casi siempre), y publicar un *paper* con los resultados numéricos obtenidos. En sí mismo esto no está mal, pero inquieta cuando se comprueba que es aquello en lo que se invierte la mayor parte del esfuerzo científico, bajo el supuesto de que eso es hacer física teórica: claro, cuando ya todo es modelo, la actividad teórica no es más que la actividad de hacer modelos. El resultado es una superpoblación de trabajos totalmente insignificantes, que no hacen más que repetir lo ya publicado con leves modificaciones.

Esto lo he vivido en carne propia. Junto a Mario Castagnino (con quien trabajé hasta su retiro, un par de años atrás) y Sebastián Fortin (actualmente mi principal colaborador) formulamos un enfoque de la decoherencia cuántica más general que el ortodoxo, que convierte la decoherencia en un fenómeno relativo a la partición del sistema cuántico cerrado que se considere. Para ilustrar esta propuesta conceptual, Sebastián formuló un modelo y lo describió por computadora (ya que Castagnino y yo somos totalmente incapaces de hacerlo); con este material escribimos un artículo que enviamos a una muy buena revista internacional de física. El artículo fue rechazado con un referato de cinco líneas según el cual (i) todo lo que decíamos estaba mal, porque “se sabe” que la decoherencia es tal como sostiene el enfoque ortodoxo, pero (ii) el modelo es interesante. Después de pensar largamente sobre qué hacer, decidimos dejar el modelo solo, completamente “pelado”, y expurgar el artículo de todo vestigio de pensamiento. Resultado: el paper fue aceptado de inmediato en la misma revista y sin una sola observación¹⁴. Como dicen *Les Luthiers*: “el que piensa, pierde”.

En el marco de esta manera, a mi modo de ver nefasta, de hacer “física teórica”, conozco a alguien que consiguió para su laboratorio un aparato que le permitió llevar adelante la siguiente estrategia durante años: formular un modelo, medir y publicar, modificar un poco el modelo, medir y publicar, y así siguiendo, como en una línea de montaje (ahora ya no lo hace porque es alto funcionario de la universidad). En el mismo marco, los físicos teóricos más “exitosos” son los que consiguen más estudiantes de doctorado, a quienes ponen a resolver modelos que luego publicarán juntos; de este modo, el físico exitoso se torna cada vez más exitoso y con ello aumenta el número de miembros de su ejército de resolvedores de modelos. Y así se inundan las revistas, que cada vez son más, de artículos carentes de dimensión teórica y producto de un trabajo totalmente rutinario. Los doctorandos en física, nuevamente, sufren las consecuencias de esta situación: los más reflexivos se frustran y, en muchos casos, abandonan el doctorado o, si bien acaban doctorándose, pierden el tren de la investigación en física o, en el mejor de los casos, quedan relegados en la carrera; paradójicamente, los que logran mantenerse y tienen éxito son los menos reflexivos, los que mejor se adecuan al trabajo rutinario y se convierten en los futuros físicos instrumentalistas “superados”. Y todo esto justificado por el supuesto de que están haciendo física teórica, ya que no

¹⁴ “Suppression of decoherence in a generalization of the spin-bath model”, 2010. La parte conceptual dio lugar al artículo “The problem of identifying the system and the environment in the phenomenon of decoherence”, 2012, que utilizó los resultados del artículo anterior como ilustración, y que fue publicado en una compilación de artículos filosóficos de la European Philosophy of Science Association.

hay diferencia entre teoría y modelo. Estoy convencida de que esta situación, que presencio diariamente, no le hace bien a la física. Y parte de mi praxis filosófica se dirige a denunciar esta situación, con todas las consecuencias que se siguen de ello.

7. Coda

Todo este largo discurso puede interpretarse como mostrando que nuestros disensos son muchos y profundos. Sin embargo, no es tan así: como usted sabe, coincidimos en muchos más aspectos de aquéllos en los que disentimos. Pero no es el caso de pasar el rato tirándonos flores, como si fuéramos políticos de un mismo partido después de las elecciones internas. La filosofía es disenso y discusión, en ello radica su esencia y su riqueza. Y es por ello que usted me ha ayudado tanto a ser mejor filósofa.

Con todo mi cariño y admiración.

Olimpia.

Bibliografía

- ACCORINTI, H. y MARTÍNEZ GONZÁLEZ, J. C. (2016). “Acerca de la independencia de los modelos respecto de las teorías: un caso de la química cuántica”, *Theoria*, en prensa.
- CABRERA, R. (2009). “Ciencia provisoria”, *Exactamente* (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires), **44**: 47.
- CASTAGNINO, M., FORTIN, S. y LOMBARDI, O. (2010). “Suppression of decoherence in a generalization of the spin-bath model”, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, **43**: 065304.
- CÓRDOBA, M. y LOMBARDI, O. (2012). “Acerca del modo en que la ciencia refiere a lo real: el papel de los modelos”, pp. 93-102, en Z. Monroy Nasr, R. León-Sánchez y G. Álvarez Díaz de León (eds.), *Enseñanza de la Ciencia*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- LOMBARDI, O. (1998). “La noción de modelo en ciencias”, *Educación en Ciencias*, **2**: 5-13.
- LOMBARDI, O. (2010). “Los modelos como mediadores entre teoría y realidad”, pp. 83-94, en L. Galagovsky (ed.), *Didáctica de las Ciencias Naturales. El Caso de los Modelos Científicos*. Buenos Aires: Editorial Lugar.

- LOMBARDI, O., FORTIN, S. y CASTAGNINO, M. (2012). "The problem of identifying the system and the environment in the phenomenon of decoherence", pp. 161-174, en H. W. de Regt, S. Hartmann y S. Okasha (eds.), *EPSA Philosophy of Science: Amsterdam 2009*. Berlin: Springer.
- LOMBARDI, O. y PÉREZ RANSANZ, A. R. (2012). *Los Múltiples Mundos de la Ciencia. Un Realismo Pluralista y su Aplicación a la Filosofía de la Física*. México: UNAM-Siglo XXI.
- PUTNAM, H. (1981). *Reason, Truth and History*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SUÁREZ, M. y CARTWRIGHT, N. (2008). "Theories: tools versus models", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **39**: 62-81.
- TORRETTI, R. (1990). *Creative Understanding: Philosophical Reflections on Physics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- TORRETTI, R. (2000). "Scientific realism and scientific practice", pp. 113-122, en E. Agazzi y M. Pauri (eds.), *The Reality of the Unobservable: Observability, Unobservability and their Impact on the Issue of Scientific Realism*. Dordrecht: Kluwer. V.e. (2007). "El realismo científico y la ciencia como es", pp. 75-98, en *Escritos Filosóficos 1986-2006*. Santiago de Chile: Universidad Diego Portales.
- TORRETTI, R. (2005). "Conocimiento discursivo", *Lección Inaugural dictada en la Universidad Autónoma de Barcelona*, 28 de Abril de 2005, en ocasión de la investidura del autor como Doctor Honoris Causa de dicha Universidad.
- TORRETTI, R. (2008). "Objectivity: a Kantian perspective", pp. 81-95, en M. Massimi (ed.), *Kant and Philosophy of Science Today*. Cambridge: Cambridge University Press.
- TORRETTI, R. (2012). "Inventar para entender", *Lección Inaugural dictada en la Universidad Diego Portales*, 27 de Marzo de 2012, Santiago de Chile.

Relaciones interteóricas en perspectiva diacrónica*

C. Ulises Moulines**

Resumen

En *Creative Understanding*, Roberto Torretti propone una clasificación de las posibles relaciones entre teorías físicas, distinguiendo cuatro grandes tipos de relaciones entre dos teorías dadas, consideradas en perspectiva diacrónica: especialización, extensión, reformulación y sustitución (o suplantación). Dentro de la metateoría estructuralista, este autor y otros también han propuesto en diversos escritos una tipología diacrónica de relaciones interteóricas. Las dos tipologías, más allá de diferencias de detalle, revelan notables puntos de coincidencia, si bien la tipología estructuralista es formalmente más precisa que la torrettiana. En la última parte de este artículo, sin embargo, se discute un tipo adicional de relación interteórica en perspectiva diacrónica, que hasta hace poco no había sido considerada por ningún enfoque en filosofía de la ciencia: lo que el autor denomina “cristalización” y que queda ejemplificada por el desarrollo de la termodinámica en el siglo XIX.

Palabras clave: relaciones interteóricas, especialización, extensión, reformulación, sustitución, cristalización, estructuralismo metateórico.

Intertheoretical Relations in Diachronic Perspective

Abstract

In *Creative Understanding*, Roberto Torretti lays out a classification of possible relationships between physical theories by distinguishing four big types of relationships between two given theories considered in diachronic perspective: specialization, extension, reformulation, and substitution (or replacement). Within the structuralist metatheory, this

* Recibido: septiembre 2016.

** *Munich Center for Mathematical Philosophy*, Ludwig-Maximilians-University of Munich.
Munich, Germany. Email: moulines@lrz.uni-muenchen.de

author and others also have propounded in several writings a diachronic typology of intertheoretical relations. Leaving besides differences of detail, both typologies reveal remarkable coincidences, although the structuralist typology is formally more precise than Torretti's. However, in the last portion of this article, I discuss a further type of intertheoretical relation in diachronic perspective, which, until recently, had not been considered by any approach in philosophy of science: what I call "crystallization" and is exemplified by the development of thermodynamics in the 19th century.

Keywords: intertheoretical relations, specialization, extension, restatement, substitution, crystallization, metatheoretical structuralism.

*Creative Understanding*¹ representa sin duda la obra más sistemática de Roberto Torretti en el campo de la filosofía *general* de las ciencias empíricas, y en particular de la física. En ella aborda el autor una serie de temas centrales de la filosofía de la ciencia, tales como las noción de observación, la naturaleza de los conceptos científicos y de las teorías científicas, así como las temáticas de la probabilidad y la necesidad – todo ello en un estilo insuperablemente claro, ameno y riguroso a la vez. Una de las cuestiones tratadas por Torretti dentro del capítulo general dedicado a las teorías científicas, es el de una posible tipología de las *relaciones interteóricas* dentro de la física. En la época en la que Torretti publicó su libro, 1990, ésa era una temática escasamente discutida por parte de los filósofos de la ciencia, si exceptuamos la idea de la reducción de una teoría a otra. Al parecer, la inmensa mayoría de filósofos de la ciencia de esa época consideraba que la reducción es la única relación interteórica digna de interés filosófico, tomándose como casos paradigmáticos, pongamos por caso, la reducción de la teoría planetaria de Kepler a la mecánica newtoniana o la (supuesta) reducción de esta última a la mecánica relativista. Ahora bien, ya por entonces los adherentes al programa metateórico estructuralista, entre los cuales me cuento, hacíamos notar que la reducción no es la única relación interteórica interesante en las ciencias empíricas, y que, además, deben distinguirse diversos tipos de reducción.² Torretti,

¹ Cf. Torretti [1990], en lo sucesivo abreviado por "CU".

² Véase, por ejemplo, el capítulo que Wolfgang Balzer, Joseph Sneed y yo le dedicamos a la reducción en nuestra obra conjunta *An Architectonic for Science* (Balzer/Moulines/Sneed [1987], Cap. VI.3). Existe una traducción al castellano de este texto (cf. Balzer/Moulines/Sneed [2012]), que en lo sucesivo abreviaré por *Arquitectónica*. Las referencias que se harán en el presente artículo a dicha obra se atienen a su versión

quien retoma la elucidación formal de la reducción proporcionada por los estructuralistas³, coincide con ellos en que la reducción como relación interteórica se ha sobrevalorado en la literatura epistemológica, y en que, además, el término “reducción de teorías”, ante un análisis fino, resulta ser polisémico.

Ahora bien, hay dos elementos en la discusión que emprende Torretti de las relaciones interteóricas en *CU* que, a mi modo de ver, merecen especial énfasis: uno es que el análisis de dichas relaciones no debería proceder sólo de un modo sincrónico, “estático”, sino añadir la perspectiva *diacrónica*, “dinámica”, y ello por la simple razón de que, como apunta el propio Torretti, “*it seems natural that physics should develop many theories, both successively and simultaneously*” (p. 145); el otro es que vale la pena, justamente desde la perspectiva diacrónica, elaborar algo así como una *tipología* diacrónica de las relaciones interteóricas o, si se prefiere, una tipología de las relaciones interteóricas diacrónicamente consideradas (abreviando: “*rids*” en lo sucesivo).

Torretti propone una tipología consistente en cuatro grandes formas de *rids*, que él denomina respectivamente: *especialización* (“*specialization*”), *extensión* (“*extension*”), *reformulación* (“*restatement*”) y *sustitución* (“*substitution*”⁴) (*CU*, pp. 149 y ss.). Es interesante notar que esta tipología revela bastantes puntos de similitud (si bien no de coincidencia total) con la tipología análoga construida dentro del programa estructuralista, ya sea en *Arquitectónica*, o en escritos posteriores. Volveré a este punto más abajo. De momento veamos los detalles de una y otra.

La *especialización* consiste, según Torretti, en que una teoría física dada deviene cada vez más específica al imponérsele sucesivamente condiciones adicionales a la estructura matemática básica; es decir, a las leyes fundamentales de la teoría se le añaden leyes cada vez más especiales. En los escritos estructuralistas anteriores, contemporáneos o posteriores a *CU* encontramos la misma relación, que allí también se llama “especialización”, con la única diferencia (de tipo puramente formal) de que la especialización estructuralista no se define directamente como una relación entre leyes (o sea, proposiciones generales), sino entre modelos, es decir, estructuras. Para los estructuralistas, la relación de especialización está en la base de una noción interteórica más amplia, la de *evolución teórica*, como sucesión en el tiempo histórico de re-

en castellano.

³ Cf. *CU*, pp. 158-160.

⁴ Más adelante, Torretti usa los términos *displacement* o *replacement*, en vez de *substitution* (*CU*, p. 154), pero por el contexto está claro que esos términos se refieren a lo mismo.

des teóricas ligadas por la relación de especialización.⁵ Ello correspondería más o menos a una formalización de la noción kuhniana de “ciencia normal” o “ciencia guiada por un paradigma”.

En cuanto a la *extensión*, Torretti la define como un tipo de relación interteórica en el que “*the mathematical structures of T_1 and T_2 are such that the former can be conceived as a special case of the latter*” (CU, p. 150), donde T_1 precede a T_2 en el tiempo histórico. A modo de ilustración de este tipo de *rid*, Torretti señala el ejemplo de la electrodinámica de la segunda mitad del siglo XIX en tanto que extensión de la electrostática de la primera mitad del siglo. Y añade: “*Note that in any nontrivial case such as this one the extended theory T_2 is not obtained by simply relaxing the conditions on the mathematical structure of T_1 so as to enlarge its set of models. Of course, according to my characterization of theory extension, the models of T_1 must be contained in a proper subset of the set of models of T_2 . But the latter will meet specifications of its own which cannot be conjectured by examining the structure of T_1* ” (CU, p. 150).

Ahora bien, me parece que la intuición torrettiana de la extensión como *rid* contiene una ambigüedad que hace que, en realidad, esa intuición cubra dos *rids* diferentes. Para comprenderlo, hay que acudir a un poco más de precisión formal, en particular modelo-teórica, de la que está contenida en el texto citado. En efecto, desde el punto de vista modelo-teórico, cada teoría T_i está unívocamente asociada a un conjunto de modelos (i.e. estructuras que satisfacen ciertos axiomas o leyes características de T_i), llamémosle M_i .⁶ Cuando Torretti nos dice que, de acuerdo con su caracterización de la noción de “*theory extension*”, los modelos de T_1 deben estar contenidos en un subconjunto propio del conjunto de los modelos de T_2 , o sea que $M_1 \subset M_2$, ello implica, según la teoría estándar de modelos, que los conceptos básicos de T_1 y de T_2 son exactamente los mismos y que las leyes que cumplen los elementos de M_2 son un subconjunto propio del conjunto de leyes que cumplen los elementos de M_1 (¡y no a la inversa!). En tal caso, por principio no hay lugar para “*specifications of its own*” en T_2 , o sea, para los elementos de M_2 . Ahora bien, el texto de Torretti citado da a entender que, para él, éste sería un caso “trivial” de extensión de una teoría por otra, pues ella se obtendría “*by simply relaxing the conditions on the mathematical structure of T_1 so as to enlarge*

⁵ Cf. *Arquitectónica*, Cap. V.2.

⁶ Patrick Suppes y sus discípulos más cercanos dirían que la identidad de T_i viene dada *exclusivamente* por M_i (cf. Suppes [1993], y también Moulines [2016]); sin embargo, no es necesario para la presente discusión presuponer esta concepción tan estricta de la identidad de las teorías científicas; basta con que concordemos en que M_i es un componente *esencial* de la identidad de T_i .

its set of models”. Por mi parte, no estoy tan convencido de que este tipo de *rid* sea siempre tan “trivial” como lo valora Torretti, al menos en perspectiva histórica. Considérese el siguiente ejemplo histórico. La ley de conservación del momento ya se conocía antes de Newton dentro del paradigma cartesiano⁷. Ahora bien, esta ley presupone (implícitamente) el Segundo Principio de Newton y la Ley de Acción y Reacción. Por consiguiente, con el establecimiento explícito por parte de Newton de su Ley Fundamental, justamente el Segundo Principio, ocurrió una *extensión* de la teoría cartesiana en exactamente ese sentido que Torretti describe como “trivial”. En retrospectiva histórica, podríamos decir que la postulación explícita por parte de Newton del Segundo Principio fue una extensión de la mecánica cartesiana del choque en la versión de Huyghens.

Sea como sea, este tipo de *rid* le parece poco interesante a Torretti (y por supuesto está en su derecho en ello). Démosle a este tipo de *rid* una denominación oficial (y menos peyorativa que “trivial”); llamémosla: “*extensión en sentido débil*”. Me parece claro que, desde un punto de vista estructural-formal, la extensión en sentido débil es el mismo tipo de relación que la especialización, sólo que con la sucesión temporal invertida: en la especialización se empieza con leyes (mejor: modelos, según los estructuralistas) muy generales que luego, a lo largo del proceso histórico, se van especializando o concretizando; mientras que en la extensión se empieza (en el tiempo histórico) con leyes (modelos) bastante especiales, que luego se van incorporando a leyes (modelos) cada vez más generales y abstractos. Es cierto que los estructuralistas no han definido explícitamente este tipo de *rid* dentro de su enfoque, pero dado que la estructura formal es la misma que la de la especialización, no habría ninguna dificultad en hacerlo, pues bastaría con invertir la sucesión de los índices temporales (históricos).

Ahora bien, creo que la forma de extensión que realmente le interesa a Torretti es otra bastante distinta: una *rid* en la que, intuitivamente hablando, T_2 es mucho más “fuerte”, “dice muchas más cosas” que T_1 (aunque también dice las cosas que dice T_1 , si bien en un marco conceptual distinto). El ejemplo que él da de la relación entre la electrostática y la electrodinámica decimonónicas apunta en ese sentido. El marco conceptual de la segunda es mucho más complejo que el de la primera, y sus leyes cubren muchos más casos que ella. Pero por esa misma razón no podemos postular que el conjunto de los modelos de

⁷ La formulación que dio el propio Descartes de lo que hoy denominamos la ley de la conservación del momento fue deficiente; pero años después Christian Huyghens encontró la formulación correcta dentro del paradigma cartesiano; ello ocurrió unos veinte años antes de la publicación de los *Principia* de Newton (véase, p. ej., Hund [1972] pp. 100 y ss.).

la primera sea simplemente un subconjunto propio del conjunto de modelos de la segunda.⁸ Llamemos a esta *rid* “*extensión en sentido fuerte*”. ¿Cómo la podemos precisar formalmente (modelo-teóricamente)? Ciertamente no mediante la simple relación de inclusión $M_1 \subset M_2$, como pretende Torretti. Pero no por ello hay que abandonar las esperanzas de una elucidación formal, aunque sea un poco más complicada. Un candidato a primera vista plausible es la relación estructuralista de reducción, a la que ya me he referido más arriba y que Torretti expone detalladamente en su libro, por lo que no repetiré aquí los detalles. Baste recordar que lo esencial de la noción estructuralista de reducción no es proposicional (deducción de las leyes de T_1 a partir de las de T_2), sino que se trata de la construcción de una función modelo-teórica ρ , la cual a los modelos de una *especialización* de la teoría reductora T_2 les hace corresponder, de manera sistemática y uniforme, todos y cada uno de los modelos de la teoría reducida T_1 .⁹ Aunque no existe en la literatura (que yo sepa) una prueba formal de ello, si tenemos ante los ojos las respectivas reconstrucciones estructuralistas de la electrostática de Coulomb (en *Arquitectónica*) y de la electrodinámica de Maxwell (en el texto de Bartelborth) a las que hemos aludido en la Nota 8, al menos a primera vista parece plausible suponer que entre la primera teoría y la segunda se da la relación estructuralista de reducción. En base a este ejemplo, podríamos conjeturar que la *rid* torrettiana de “*extensión en sentido fuerte*” no es otra cosa que la reducción estructuralista. No obstante, aquí hay que ser cautos. Ya se ha indicado al principio de este ensayo que Torretti y los estructuralistas coincidimos en que, por un lado, en la literatura clásica de filosofía de la ciencia se ha sobrevalorado el papel de la reducción, y en que, por otro lado, “la reducción se dice de muchas maneras”. Por ello, con el tiempo he llegado a la conclusión de que las relaciones de reducción que definimos en *Arquitectónica* son sólo casos subalternos (y especialmente constrictivos) de un tipo mucho más general de *rid* que en publicaciones posteriores he denominado “*incorporación*”: se trata un tipo de relación global determinada por las *incrustaciones* (“*embeddings*”) de las estructuras (modelos) de una teoría en las estructuras (modelos) de otra teo-

⁸ El estructuralismo metateórico tiene la virtud de mostrar esto sin apelación: existe una reconstrucción estructuralista de la electrostática de Coulomb (cf. *Arquitectónica*, pp. 244-245), y existe una reconstrucción estructuralista, muy detallada, de la electrodinámica clásica debida a Bartelborth [1987]; de ambas se infiere claramente que los elementos de $M_{\text{electrodinámica}}$ son mucho más ricos en componentes que los elementos de $M_{\text{electrostática}}$ (aunque incluyen a los segundos). Por esta simple razón es imposible formalmente que $M_{\text{electrostática}} \subset \dot{\bar{I}} M_{\text{electrodinámica}}$.

⁹ Esta es la elucidación modelo-teórica de la intuición de que la teoría reducida de algún modo ha de “desprenderse” de la teoría reductora.

ría. He expuesto mi definición formal de este tipo de relación en dos artículos relativamente recientes.¹⁰ Aquí me limitaré a una breve explicación informal. Diremos que una teoría previa T_1 *queda incorporada* a una teoría posterior T_2 si todos y cada uno de los modelos de T_1 (al menos aquellos que tienen un contenido empírico) pueden ser incrustados en algunos de los modelos (con contenido empírico) de T_2 ; ello significa formalmente que los modelos de la primera teoría pueden ser reconceptualizados, al menos aproximativamente, como *subestructuras parciales* (en el sentido preciso de la teoría de conjuntos) de los modelos correspondientes de T_2 . En mi opinión, éste es un tipo de *rid* que se ha dado con bastante frecuencia en la historia de la ciencia, en todo caso con mayor frecuencia que las formas estrictas de reducción (la cual sería, por cierto, un subtipo de la incorporación). He aquí algunos ejemplos históricos que considero plausibles: la incorporación de la óptica ondulatoria a la electrodinámica de Maxwell, la de esta última a la teoría especial de la relatividad y, a su vez, la de esta última a la teoría generalizada de la relatividad; la incorporación de la mecánica cuántica a la electrodinámica cuántica y la de esta última al modelo estándar de la física de partículas; la incorporación de la teoría darwiniana de la selección natural a la teoría sintética de la biología; ...

La siguiente *rid* que considera Torretti es la *reformulación* (*restatement*). Se trata del caso en que dos teorías que se suceden diacrónicamente y que poseen marcos conceptuales diferentes (habría que precisar: a nivel teórico, o “*T*-teórico”, como dirían los estructuralistas) producen exactamente las mismas predicciones (al nivel “observacional” o, mejor, “*T*-no-teórico”) para los mismos inputs de datos (“observacionales” o, mejor, *T*-no-teóricos). Cuando dos teorías dadas, T_1 y T_2 , están en la *rid* de la reformulación, siendo T_2 diacrónicamente posterior a T_1 , no se trata de que la segunda sea superior a la primera por su mayor contenido empírico o potencia predictiva, ni mucho menos que se abandone definitivamente T_1 en favor de T_2 (por lo general, ambas teorías seguirán utilizándose, y apareciendo en los manuales y cursos universitarios); de lo que se trata es de que, en ocasiones (aunque no siempre) se preferirá T_2 a T_1 porque se la considera la teoría “más elegante”, “más fácil de manejar”, que “aporta una nueva perspectiva” sobre el campo empírico investigado, y criterios parecidos. Torretti da como ejemplo histórico de ello el de la relación entre la mecánica clásica lagrangiana ($=T_1$) y la mecánica clásica hamiltoniana ($=T_2$). Prescindiendo de la perspectiva diacrónica, dentro del estructuralismo también hemos definido formalmente (en términos estructurales, modelo-teóricos) el tipo de relación que Torretti llama “reformula-

¹⁰ Cf. Moulines [2011] y Moulines [2014].

ción”: allí la hemos llamado “*equivalencia empírica*” (véase *Arquitectónica*, Cap. VI.5) y hemos aplicado esta noción general a una reconstrucción formal detallada del caso de la relación entre la mecánica newtoniana de partículas y la mecánica lagrangiana – un caso, dicho sea de paso, muy similar, tanto estructural como históricamente, a la relación entre mecánica lagrangiana y mecánica hamiltoniana.

Finalmente, Torretti se refiere brevemente a la *rid* que hemos llamado “*sustitución*” (*substitution*, *displacement* o *replacement* en el original torretiano). En este caso, la teoría históricamente precedente T_1 , aunque haya prestado muy buenos servicios en la explicación y predicción de los fenómenos durante largo tiempo, al final es completamente desbancada (sustituida) por otra teoría T_2 que revela ser estructural y conceptualmente completamente diferente de T_1 , pero aplicable con éxito a la misma área de fenómenos a los que T_1 era aplicable con éxito, y *además* a otros fenómenos ante los que T_1 fracasó por completo (las famosas “anomalías” a las que se refería Thomas Kuhn, y a las que también se refiere Torretti). Tanto por el uso del término kuhniano de “anomalía” como por el ejemplo histórico que da Torretti de una determinada sustitución (la transición de la mecánica newtoniana a la relativista), me parece claro que la sustitución es, para Torretti, el tipo de *rid* que está en la base de lo que Kuhn llama “revoluciones científicas” o “cambios de paradigma”.

Los estructuralistas metateóricos también nos hemos ocupado de la sustitución de teorías; no tanto en *Arquitectónica*, donde sólo discutimos brevemente la problemática de la inconmensurabilidad (en el Cap. VI.7), sino en otros escritos anteriores y posteriores a *Arquitectónica*. En efecto, ya en 1973, Wolfgang Stegmüller, uno de los pioneros junto con Sneed de la metateoría estructuralista, adelantó la hipótesis¹¹ de que todos los casos de sustitución de teorías que Kuhn describe como revoluciones científicas ligadas al fenómeno epistémico-semántico de la inconmensurabilidad, podrían reconstruirse plausiblemente aplicando la noción estructuralista (en realidad, *una* de las nociones estructuralistas) de la *rid* de la reducción. Según Stegmüller, ello habría de ser posible porque la noción estructuralista de reducción justamente no es proposicional, sino estructural, y por tanto inmune al fenómeno de la inconmensurabilidad, que es una relación que atañe a conceptos y proposiciones. Pocos años después,¹² el propio Kuhn, aun viendo con simpatía muchas de las ideas de Sneed y Stegmüller, y subrayando las coincidencias entre su propio enfoque y el de estos autores, se distanció enfáticamente, sin embargo,

¹¹ En la porción final de Stegmüller [1973].

¹² En Kuhn [1976].

de la tesis stegmülleriana de que la noción estructuralista de reducción pueda dar cuenta de manera adecuada y “racional” de la inconmensurabilidad entre teorías separadas por una revolución científica.

Mucho se ha escrito desde esa época acerca del tema de la inconmensurabilidad y acerca de las posibilidades o imposibilidades de reconstruir o “racionalizar” esa *rid*, ya sea dentro del enfoque estructuralista o de algún otro enfoque formal. No es éste el lugar para explayarse sobre esta temática, lo que requeriría un grueso volumen. Me limitaré a exponer mi propia opinión actual, que he ido desarrollando en algunos escritos más recientes.¹³

Para empezar, creo que es importante distinguir entre inconmensurabilidad *trivial* e inconmensurabilidad *no-trivial*.¹⁴ Un ejemplo de inconmensurabilidad trivial sería el de la relación que existe entre la teoría del calórico, que sucumbió definitivamente alrededor de 1840, y la teoría del valor de Marx que emergió poco después. Evidentemente, las dos teorías son inconmensurables entre sí, a pesar de suceder la una a la otra en el tiempo histórico; pero nadie considerará que se trata de un ejemplo particularmente dramático de inconmensurabilidad; diremos simplemente que las dos teorías “no tienen nada que ver entre sí” – no hay ninguna razón para rasgarse las vestiduras. En cambio, la teoría del flogisto y la teoría del oxígeno de Lavoisier sí constituyen un par verosímil y no-trivial de teorías inconmensurables; Kuhn y sus seguidores han propuesto también el par constituido por la mecánica newtoniana y la relativista como otro par de teorías típicamente inconmensurables. Esos son casos no-triviales de inconmensurabilidad.¹⁵ ¿Pero cuál es la diferencia esencial entre ambos tipos de casos? Kuhn, Feyerabend y sus seguidores “inconmensurabilistas” han subrayado una y otra vez que el hecho de que dos teorías separadas por un “cambio de paradigma” sean inconmensurables no significa que no sean comparables; en consecuencia podríamos pensar que la diferencia entre la inconmensurabilidad trivial y la no-trivial estriba en que, en el primer caso, las dos teorías involucradas no son comparables entre sí, mientras que en el segundo sí lo son. Pero, ¿comparables con respecto a qué? En algún sentido, todas las teorías son comparables entre sí; también lo es el par <teoría del calórico, teoría marxiana del valor>; en efecto, hay una serie de factores que nos permitirían compararlas: ambas surgieron en Europa, fue-

¹³ Cf. los artículos citados en la Nota 10, así como Moulines [2000].

¹⁴ Véase nuestra discusión de este punto en *Arquitectónica*, Cap. VI/7, además de Moulines [2000].

¹⁵ El segundo ejemplo es bastante más problemático como “caso típico” de inconmensurabilidad que el primero, pero admitámoslo *for the sake of the argument*. Que el par <teoría del flogisto; teoría de la oxidación> constituye efectivamente un ejemplo plausible de inconmensurabilidad no-trivial lo ha mostrado de manera convincente María Caamaño en Caamaño [2009].

ron promovidas por hombres de *Weltanschauung* materialista, se propusieron para explicar de una manera nueva una serie de fenómenos, etc. En resumen, la noción de comparabilidad no nos sirve de nada para distinguir entre inconmensurabilidad trivial y no-trivial.

La diferencia entre la inconmensurabilidad trivial y la no-trivial no se apoya en la noción de comparabilidad, sino en otra cosa: la inconmensurabilidad trivial lo es porque es una inconmensurabilidad (¡no incomparabilidad!) *total*; mientras que la inconmensurabilidad no-trivial es interesante justamente porque *no* es una inconmensurabilidad total: dos teorías separadas por una revolución científica o cambio de paradigma están relacionadas entre sí porque sus modelos respectivos comparten *algunas* estructuras conceptuales, pero justamente no todas. En términos estructuralistas, comparten al menos una parte, aunque no necesariamente todo, lo que son sus elementos *T*-no-teóricos; y por ello comparten también muchas de (aunque no todas) sus aplicaciones empíricas. Caamaño ha mostrado este punto convincentemente con respecto al par <teoría del flogisto, teoría de la oxidación>, y ello parece muy plausible también para otros ejemplos famosos favorecidos por los “inconmensurabilistas” como el par <astronomía ptolemaica, astronomía copernicana> o <mecánica newtoniana, mecánica relativista>.

A esta *rid* entre dos teorías que se suceden en el tiempo, y que es de tal naturaleza que la teoría más antigua acaba por ser suplantada por la más nueva, la he denominado “*suplantación con inconmensurabilidad parcial*”¹⁶. Creo que Kuhn tenía razón en que esta *rid*, al menos en muchos casos históricos, *no* es elucidable en términos del concepto estructuralista de reducción. Pero ello no significa que no sea elucidable en términos formales (modelo-teóricos) y, por ende, que no pueda ser “racionalizada”. La noción clave aquí es la noción de la teoría de conjuntos a la que ya hemos acudido más arriba al tratar de la incorporación como *rid*: la de *incrustación* (*embedding*) de una estructura en otra; sólo que, a diferencia de la incorporación de una teoría a otra, la incrustación, en el presente caso, no abarca la *totalidad* de los componentes de los modelos de la primera teoría con respecto a los de la segunda, sino que atañe sólo a *algunos* de sus componentes. Nuevamente, aquí no puedo entrar en los detalles técnicos, sino que remito a los escritos ya citados. En cualquier caso, ésta es mi propuesta de elucidación formal para lo que Torretti denomina “suplantación” o “sustitución” de una teoría por otra: se trataría, por así decir, de una incorporación “a medias”, o parcial, pues sólo algunos

¹⁶ Véase Moulines [2011], p. 16.

de los componentes de los modelos de la teoría previa se incrustan en los modelos de la teoría posterior, permaneciendo el resto mutuamente ajenos o “incommensurables”, si se quiere.

Recapitemos lo que hemos visto hasta aquí acerca de las coincidencias y divergencias entre la tipología torrettiana y la estructuralista de *rids*:

1. La “especialización” torrettiana es esencialmente lo mismo que la especialización estructuralista, y ella es lo que está en la base del tipo de desarrollo diacrónico que los estructuralistas denominamos una “evolución teórica” (= sucesión diacrónica de redes teóricas vinculadas por la relación de especialización).
2. La “extensión” torrettiana se desdobra en dos tipos diferentes de *rids* dentro del estructuralismo: (2a) la “extensión” que Torretti califica de “trivial” es la “extensión en sentido débil”, y desde el punto de vista estructuralista ésta no es otra cosa que la especialización, aunque con el orden temporal invertido; (2b) la extensión en sentido fuerte de Torretti corresponde (en casos particularmente estrictos) a la reducción estructuralista, o bien, más generalmente, a la incorporación de una teoría a otra.
3. La “reformulación” (“*restatement*”) según Torretti corresponde a la equivalencia empírica de los estructuralistas considerada desde una perspectiva diacrónica.
4. La suplantación o sustitución de la que habla Torretti puede que en algunos casos favorables corresponda a la reducción estructuralista; pero en general más bien corresponderá a lo que he denominado “suplantación con incommensurabilidad parcial”, basada, a su vez, en la noción de incrustación parcial.

Comprobamos, pues, que, aparte de emplear una terminología diferente y de ciertas divergencias menores, se da un fuerte paralelismo, incluso coincidencia en lo esencial, entre la tipología de *rids* esbozada informalmente por Torretti y la desarrollada con mayor precisión formal por los estructuralistas. Ello es tanto más notable cuanto que ambas tipologías han sido concebidas independientemente la una de la otra. Ello es un claro síntoma de que andamos por buen camino...

Haciendo concordar la tipología torrettiana con la estructuralista, obtendríamos, a fin de cuentas, que los tipos fundamentales de *rids* serían los siguientes: la especialización, la reformulación o equivalencia empírica, la

incorporación (de la cual la reducción es una forma particular) y la suplantación. Parecería que con ello disponemos de los instrumentos suficientes para describir de manera completa (y formalmente precisa) todos los tipos de *rids* relevantes en la historia de la ciencia. Sin embargo, en la actualidad considero que ello no es así. Desde hace cierto tiempo he venido percatándome de que, para un análisis completo de la diacronía de las relaciones interteóricas en las ciencias empíricas, y en particular en la física, necesitamos la consideración de un tipo de *rid* que no encaja en ninguno de los tipos anteriores, y que no aparece tematizado ni en *CU*, ni en los escritos “clásicos” del estructuralismo como *Arquitectónica*, ni tampoco en ningún otro enfoque de filosofía formal de la ciencia del que tengo noticia. Se trata de lo que en publicaciones más recientes he denominado “*cristalización*” de teorías.¹⁷ Ella es de naturaleza claramente distinta a la de los tipos de *rids* analizados hasta aquí. A continuación expondré de manera intuitiva, y en términos generales, los aspectos esenciales de este tipo de proceso interteórico. Pero antes creo que conviene aludir, aunque sea brevemente, al estudio de caso que me ha llevado a “descubrir” este tipo de *rid* y que, a mi modo de ver, lo ilustra de manera especialmente clara.

Desde hace largo tiempo he venido ocupándome de la historia de la termodinámica clásica (llamada a veces también “termodinámica fenomenológica” o “reversible”). La versión de la termodinámica clásica que aparece hoy día (y desde hace décadas) en los manuales más o menos avanzados de física es en lo esencial la termodinámica gibbsiana, o “neo-gibbsiana”, si se prefiere. Ella tiene sus orígenes históricos en la monografía crucial de Willard Gibbs, *On the Equilibrium of Heterogeneous Substances*, publicada en dos partes entre 1876 y 1878. Esta obra puede leerse hoy día prácticamente como si fuera un manual contemporáneo de termodinámica. En ella aparecen ya en su formulación moderna los conceptos básicos (energía, entropía, temperatura absoluta, presión, moles, etc.) y las leyes básicas (la ecuación general de estado, el principio de maximización de la entropía y de minimización de la energía, etc.) que cualquier estudiante actual de la termodinámica debe haber digerido bien. Con otras palabras, representa el “paradigma” en el sentido kuhniano de la termodinámica clásica. Por supuesto, ha habido importantes cambios y progresos desde la época en que Gibbs publicó su obra. Pero son cambios del tipo “ciencia normal” kuhniana, o más precisamente responden a lo que los estructuralistas llamamos una “evolución teórica”, y que están basados en la

¹⁷ Véanse los artículos citados en la Nota 10, así como Moulines [2010].

rid de la especialización de la que ya se ha tratado más arriba. Una exposición relativamente detallada de la evolución teórica de la termodinámica desde Gibbs hasta los años 1940 se encontrará en el Cap. V.4 de *Arquitectónica*.

Ahora bien, la pregunta ahora es: ¿qué había ocurrido en el desarrollo de la termodinámica antes de que Gibbs estableciera su paradigma alrededor de 1875? De acuerdo con Kuhn, tendría que haber habido un claro paradigma precedente, que fue desbancado por el nuevo paradigma debido a la revolución gibbsiana. Pero si analizamos en serio los datos históricos, tendremos que admitir que nada de eso fue el caso. ¿Cuál es el “paradigma” (es decir, la teoría generalmente aceptada) para investigar los fenómenos térmicos antes de Gibbs? La respuesta no puede sino ser la *teoría del calórico*, desarrollada entre fines del siglo XVIII (Lavoisier) y los años 1820 (Laplace, Biot y sus colaboradores). Pero esta teoría había sido completamente abandonada por el grueso de los físicos desde fines de los años 1820. ¿Qué ocurrió en el periodo, digamos, entre 1830 y 1875? 45 años son un periodo demasiado largo para un fenómeno de “suplantación” o de “revolución” kuhniana. Pues bien, lo que revela el análisis histórico es un periodo repleto de resultados experimentales, propuestas hipotéticas y enfoques sumamente fragmentarios (y con frecuencia conceptualmente confusos), a los que van asociados los nombres, entre otros, de Carnot, Regnault, Mayer, Helmholtz, Joule, Kelvin y sobre todo Clausius – todos ellos grandes físicos, pero ninguno de los cuales logró imponer en su momento su propio “paradigma” a la disciplina naciente de la termodinámica. Repito: el “paradigma” termodinámico tal como lo conocemos hoy día quedó establecido sólo con Gibbs en 1876-78. Lo que ocurrió entre 1830 y 1875 es justamente lo que denomino un proceso de cristalización. Dentro de este proceso, la etapa más avanzada (que le preparó el terreno a Gibbs) fue la “teoría mecánica del calor” (“*mechanische Wärmelehre*”) de Clausius, cuyo desarrollo a lo largo de varios años tiene, a su vez, el carácter de un *subproceso de cristalización* dentro de la cristalización más general. He expuesto esta “subcristalización” clausiana, tanto de una manera intuitiva como reconstruida formalmente, en Moulines [2010]. El lector interesado en los detalles históricos y formales de este proceso puede acudir a dicho artículo. Aquí sólo lo he traído a colación para ejemplificar (y motivar) la noción general de cristalización.

La pregunta en términos generales ahora es: ¿qué es lo característico de un proceso de cristalización? Sin entrar en los detalles técnicos que he expuesto en los artículos citados en la Nota 17, podemos describir la cristalización de teorías intuitivamente en los siguientes términos. Se trata de un proceso que se inicia al derrumbarse una teoría anterior bien consolidada (un “paradig-

ma” en el sentido kuhniiano) sin que ella sea en seguida suplantada por otra; el derrumbe conduce más bien a un proceso considerablemente largo, en el que de manera gradual y fragmentaria se van construyendo nuevos modelos, en parte ajenos entre sí o incluso en franca competencia; algunos de estos modelos fragmentarios desaparecen de nuevo del horizonte, otros revelan ser más aptos para dar cuenta de los fenómenos estudiados, si bien aún de manera parcial y tentativa; gradualmente, esos fragmentos de teoría se van aglutinando en un todo coherente hasta dar lugar a una nueva teoría o paradigma bien asentado. Un proceso de este tipo no es un caso de “ciencia normal” (o “evolución teórica” para los estructuralistas), ni tampoco de “ciencia revolucionaria” (“suplantación”); evidentemente, tampoco es un caso de “reformulación”, ni de “reducción” o “incorporación”. No conozco a ningún otro filósofo de la ciencia que haya analizado o reconstruido este tipo de proceso¹⁸; pero me parece que es algo que ocurre con bastante frecuencia en la historia de la ciencia.¹⁹

En cualquier caso, la cristalización refleja un tipo de *rid* mucho más complejo que los tipos examinados anteriormente; contiene algunos elementos de los otros tipos (en particular, algunas especializaciones e incorporaciones), pero también otros elementos propios, no equiparables a los anteriores. Formalmente, y sin poder entrar aquí en detalles, podríamos decir que lo esencial de una cristalización es que, a través de un largo periodo histórico, van emergiendo (a veces para desaparecer de nuevo) estructuras conceptuales parciales y en competencia entre sí, algunas de las cuales al final resultarán ser fragmentos o “reinterpretaciones” de los modelos de una verdadera teoría, bien consolidada, que surgirá como la culminación del proceso (el “paradigma” definitivo).

¹⁸ Con la posible excepción de Yehuda Elkana en su libro de 1974, aunque la exposición de Elkana es poco sistemática y ha tenido muy poca incidencia en la filosofía general de la ciencia.

¹⁹ Aparte del caso de la termodinámica de mediados del siglo XIX, que me parece un ejemplo sumamente claro, me atrevo a lanzar la hipótesis “metahistórica” de que también los procesos de la emergencia de la astronomía (mal llamada) “ptolemaica” entre el siglo III a.C. y el siglo II d.C., de la mecánica cartesiana entre Descartes y Huyghens (entre los años 1620 y 1670) y de la genética (mal llamada) “mendeliana” entre Mendel y Bateson (1865 - 1905) revelarían ante un análisis detallado ser casos de cristalización. Y probablemente un atento análisis histórico-formal nos desenterraría muchos otros ejemplos de estructura diacrónica parecida.

Referencias bibliográficas

- BALZER, W., C. U. Moulines y J. D. Sneed (1987). *An Architectonic for Science – The Structuralist Program*. Dordrecht: Reidel (Springer). Traducción al castellano de P. Lorenzano (2012): *Una arquitectónica para la ciencia – El programa estructuralista*. Universidad Nacional de Quilmes: Bernal (Argentina).
- BARTELBORTH, T. (1987). *Eine logische Rekonstruktion der klassischen Elektrodynamik*. Frankfurt del Meno et al.: Peter Lang.
- CAAMAÑO, M. (2009). “A Structural Analysis of the Phlogiston Case”. *Erkenntnis* 70/3: 331-364.
- ELKANA, Y. (1974). *The Discovery of the Conservation of Energy*. Londres: Hutchinson.
- HUND, F. (1972). *Geschichte der physikalischen Begriffe*. Mannheim et al.: Bibliographisches Institut.
- KUHN, Th. S. (1976). “Theory Change as Structure Change”, *Erkenntnis*, 10: 179-199.
- MOULINES, C. U. (2000). “Is There Genuinely Scientific Progress?” En: A. Jonkisz y L. Koj (comps.), *On Comparing and Evaluating Scientific Theories*. Amsterdam – Atlanta: Rodopi: 173-197.
- MOULINES, C. U. (2010). “The crystallization of Clausius’s phenomenological thermodynamics”. En: G. Ernst y A. Hüttemann (comps.), *Time, Chance and Reduction*. Cambridge: Cambridge University Press: 139-158.
- MOULINES, C. U. (2011). “Cuatro tipos de desarrollo teórico en las ciencias empíricas”. *Metatheoria*, 1/ 2: 11- 27.
- MOULINES, C. U. (2014). “Intertheoretical Relations and the Dynamics of Science”. *Erkenntnis*, 79/8: 1505-1519.
- MOULINES, C. U. (2016). “Patrick Suppes: A Profile”. *Journal of General Philosophy of Science*, 47: 1-10.
- STEGMÜLLER, W. (1973). *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Berlín et al.: Springer. Existe traducción al castellano de esta obra por C. U. Moulines (1976): *Estructura y dinámica de teorías*. Barcelona: Ariel.
- SUPPES, P. (1993). *Models and methods in the philosophy of science*. Dordrecht: Kluwer.

TORRETTI, R. (1990). *Creative Understanding*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.

No solo causalidad en el mundo físico: ontología y metodología pseudocausal*

Wilfredo Quezada P.**

Luis Pavez F.***

Resumen

En este trabajo mostramos que ciertas tesis sobre pseudoprocesos causales, procesos cuya característica prominente parece ser superar la velocidad de la luz, y que han sido defendidas por autores trabajando en causalidad física, deben ser cuestionadas o seriamente modificadas. Para cumplir nuestro propósito, mostraremos, en primer lugar, cómo modelar por igual pseudoprocesos y *timewise gerrymanders* en relatividad especial. En segundo lugar, argumentaremos que hay una sola categoría de no-entidades causales y que no hay nada en la relatividad que parezca justificar el apelar a una diferencia ontológica basada en geinidentidad a través del tiempo. Esto nos habilitará, a su vez, a proponer una definición más precisa de un pseudoproceso que aquella presupuesta en la literatura examinada. En tercer lugar, mostraremos en detalle cómo dichos procesos, entendidos de la manera que aquí proponemos, son y han sido herramientas metodológicas de un valor indudable cuando se desea estudiar —a través de procedimientos de medición usuales— relaciones causales efectivas que se sostienen en el mundo físico. Finalmente, conectaremos nuestras conclusiones con la crítica sobre la relación entre causalidad ordinaria y procesos físicos gobernados por ecuaciones que ha defendido R. Torretti y mostraremos que, aunque podemos permanecer teóricamente neutros sobre su con-

* Recibido: octubre 2016.

** Departamento de Filosofía, Universidad de Santiago de Chile (USACH) / Instituto de Filosofía, Universidad de Valparaíso, Chile (UV). Santiago, Chile. Email: wilfredo.quezada@usach.cl

*** Departamento de Filosofía, Universidad de Santiago de Chile (USACH). Santiago, Chile. Email: pavezfloresluis@gmail.com

cepción antropocéntrica de causalidad ordinaria, nuestro presente trabajo permite, a diferencia de lo que él piensa, ofrecer una explicación natural a la conexión física entre aquella y procesos causales, como estudiados por la física.

Palabras claves: procesos causales, pseudoprocursos, relatividad especial, cantidades conservadas, ontología.

Not only causation in the physical world: pseudocausation also matters

Abstract

In this essay we show that some thesis -contended by some authors searching on physical causation- about causal pseudoprocesses, processes of which the most salient aspect seems to be travelling faster than the speed of light, must be rejected or seriously modified. Secondly, we will argue that there is just one non causal entities category and that special relativity does not provide any particular motivation to appeal to an ontological distinction based on identity over time. In addition, this conclusion we will enable us to offer a more accurate definition of a pseudoprocess than that found in the relevant literature. In third place, we will show in some detail how such processes, understood the way that we suggest here, are and have been valuable methodological tools when studying –through usual measurement procedures- effective causal relations holding in the physical world. Finally, we will connect our conclusions with R. Torretti's criticism on the relation between ordinary causation and governed-by-differential-equations physical processes and we will show that, although neutral on his anthropocentric background, the account here argued provides, against what Torretti claims, a natural explanation to the physical connection between ordinary causation and causal processes such as studied by physics.

Keywords: causal processes, pseudoprocesses, special relativity, conserved quantities, ontology.

1. Introducción

Una parte de las discusiones filosóficas contemporáneas sobre relatividad especial se ha centrado en el problema, planteado años atrás por H. Reichenbach (Reichenbach 1958 y 1956), de distinguir de una manera adecuada entre un proceso relativista genuinamente causal y uno que no lo es. A este segundo tipo de proceso Reichenbach lo llamó inicialmente secuencia causal irreal, pero preferiremos, siguiendo a W. Salmon (Salmon 1984), llamarlo pseudoproceso (en adelante PSP) o, si se quiere, epiproceso. En una primera aproximación, los PSPs, como indica Reichenbach, parecen definirse adecuadamente como aquellos procesos que parecen justamente violar el límite de la velocidad de la luz c .² Ejemplos típicos de ellos son la traza que generaría un rayo de luz láser enviado desde la tierra y que barre una zona de la superficie de la luna conforme se mueve el puntero láser en la tierra, o el punto de fuga en que se cruzan dos reglas súper lumínicas³. Ya que, por esta razón, parecen no transmitir ninguna información física, no pueden ser considerados secuencias de entidades reales (no parecen interactuar con nada en la dirección de su movimiento) y no pueden ser objeto, por la misma razón, de interés para los físicos practicantes trabajando en teoría de la relatividad especial (en adelante TRE). Sin embargo, en principio parece no haber razones para negar que son procesos y por tanto habitantes de una ontología procesual.⁴ Para Reichenbach, en particular, era fundamental distinguirlos no porque representaran alguna amenaza para la plausibilidad de la TRE sino porque su exclusión era parte de la tarea fundamental de explicar la dirección de la flecha del tiempo sobre bases termodinámicas, mostrando que sólo los procesos causales genuinos pueden manifestar irreversibilidad macro estadística.⁵ De manera que, si se viola el orden temporal, no podríamos tener ya más orden causal.

A partir del trabajo seminal de Reichenbach se ha generado, por consiguiente, una importante discusión acerca de las condiciones de adecuación de cualquier criterio postulado que distinguiese entre PSPs y procesos causales (en adelante PCs) y que, a su vez, sirviese el propósito de caracterizar, en acuerdo con las teorías físicas hoy prevalecientes, el vínculo causal. Esto fue lo que el mismo Reichenbach pretendió al ofrecer su criterio de *transmisión de marca* como la vía para caracterizar físicamente los PCs genuinos. La subsecuente discusión, liderada fundamentalmente por W. Salmon (Salmon 1984) y P. Dowe (Dowe 2000), ha llevado a abandonar finalmente el criterio original reichenbachiano y a sustituirlo por otro formulado por Dowe. El criterio de Dowe (o Salmon-Dowe) implica que un proceso (entendido como una línea de mundo en un diagrama de Minkowski) para ser causal, debe poseer alguna cantidad conservada, de acuerdo a como éstas son definidas

en física. Este entonces es el criterio de posesión de cantidad conservada o CC.⁶ Mucho más importante para nuestra argumentación aquí que evaluar en particular las bondades o las limitaciones de la concepción de CC, será la cuestión acerca del valor *per se* de los PSPs en la concepción de Dowe. En su opinión, una vez hecha la anterior distinción PC-PSP y asumido el criterio de CC como criterio para caracterizar PCs genuinos, debemos distinguir, a su vez, entre dos tipos de pseudoentidades causales: aquellas que, aun sin poseer CC, presuponen alguna forma de identidad en el tiempo –los PSPs– y aquellas que no la presuponen y que él caracterizará como entidades temporales o espaciales ficticias compuestas (o *time/spacewise gerrymanders*, en inglés). En segundo lugar, Dowe afirma que las segundas deben ser descartadas como simple “basura física”. Finalmente, ya que los PSPs no pueden tampoco jugar ningún rol causal en física y, en particular, en relatividad especial, parece inevitable concluir que, en la concepción de Dowe, la clase completa de las pseudoentidades no puede ser considerada de valor para describir de una manera sustantiva cualquier estado físico en que ocurran genuinas relaciones causales. El propósito de nuestra argumentación en lo que sigue es desafiar y rectificar estas últimas tesis.

2. Procesos y pseudoprocursos en la teoría causal de Dowe

Phil Dowe, en la que ha parecido ser la teoría más robusta de causalidad física propuesta hasta ahora en la literatura, afirma que “*es la posesión de una cantidad conservada, antes que la capacidad para transmitir una marca, lo que hace a un proceso un proceso causal.*” (Dowe 2000, p. 89). Así, la teoría de causalidad de Dowe se funda en dos postulados básicos:

1. Un proceso causal es una línea de mundo de un objeto que posee una cantidad conservada.
2. Una interacción causal es una intersección de líneas de mundo que envuelve el intercambio de una cantidad conservada.

Aunque esta teoría obtiene parte de su inspiración teórica de un número importante de filósofos trabajando previamente en causalidad física, entre ellos, Fair, Russell, Reichenbach y el mismo Salmon,⁷ el aspecto diferenciador fundamental de ella, como se ve, es la introducción de la idea de posesión de una cantidad conservada por parte de un objeto, representado por una línea de mundo de carácter físico. Así, para Dowe, los procesos causales no se caracterizan por transmitir marcas desde una región del espacio a otro, sino más bien porque son poseedores de cantidades conservadas físicas como energía,

momentum, carga eléctrica, etc. Las cantidades dinámicas propias de los teoremas de conservación de la física serán entonces elementos determinantes en el importe causal de los procesos genuinos. Los objetos físicos son procesos causales justamente porque poseen cantidades conservadas. Por ende, en la teoría procesualista de Dowe un objeto se entenderá como “cualquier cosa encontrada en la ontología de la ciencia (tales como partículas, ondas y campos) o en la esfera del sentido común (tales como sillas, edificios, etc.)” (Dowe 2000, p. 91). Para Dowe, según muestra su postulado 2, son los procesos causales genuinos las únicas entidades con capacidad para interactuar.⁸

El postulado 1 establece que un proceso causal es una línea de mundo. Esto indica que los procesos causales evolucionan espacio temporalmente en un espacio tiempo de Minkowski. Así, una línea de mundo en dicho espacio es una entidad física que se identifica con un proceso causal genuino. Dicho proceso, a su vez, será un objeto con persistencia de cualidades y que exhibirá cantidades conservadas. La evolución de dicha entidad corresponderá, por tanto, a su historia causal completa. La figura siguiente muestra este tipo de líneas de mundo. En él los procesos causales serán representados gráficamente en el dominio del cono de luz (en este caso es un triángulo de luz por tratarse de un espacio tiempo (X,T) bidimensional), donde ocurren las relaciones espacio temporales de *tipo tiempo* –trazo OA– o *tipo luz* –trazo OB–.⁹

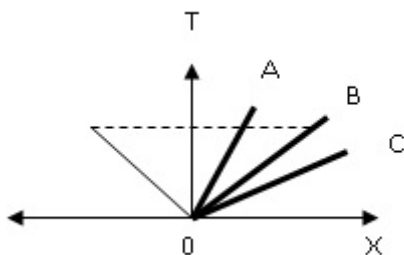


Figura 1. Los intervalos OA, OB y OC son procesos o líneas de mundo. Los intervalos OA Y OB, están permitidos por la física, y se denominan, respectivamente, tipo tiempo y tipo luz. El intervalo OC no está permitido por la física, ya que los eventos están desconectados físicamente, y se denomina tipo espacio.

Dadas estas definiciones, se pueden ilustrar algunos ejemplos elementales de procesos causales en un diagrama de Minkowski. La figura 2 más abajo representa dos objetos físicos, dos bolas, evolucionando en ese tipo de diagrama. Se puede ver que uno de ellos (la bola A) se mueve horizontalmente hacia la derecha. En este caso, se trata de una línea de mundo cuya relación espacio

temporal muestra que su rapidez resulta ser mucho menor que la relación espacio temporal de un rayo de luz. Este objeto, aparte de ser un proceso físico de baja velocidad, exhibe posesión de cantidad de movimiento o energía cinética¹⁰. Por otra parte, la bola B, que permanece detenida, también contará como un proceso causal dado que para Dowe la cantidad conservada nula – como el momentum lineal cero de la bola – también integrará la descripción de los procesos físicos pues cuenta como una cantidad conservada.

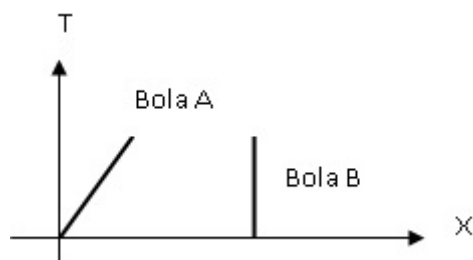


Figura 2. Bolas como procesos causales

En la posición de Dowe, las bolas, que permanecen dentro del cono de luz retratado en la figura 2, cuentan entonces como PCs y, por ello, representan objetos físicos con identidad que evolucionan en el tiempo y respetan el límite *C* de rapidez de la luz en el vacío. Por otro lado, de acuerdo a lo ya indicado en el postulado 2, la relación causal se puede ver como una intersección de estos PCs en el espacio tiempo, lo que significa que sólo ellos pueden conectar dos eventos como relatos auténticos de una relación causal y sólo ellos pueden interactuar y, por ende, transmitir información física. Finalmente, según Dowe, todos aquellos procesos no genuinos que muestren alguna identidad en el tiempo y puedan ser representados en un espacio de Minkowski, calificarán como PSPs, puesto que -al no poseer cantidades conservadas- deberán ser descartados como entidades físicas genuinas.

Ya que, al menos en el contexto de una interpretación dinámica clásica de TRE, todo lo causal es físico y viceversa, el rol que cumplen los PCs en dicha teoría es obvio e indisputable. Sin embargo, esto mismo plantea, a nuestro juicio, una pregunta inevitable acerca de la naturaleza, la definición precisa y el valor de los PSPs o las pseudoentidades al interior de un programa fisicalista de la causalidad tal como el de Dowe. Como mostraremos, la perspectiva de Dowe resulta más bien restringida y generalista acerca de dichas entidades. Así, la definición que provee opera más bien por exclusión tendiendo a generar, por ello mismo, una distinción artificial entre tipos de

pseudoentidades. Además, permite asumir que, una vez hecha la distinción entre PCs y PSPs, estos últimos no deberían jugar ningún rol sustantivo en la descripción de un estado físico.

Es nuestra convicción, sin embargo, que si nos empeñamos en describir procesual y causalmente el mundo físico, se debe revelar inevitablemente la significancia filosófica, científica y cognitiva de las pseudoentidades -en sus distintas manifestaciones-, ya que, al ser proyectadas en diferentes direcciones espaciales, terminan siendo partes integrantes de nuestros modos de entender y captar el mundo físico y, por añadidura, proveen información relevante de los procesos genuinamente causales que los producen y de los cuales dependen. Es lo que nos proponemos argumentar en las secciones siguientes.

3. La distinción entre procesos genuinos, pseudoprosesos y *time/spacewise gerrymanders*

Dowe especifica (en la primera sección del capítulo 5 de su 2000) con gran claridad su ontología física introduciendo una distinción entre gusanos relativistas (*worms*) que califican como procesos y otros que no califican como tales. En sus palabras:

Worms in spacetime that are not processes I call, ..., 'spatiotemporal junk'. Thus a line on a spacetime diagram represents either a process or a piece of spatiotemporal junk, and a process is either a causal or a pseudo process. In a sense, what counts as an object is unimportant; any old gerrymandered thing qualifies (except timewise gerrymanders). In the case of a causal process, what matters is whether the object possesses the right type of quantity. A shadow, for example, is an object, but it does not possess the right type of conserved quantities; a shadow cannot possess energy or momentum. It has other properties, such as shape, velocity and position, but possesses no conserved quantities. (Dowe, P., 2000, p.91.)

De acuerdo a esta cita, Dowe establece una triple distinción en la ontología relativista: por una parte, genuinas entidades –los procesos causales genuinos o PCs-, y por otra, no-entidades, entre las que caen los PSPs –que siguen siendo procesos- y los *timewise gerrymanders* (de aquí en adelante TWG), que resultan ser basura espacio temporal. Del texto se sigue también que sólo los primeros poseen “el tipo correcto de cantidad conservada”. En cambio, de los segundos –los PSPs- podemos decir que, aunque posean ciertas propiedades –forma o velocidad-, no poseen aquellas cantidades. El ejemplo favorito de estos, para Dowe, son las sombras. Los terceros son –como se ve- sim-

plemente descartados. Así, si aceptamos esta distinción, tendríamos que reconocer sólo a las sombras, los puntos individuales de luz láser superando o los puntos de fuga en el cruce de las reglas superlumínicas imaginados por Reichenbach como PSPs. Hasta este punto no tenemos todavía ejemplos de *TWG*s en la mencionada ontología, ni una explicación precisa de en qué difieren de los PSPs en tanto no-entidades físicas. Dicha explicación sobreviene en la tercera sección del citado capítulo. Allí Dowe afirma acerca de su teoría:

According to the CQ theory, there are causal processes such as billiard balls rolling across tables, and pseudo processes such as shadows and spots of light. Is this exhaustive of all items that may be represented as occupying a space-time region? The answer is no; there is also "spatiotemporal junk" - items that are not processes at all on the CQ definition. An example is what I earlier called "timewise gerrymanders." A timewise gerrymander is a putative object defined over a time interval where the definition changes over time (the putative object is really different objects at different times). (Dowe 2000, p. 99)

Esta cita sugiere lo que parece ser la clave, según Dowe, para distinguir los dos tipos de no-entidades: los *TWG*s no manifiestan ninguna identidad a través del tiempo pues en el fondo son "diferentes objetos en diferentes tiempos". De esto se infiere que, en contraste, los PSPs sí presuponen una forma de identidad en su propia evolución, lo que puede parecer claro al analizar las sombras pues ellas son manifestaciones de objetos –que son PCs a su vez–, los cuales permanecen idénticos en diferentes tiempos.¹¹ Así, el contraste descansa en una distinción metafísica entre identidad vs. falta de identidad. Apelando a este contraste, a continuación Dowe busca disolver una crítica de Salmon a la primera formulación de su teoría. La enunciación de Dowe del contraejemplo de Salmon es la siguiente:

In his criticism of the Conserved Quantity theory just presented, Salmon ... offers an argument (see ... 1984:145-146) for requiring 'transmits' rather than just 'possesses': Consider a rotating spotlight spot moving around the wall of a large building. This is a classic case of a pseudo process: in theory such a spot could move faster than the speed of light. But the spot manifests energy at each point along its trajectory. Therefore, Salmon's argument goes, we need more than just the regular appearance of energy to characterise causal processes; we need the notion of transmission. (Dowe 2000, p. 98)

El punto fundamental de Salmon es que cuando consideramos una traza completa de los puntos de luz del láser rebotando en la pared tenemos efectivamente –lo que es corroborado cotidianamente por la percepción– un

objeto que despliega continuidad espacio temporal, cierta persistencia y que en cada punto que lo constituye posee efectivamente cantidades físicas. Pero sabemos, además, que, dado cierto límite, dicha traza puede violar C en la dirección del movimiento. Esto desde luego representa un contraejemplo a la teoría de Dowe, pues podría satisfacer los postulados indicados anteriormente y contar como un PC. La respuesta de Dowe es considerar la traza completa del láser como un *TWG* y, por ende, descartarlo como proceso. He aquí la replica de Dowe:

So, turning to Salmon's example of the aggregate of the patches of wall sequentially illuminated, we can see that although it is generated by a single description, involves some uniformity, and displays spatiotemporal continuity, it nevertheless is a timewise gerrymander, and not in fact an object on my definition, since it does not display identity over time. The spot itself is on object (although not causal), and the entire patch of wall is an object (like the ten billiard balls), but the timewise gerrymander is not. It therefore is not a process of any sort, let alone a causal process; it qualifies on my account as spatiotemporal junk. (Dowe 2000, p. 101)

Es interesante observar cómo el final de la respuesta introduce una sutil ambigüedad en el planteamiento de Dowe entre su primera interpretación de los puntos de luz móviles y la que introduce ahora. De acuerdo a lo que se indica, tenemos aquí dos situaciones que deben ser distinguidas, por un lado, cada punto singular que rebota o interactúa en cada parte de la pared y cuya sumatoria exhibirá un objeto constituido de distintos objetos en distintos tiempos, dando origen, en ese caso, a un *TWG* desprovisto de identidad, y, por otro, la secuencia de los puntos de luz, que al golpear en cada parte de la pared, aparentan el movimiento de un punto lumínico idéntico a lo largo de la pared, dando origen, en ese caso, a un *PSP* que, consecuentemente, gozará de identidad. Por tanto, bajo ambas interpretaciones, efectivamente el mismo fenómeno puede contar como un *TWG* o como un *PSP*. Más allá de una cuestión de indefinición ontológica, tal vez menor, el problema es que los primeros efectivamente califican como basura física para Dowe y no tenemos claro por qué ese dictamen no se debería aplicar a los *PSPs* también. Desde luego, si es posible defender la distinción entre ambas no-entidades sobre una base física y metafísica plausible, cada una debería recibir un tratamiento diferente. Si no hay razones físicas ni metafísicas que motiven de una manera sustantiva la mencionada diferencia entonces la opción inevitable es la unificación ontológica. Más importante aún, mientras esa cuestión no se resuelva, tampoco es posible formular una definición unívoca de lo que sea un *PSP* y

la misma teoría de la causalidad basada en CCs permanecerá, por tanto, ontológicamente indefinida. Con el propósito de examinar esta cuestión e intentar resolverla, debemos clarificar cómo, desde nuestra perspectiva, podemos modelar TWGs en física.

4. Modelando TWGs en física relativista

Dowe ofrece el siguiente ejemplo ilustrativo de un TWG,

An example of a timewise gerrymander is the putative object x defined as:

for $t_1 < t < t_2$; x is the coin in my pocket

for $t_2 < t < t_3$; x is the red pen on my desk

for $t_3 < t < t_4$; x is my watch.

Notice that x occupies a determinate spacetime region, and that at any time in the interval t_1 to t_4 , x ‘possesses’ conserved quantities such as momentum (although not strictly speaking, for something must be an object in order to possess a conserved quantity). Clearly, there are innumerable such timewise gerrymanders. (Dowe 2000, p. 99)

En la descripción de este primer ejemplo, los elementos constituyentes del objeto X ocupan distintas posiciones espaciales en los diferentes tiempos mencionados. Este tipo de TWG difícilmente podría ser tomado en serio como un proceso y menos aun como proceso causal, puesto que intuitivamente no acostumbramos a percibir ni pensar algún objeto que permanezca, en el tiempo, desmembrado en distintos lugares espaciales, y siendo cada una de ellas totalmente diferentes entre sí. Difícilmente se podrá imaginar la sucesión de una moneda, un lápiz y un reloj, en distintos lugares, como un mismo objeto desde t_1 hasta t_4 -aún cuando los distintos lugares estén ubicados en una sola dimensión espacial-, a menos que alguna persona esté habituada a creer que una moneda, un lápiz y un reloj puedan tener algún tipo de causa común. Una forma de representar esto es la siguiente:

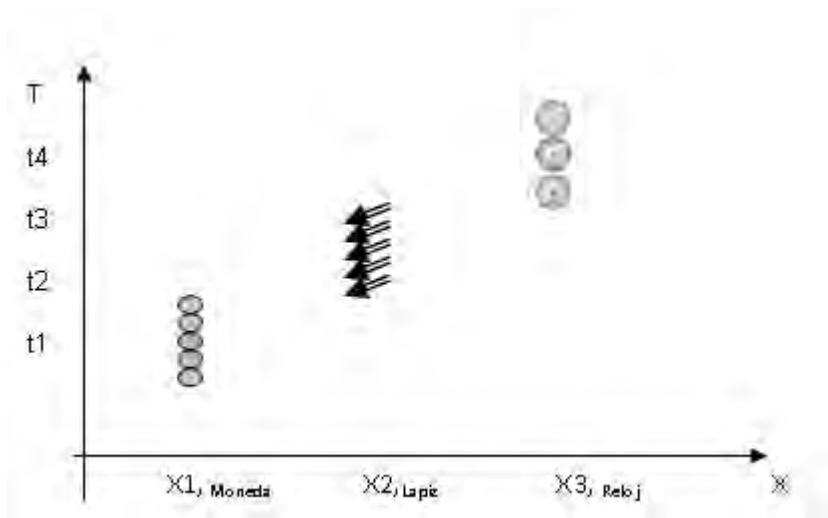


Figura 3. TWG compuesto de tres objetos distintos: Moneda, lápiz y reloj.

Un aspecto característico del anterior ejemplo de TWG era su ausencia obvia de genidentidad ontológica y de similaridad estructural, tal como imaginaba Dowe. Sin embargo, es posible representar grados crecientes de similaridad observacional para TWG utilizando los mismos medios de representación de procesos físicos genuinos en TRE. Así podemos imaginar tres situaciones distintas. Un primer caso podría consistir en imaginar 6 monedas repartidas en dos clases distintas de tres miembros cada una. Tres monedas de 50 pesos chilenos y tres monedas de 100 pesos chilenos. Si las ubicamos en una línea recta, intercaladas en el eje X, entonces al fijar la atención sobre cada una de ellas sucesivamente en el mismo intervalo de tiempo se obtiene la siguiente representación.

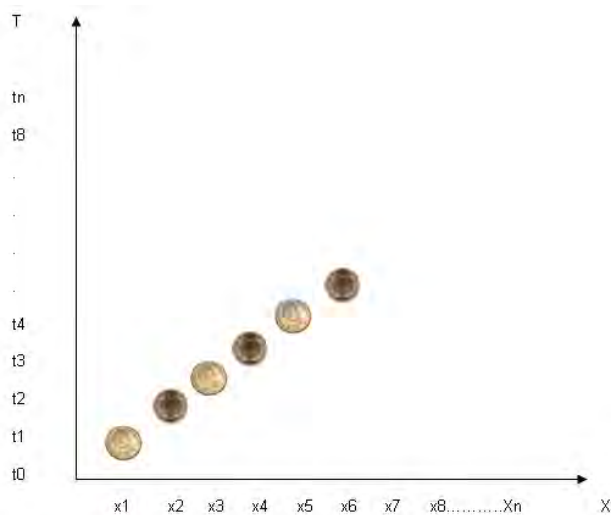


Figura 4. TWG compuesto de seis objetos en dos clases de monedas diferentes.

Queda claro, de acuerdo a la imagen, que la similaridad de estructura ahora es mayor que la anterior. Es decir, hay un mayor grado de identidad. Podemos obviamente incrementar adicionalmente la similaridad manteniendo la misma distribución espacial anterior y sustituyendo las monedas de cien pesos por monedas de cincuenta pesos. Este podría ser un segundo caso posible de representar de la manera que indica la figura 5.

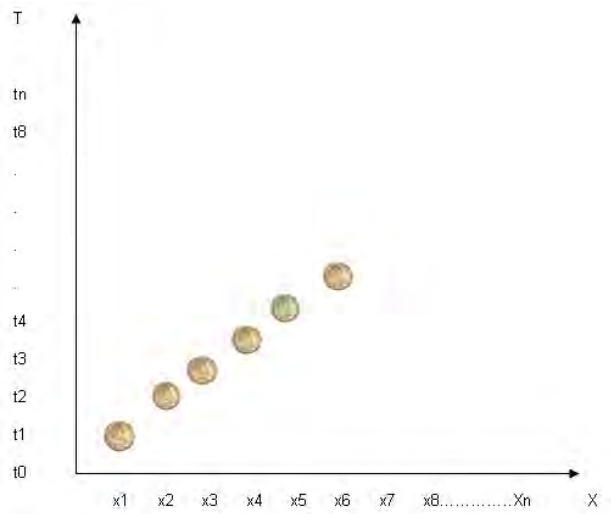


Figura 5. TWG compuesto de seis monedas de similar estructura.

Naturalmente que las monedas en la figura 5, aunque sean distintas, representan un todo mereológico con similaridad estructural en el espacio de Minkowski. Aunque es claro que las monedas podrían ser marcadas para diferenciarlas, es claro también que observacionalmente su secuencia conjuntiva perfectamente puede representar una entidad de naturaleza procesual, al igual que un PSP de puntos de luz que se despliega en la pared debido al movimiento de un punto de luz láser (pudiendo ser incluso continua). Es decir, si cambiásemos las monedas por puntos de luz en la pared obtendríamos la misma similaridad de estructura, así como la obtenemos utilizando monedas como en el diagrama anterior. La siguiente figura muestra este tipo de objeto con puntos de luz.

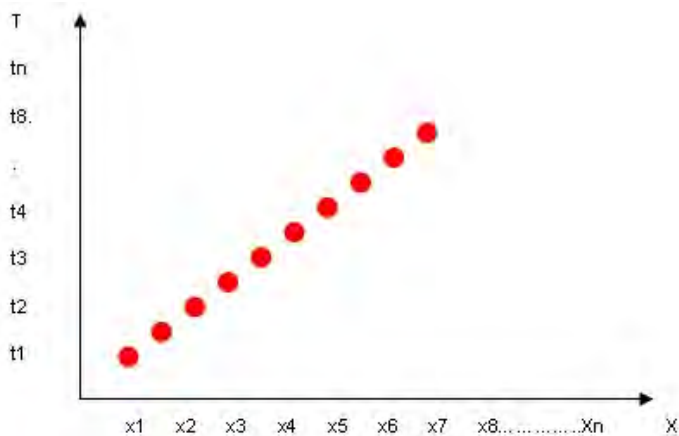


Figura 6. TWG o PSP compuesto de puntos de luz que recorren la pared como proceso.

De acuerdo a lo afirmado anteriormente, es claro que la TRE permite representar ambos, tanto el haz de luz como la secuencia de monedas, como tipos de procesos. Por otro lado, sabemos que no hay nada en dicha teoría que permita hacer una diferencia esencial entre la identidad de un punto de luz y la identidad de una moneda, en la medida que ambas entidades exhiben cantidades conservadas.

Del examen de estas representaciones de TWGs se sigue, a nuestro juicio, que sus semejanzas con los PSPs son naturales. Se pueden señalar al menos estas tres:

- a. Pueden o no rebasar C.
- b. Considerados –aunque sea inapropiadamente- como objetos singulares no poseen CCs, aunque cada una de sus partes espaciotemporales las puedan poseer.
- c. Pueden manifestar continuidad y ambos pueden representar cosmólineas minkowskianas.

Desde luego, la única diferencia que subsiste, de acuerdo a lo que sostiene Dowe, es metafísica: los TWGs no despliegan identidad a través del tiempo y los PSPs, en cambio, la deben presuponer¹².

Nuestra interpretación sobre la insistencia de Dowe en apuntar a la identidad como el criterio distinguidor de lo que cuenta como un PSP es que ella está basada en una tesis de fondo que la física, en particular la física relativista, no requiere como un criterio de adecuación pero que la visión metafísica de Dowe parece implicar: la idea que la identidad es una noción primitiva y que la causalidad y, con ello, los PCs, dependen de ella¹³. Ya que hemos argumentado en extenso en otro lugar contra esta postura,¹⁴ lo que podemos decir aquí es que esta tesis de primitivismo de la identidad es debatible por dos razones. En primer lugar, parece incongruente con una concepción de la causalidad inspirada en una filosofía humeana, como resulta serlo la misma concepción de Dowe¹⁵. Como sabemos, Hume apoya una concepción causal de la identidad y Dowe está defendiendo en este punto lo contrario.¹⁶ En segundo lugar, por lo que hemos visto más arriba, la física relativista (y presumiblemente la física cuántica) parece no requerir una tesis fuerte de genidentidad física. La identidad en dicha física, en cambio, puede venir en grados y, en vez de hablar de objetos que evolucionan establemente en el tiempo, parece suficiente hablar de todos mereológicos que ganan o pierden identidad, dados sus cambios de estado. Así, los PSPs y los TWGs tienen grados inferiores de identidad, aunque levemente diferentes entre sí, y supervienen en procesos físicos genuinos que exhiben grados superiores, tal vez máximos, de identidad.¹⁷

Por lo anterior nos parece natural concluir que cualquier concepción de causalidad física de base procesual no requiere distinguir entre PSPs y TWGs. Estas entidades participan de una misma categoría, la categoría de las pseudoentidades causales con contenido físico. Adicionalmente, podemos agregar otras cualidades que las hacen participar de la misma categoría. Primero, ambas siempre se relacionan –mediante una relación de superveniencia u otra semejante- con entidades causales o procesos causales.¹⁸ Segundo, ambos tie-

nen realidad perceptual u observacional. Tercero, tanto en física clásica como no-clásica y, tal vez, en otras áreas del discurso científico, los PSPs y los TWG son igualmente útiles y valiosos para resolver problemas de medición en el mundo de los procesos físicos genuinos. Esta, en nuestra opinión, es la razón decisiva para rechazar el dictamen de Dowe según el cual los TWG representan basura física y para, por extensión, desconsiderar a los PSPs como instrumentos de alguna utilidad en la descripción de cualquier estado físico. Además, es una razón crítica para unificar ambos tipos de entidades en una misma categoría. Ambos son, en realidad, parte de una misma dimensión de pseudocausalidad y ambos pueden ser igualmente útiles. Mostraremos este punto con cierto detalle en las próximas secciones. Antes de hacer eso, debemos precisar las definiciones que estaremos usando hasta el final del artículo.

A partir de lo mostrado en esta sección, estamos en condiciones de extraer la siguiente definición de la categoría ampliada de los PSPs:

Un proceso es un PSP si y sólo si es un epi-objeto o agregado mereológico superveniente en procesos físicos que a) puede o no violar la constante C de la rapidez de la luz, b) no posee cantidades físicas conservadas en la dirección del movimiento, c) puede exhibir cierta continuidad estructural a través de cambios de estado y d) que, si viola C , implica reversión temporal.

Se debe notar que esta definición no hace descansar la pseudocausalidad ni en una simple desconexión física factual en algún punto del espacio tiempo, ni en la restricción relativista de no transmisión de información entre señales. Lo primero pues no estamos suponiendo que la simple separación espacial de dos eventos en un mismo tiempo t permita obtener PSPs por *fiat* pues ello descartaría que estos evolucionan como todos mereológicos exhibiendo continuidad estructural (la que implica propiedades físicas). Lo segundo pues, aunque ellos –desde la perspectiva de la dirección del movimiento– efectivamente no portan ni transmiten información física o de otro tipo, sí lo hacen de un punto del espacio tiempo a otro a través de la dirección determinada por los procesos causales genuinos que los engendran. Examinaremos esto con más detalle en la próxima sección.¹⁹

5. PSPs, medición y experimentación

Aclarada la definición de un PSP que nosotros favorecemos y la unificación ontológica que ella supone, es fundamental mostrar ahora que ella permite mostrar y entender la vasta utilidad metodológica que los PSPs cumplen tanto en física prerrelativista como relativista e incluso más allá de la misma física. En nuestra opinión, mostrar esto es la mejor forma de sugerir que las tesis de Dowe sobre la naturaleza ontológica de los PSPs y su eventual valor en física son a lo menos confudentes e imprecisas. A ello nos abocaremos en esta sección.

a. Historia de la física e ilusiones

Una forma natural de admitir que somos víctimas constantemente de ilusiones físicas proviene de experiencias con sombras. Todos parecemos reconocer que, aunque ellas se basan en entidades físicas, la información que nos pueden entregar de estas últimas no es confiable. Sin embargo, reconocemos también que nos sentimos autorizados a hablar de ellas como si tuvieran alguna forma de existencia en el espacio tiempo. En esto justamente consiste su poder ilusorio. Con razón entonces las podemos llamar, de manera general por el momento, pseudoentidades físicas. Sin embargo, el reino de las pseudoentidades va mucho más allá del reino de las sombras. Piénsese, por ejemplo, en la señal luminosa proyectada perimetralmente por un faro y observada por un marino desde la distancia una noche neblinosa. Es obvio que, en este caso, diríamos, contra lo que pensaríamos normalmente de las sombras, que la ilusión creada en el marino es algo en lo cual él debería confiar ciegamente. Sin embargo, los ejemplos de pseudoentidades cotidianas no se limitan en lo absoluto a casos en los que la luz, o la ausencia de ella, juegue un papel privilegiado. Descubrimos muchos de ellos sobre todo cuando atendemos a fenómenos que se despliegan en el tiempo articulando una forma de proceso, aunque manteniendo cierta persistencia. Piénsese por ejemplo en el llamado efecto de la “ola”, al que una muchedumbre en un estadio puede dar origen decidiendo espontáneamente ponerse de pie de manera secuenciada y sincronizada. Lo que parecemos observar entonces es un movimiento desplegándose en una determinada dirección y que parece obedecer a una cierta dinámica. Finalmente encontramos procesos físicos ilusorios de base mecánica. Seguramente podríamos encontrar un buen análogo del ejemplo de la luz láser en el uso de un potente chorro de agua o pintura proyectado rápidamente en una pared. O en el barrido del disparo de una ametralladora a la misma velocidad. Todo lo que se obtenga en la pared es el resultado de un proceso

cuya continuidad e identidad es, aunque a veces no lo creamos en el caso del agua o la pintura, ilusoria en la dirección que el agua, la pintura, o las balas se mueven en la pared. De acuerdo a la definición acuñada en la sección previa, ellos deben calificar entonces como PSPs físicos.

En una primera aproximación, podríamos decir que, ya que los PSPs involucran genuinas ilusiones físicas, es del todo esperable que las ciencias físicas no muestren interés alguno por ellos. Sin embargo, declarar esto ciertamente sería incurrir en un serio error histórico. Desde las aplicaciones más tempranas de la física se sabe que ella ha apelado a pseudoentidades, en particular, sombras, para determinar diversas mediciones del entorno físico. Por ejemplo, Aristarco de Samos en siglo III, A-C., utilizando luz y sombra, estimó la razón entre los tamaños de la Tierra, la Luna y el Sol y entre las distancias entre nuestro planeta y dichos astros. Aunque sus estimaciones no fueron suficientemente exactas, estaba empleando un método que al alcanzar mayor precisión resultaría muy eficiente. Torretti describe este experimento de Aristarco de la siguiente manera:

Cuando la Luna L, vista desde la Tierra T, aparece dividida en dos mitades, una oscura y la otra iluminada por el Sol S, las rectas LT y LS forman un ángulo recto. Un observador colocado sobre la Tierra puede medir el ángulo α entre la recta TL en dirección de la Luna y la recta TS en dirección del Sol (Torretti, R., 2007a, p. 98).

La siguiente figura ilustra a su vez esta descripción.

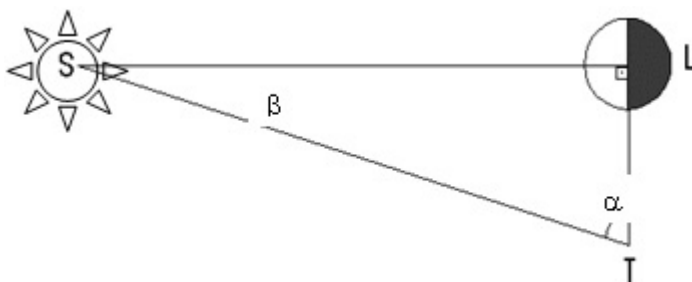


Figura 7. Posiciones relativas entre la Tierra, el Sol y La Luna.

Es decir, a partir de la medida del ángulo α se puede establecer la relación entre la distancia que hay entre la Tierra y la Luna y la Tierra y el Sol. Aristarco estimó que la distancia al Sol es del orden de 19 veces la distancia a la Luna.

Como este, encontramos muchos otros ejemplos históricos en los que los físicos han apelado a proyecciones geométricas de sombras y haces luminicos para determinar longitudes asociadas a cuerpos o volúmenes. Esto muestra obviamente que las sombras han sido desde la antigüedad una herramienta fundamental para llevar a cabo mediciones empíricas con valiosas aplicaciones prácticas (para un examen de alguno de estos ejemplos Cf. Quezada y Pavez, 2011).

b. PSPs en física experimental pre-relativista

Más allá de los testimonios históricos referidos en la sección anterior, se puede mostrar que los PSPs están vinculados con la física experimental newtoniana, en particular, con la mecánica y la dinámica, en la medida que muchas mediciones en aquellas áreas presuponen procedimientos pseudoprocesuales. Estos, nosotros creemos, son hechos tácitamente reconocidos en la práctica de la física experimental newtoniana aunque inadecuadamente explicitados desde la perspectiva metodológica. Desde luego, es fundamental clarificar aquí que no estamos afirmando que tales mediciones (u otras en otras áreas de la física) basadas, de acuerdo a los que mostramos, en PSPs *no se podrían hacer* apelando a otros recursos directos. Esto es obvio para nosotros y nuestra argumentación presupone que los procedimientos indicados aquí pueden ser tan alternativos como cualquiera otro en experimentación. Lo único que buscamos relevar es el valor que tiene y siempre ha tenido obtener información física sustantiva a partir de pseudoentidades físicas.

Aclarado esto, procedemos a continuación a ilustrar una situación experimental de naturaleza mecánico-óptica que involucra un PSP.

b.1. Un PSP óptico que mide un proceso mecánico

Un procedimiento de medición interesante que supone la apelación a PSPs, es aquel que se usa en física escolar para inferir la velocidad angular de nuestro planeta en relación a su eje. Este procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de luz a través de un agujero hecho en la cubierta de un material opaco, que, por ejemplo, puede ser la cubierta de una mesa plástica con un orificio pequeño en su centro. A continuación se dispone que la luz solar atraviese el orificio de manera que alcance el suelo, sobre cuya superficie hemos fijado un papel blanco. Si dejamos transcurrir un lapso de tiempo razonable, el punto de luz se desplazará de manera aparentemente continua en la superficie del papel, generando una lenta pero clara trayectoria. Por ejemplo,

si el lapso de tiempo toma 10 minutos aproximadamente, se podrá observar un lento desplazamiento del punto luminoso del orden de unos 4 cm. Este fenómeno de movimiento permite evidenciar que el sol se mueve respecto a la superficie de la tierra, o, de manera inversa, que la tierra gira sobre su eje respecto al sol, que se supone fijo. La siguiente figura muestra el montaje experimental en el centro y tanto a la izquierda como a la derecha el punto de luz desplazado los 4 cm.



Figura 8. La imagen de la izquierda muestra el punto de luz en el inicio del proceso y el de la derecha el punto final. En el centro se puede ver el montaje experimental.

En estas condiciones, bastará entonces con utilizar el tiempo medido, el desplazamiento del punto de luz en el papel (h) y la distancia desde el agujero hasta la base del suelo (d) (si se quiere obtener la distancia D , que corresponde a 1 U-A), para inferir a través de una simple relación geométrica, que se ilustra en la figura siguiente, la velocidad angular de nuestro planeta ($w = V/D = h/td$), cuyo valor es del orden de 7×10^{-5} rad/s (si se quiere calcular V se debe utilizar la distancia D , cuyo valor corresponde a 1U-A o 1.49×10^{11} m).

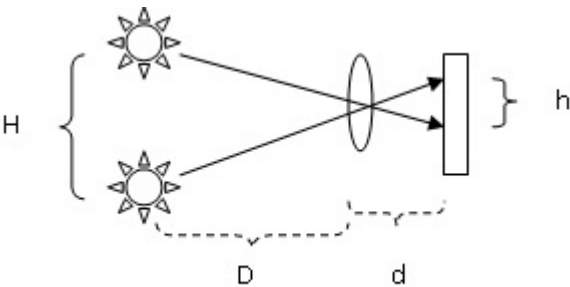


Figura 9. Esquema de representación para el proceso medido.

Es decir, se ha medido una magnitud mecánica (cinemática) a través de un PSP lumínico o electromagnético.²⁰

c. PSPs y su utilidad en procesos de medición en TRE

Como hemos indicado en la subsección anterior, la apelación a PSPs en la práctica de la física experimental newtoniana o pre-relativista es un rasgo metodológicamente valioso, en la medida que muchos de sus procedimientos de medición parecen presuponerlos. Sin embargo, en el terreno de la física contemporánea, en particular, en el ámbito de la TRE, el asunto puede ser muy diferente. Ya que la distinción entre PCs y PSPs surge en el contexto de dicha teoría, es natural –como sostiene Dowe– imaginar que los últimos no jueguen ningún papel relevante en ella. Nosotros creemos que es posible mostrar que dicha sugerencia no puede ser tomada seriamente si somos honestos con lo que se hace en TRE. Para ilustrar este punto, nos concentraremos en procesos de altas energías, en particular, procesos que implican chorros de partículas de núcleos galácticos activos (AGN). Es evidente que no podemos interactuar directamente con este tipo de proceso por dos simples razones: en primer lugar, porque se encuentran muy distantes de nuestro planeta y, en segundo lugar, porque, aunque pudiésemos acercarnos lo suficiente, los altos niveles de energía que poseen impedirían físicamente nuestro trabajo. Sin embargo, la cosmología contemporánea ha encontrado maneras indirectas de capturar la información física relevante que proviene de dichos centros galácticos, focalizándose en la radiación electromagnética que emiten al espacio en todas las direcciones, como consecuencia de los procesos físicos que ocurren en su interior. Mostraremos en lo siguiente que los más interesantes procedimientos de medición indirecta de dicha radiación se llevan a cabo apelando a alguna forma de PSPs electromagnéticos, ya sea a velocidades cuyos módulos sean menores que la rapidez de la luz o mayores que ella, y que es esto lo que los hace procesos susceptibles de ser estudiados apelando a RE.

Un ejemplo dramático de dicha medición pseudoprocesual en procesos cosmológicos de altas velocidades que se generan en AGN son aquellos que presuponen la supuesta presencia de agujeros negros súper masivos en su interior. Un ejemplo de este tipo reportado recientemente, corresponde a la radiogalaxia tipificada con la serie 3C120. Dicha galaxia tiene la particularidad de enviar un chorro de materia lumínica radiante con un ángulo pequeño, respecto a la línea de visión terrestre, y con una gran velocidad –muy cercana a C –, generando con ello un PSP electromagnético súper lumínico en la zona del laboratorio terrestre.²¹

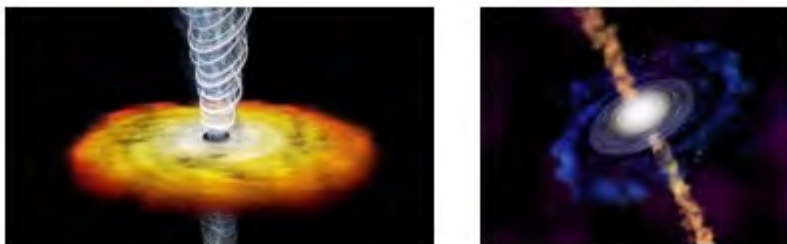


Figura 10. Dos perspectivas de un centro galáctico activo.

En este sistema, de genuinos PCs y PSPs, deben considerarse tres tipos de procesos: el primero corresponde al chorro o componente, que es un auténtico PC que se desplaza a una rapidez de $0.9C$; el segundo consiste en la información electromagnética o radiación que se desplaza en el vacío con rapidez $C=3 \times 10^8 \text{ m/s}$, que también es un PC y es el conjunto de procesos que arriban a nuestro planeta; y el tercero es el PSP compuesto de las distintas interacciones entre la información electromagnética o radiación y el instrumento de captación en nuestro planeta.

A continuación exponemos visualmente el esquema del chorro y la forma en que se detecta, desde nuestro planeta, la radiación enviada por este, y que permitirá formar en los detectores terrestres el PSP medido. La imagen ilustra, además, el vector velocidad del chorro (flecha blanca diagonal), que alcanza una velocidad cuya magnitud es casi tan grande como la rapidez de la luz en el vacío ($0.9C$). Con color blanco, pero en flecha dirigida hacia abajo, se observa el vector que representa a la velocidad de la luz en dirección hacia nosotros. Para el chorro de la radio galaxia 3C120 la angulación del chorro respecto a la dirección en que viaja la luz hasta nuestro planeta corresponde aproximadamente a 20° .

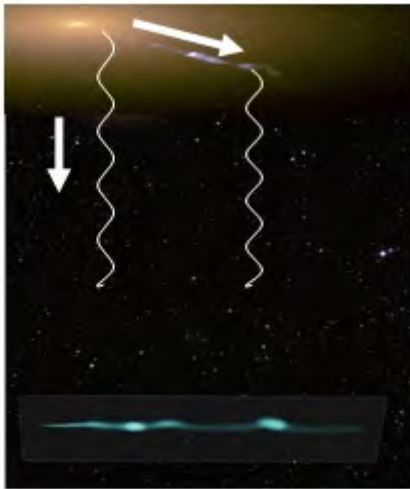


Figura 11. Esquema que muestra el chorro galáctico relativista y dos señales de luz en dirección a nuestro planeta.

A continuación exponemos el esquema de medición de los procesos involucrados. Según se aprecia en la imagen anterior, los tres tipos de procesos ocurren en el plano X-Y. El desplazamiento del chorro tendrá entonces una componente en el eje Y, dada por $V\Delta t \cos\theta$ y otra en el eje X, dada por $V\Delta t \sin\theta$. Luego, habrá tres velocidades a relacionar: la velocidad del chorro, V , la velocidad de la radiación, C , y la velocidad del PSP, que identificaremos con el símbolo V_{PSP} .

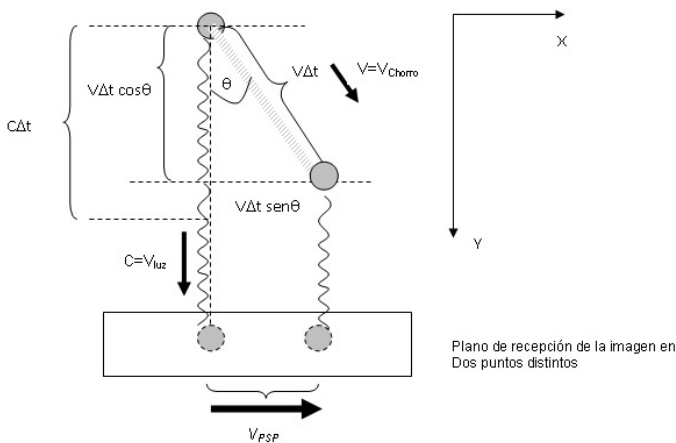


Figura 12. Representación geométrica del chorro galáctico relativista, las dos señales de luz dirigidas hacia nuestro planeta y el PSP medido en los instrumentos terrestres.

Aplicando algunos teoremas básicos a los elementos geométricos del esquema esbozado y considerando los principios de la RE, se puede derivar fácilmente una relación entre los módulos de la velocidad del chorro²², V , de la velocidad de la luz, C , y de la velocidad del PSP que se genera en el plano de recepción, V_{PSP} . La mencionada relación es la siguiente:

$$V_{PSP} = \frac{V \sin \theta}{1 - \frac{V}{C} \cos \theta}$$

Si tomamos un ángulo de 20° y una velocidad $V=0.9C$, para el caso del chorro cosmológico que hemos descrito, entonces la velocidad del PSP capturado en nuestro planeta resultará de magnitud, $V_{PSP} = 2C$.²³ Es decir, se revela un PSP súper lumínico.

De acuerdo a lo que hemos venido mostrando en este trabajo, nada de esto es metodológica ni epistemológicamente problemático, pues, como ya mostramos, los PSPs se pueden mover a cualquier velocidad, sin importar su naturaleza, y pueden ser medidos de diferentes maneras dependiendo de la teoría del caso.

6. Más allá de la física de la medición

En esta sección sugeriremos cómo podemos detectar la presencia de PSPs, bajo nuestra definición, en áreas relacionadas con procesos perceptuales o de otro tipo que no parecen tan estrechamente conectados con conocimiento físico. Como es obvio, dado que asumimos aquí que todo PSP debe supervenir en un PC, es inevitable admitir que si es posible ampliar la esfera de la pseudocausalidad, en algún sentido se amplía también el alcance de la misma causalidad. Pensamos además que, incluso si las definiciones de procesos e interacciones físicas genuinas sufriesen serias modificaciones (por ejemplo, abandonando una definición basada en CCs), el hecho de constatar la difundida y penetrante presencia de los PSPs tanto en física como más allá de ella, exigiría recuperar la superveniencia -o alguna relación semejante- de estos en alguna forma de causalidad que, incluso, pueda suponer componentes no físicos.²⁴ Con ese propósito, proponemos aquí dos ejemplos cuyos constituyentes relevantes son tanto físicos como no-físicos y que, al ser modelados de manera simple, revelan aspectos interesantes sobre la conexión entre lo causal y lo pseudocausal. Además, el primero representa un PSP de tipo SWG y el segundo de tipo TWG.

a. Imágenes ópticas tridimensionales

Según la teoría óptica clásica una imagen es real si se puede proyectar en una pantalla, si no es así entonces es virtual. En términos observacionales se dice que una imagen real se forma fuera del sistema óptico, en cambio, una imagen virtual lo hace dentro del sistema óptico. Por ende, una imagen tridimensional califica como una imagen real, en este sentido. Lo interesante es que al intentar modelar cómo ella se genera obtenemos un esquema más complejo de dos PSPs relacionados con un PC a la base. Así, el origen de la imagen puede ser un objeto cotidiano de talla media que califica entonces como un PC y que genera, a su vez, la colección de todos sus puntos ópticos coexistiendo simultáneamente en el espacio o lugar de origen de la imagen. Este es entonces un PSP óptico que superviene en el PC. A partir de ahí, la señal óptica se proyecta a todas las partes del espacio, generando finalmente otro PSP en nuestra retina, esto es, una imagen tridimensional estrictamente similar o análoga a la que tenemos del objeto que subyace bajo el aparato y que es claramente sensible al tacto. Así, este PSP debe supervenir al primero



Figura 13. A la izquierda una rana proyectada como imagen óptica real 3D y a la derecha una frutilla.

A continuación, proponemos una forma muy simple de explicar en óptica cómo se forma una imagen tridimensional real. El sistema óptico constará en este caso de dos espejos cóncavos y un objeto ubicado estratégicamente en el foco del espejo superior, el cual se verá reflejado en ellos. El siguiente esquema muestra la distribución de cuatro rayos de luz que son lo mínimo necesario para construir geoméricamente la imagen (en este caso el objeto tiene la forma de una casita). Como el objeto está constituido de una multiplicidad de puntos, cada uno de ellos refleja hacia el espejo un rayo, generando entonces infinitos rayos de luz. Desde luego, cada uno de estos rayos cumple la ley de reflexión al llegar al espejo superior o inferior. Además, con dos rayos podemos formar la imagen de cada punto del objeto. Por ejemplo, podemos formar un primer punto con rayos que representamos por medio de

líneas continuas y un segundo punto de la imagen con dos rayos más, que representamos por medio de líneas punteadas. Con los dos puntos separados espacialmente es suficiente para obtener geométricamente la imagen completa del cuerpo extenso.

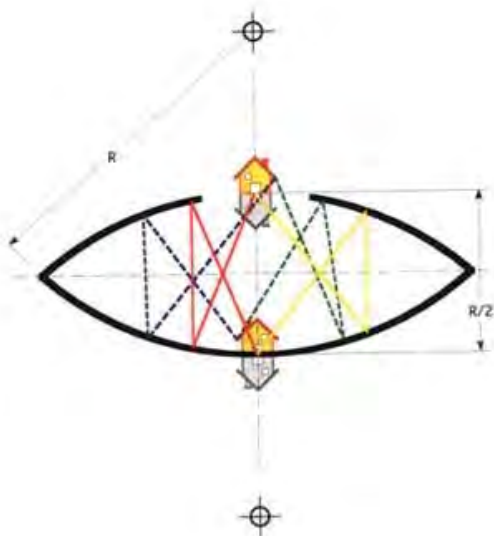
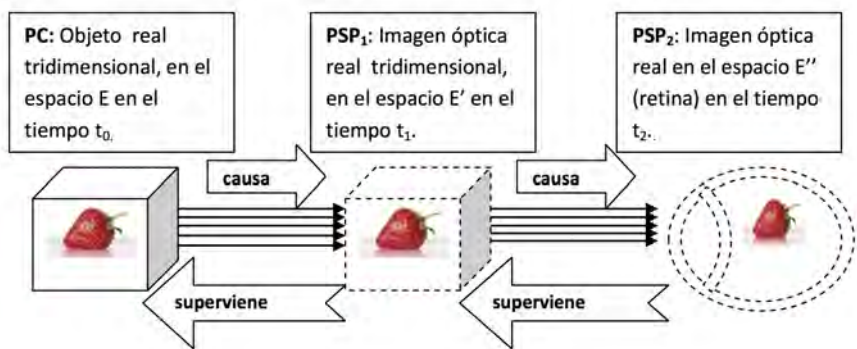


Figura 14. Sistema óptico de dos espejos cóncavos que permiten generar una imagen tridimensional real. La imagen creada corresponde a un PSP de tipo SWG.

Si consideramos la alta velocidad de la luz, dentro del orden de magnitud del sistema, podemos decir que la imagen real observada se forma simultáneamente en todos sus puntos en la salida del sistema óptico, por lo cual estamos en presencia de una imagen con coexistencia óptica, lo que permite calificar específicamente al PSP como de tipo SWG.²⁵

A continuación, modelamos causalmente la genealogía óptica de la imagen de la frutilla de la figura 13. En el esquema se muestra entonces tanto la presencia de los procesos causales como de los PSPs involucrados. Además, se puede ver cómo el fenómeno tridimensional complejo se descompone en dos relaciones de superveniencia, en el primer caso de lo pseudocausal a lo causal y en el segundo caso de lo pseudocausal a lo pseudocausal. Esto muestra dos hechos no menores: primero, que lo pseudocausal *puede* también causar y, segundo, que las relaciones pseudocausales pueden perfectamente ser relaciones de segundo orden y que, pese a esto, los observadores están preparados para admitir que portan alguna forma de realidad física, en la medida que proceden de procesos físicos genuinos.



b. Ola de hinchada en el estadio

Por último, queremos ilustrar un tipo de PSP de naturaleza mecánico-óptica que podmos observar recurrentemente en un estadio: el efecto perceptual de ola que puede realizar una hinchada al repletar sus tribunas. Decimos “mecánico-óptica” debido a que la base causal de este PSP es de naturaleza mecánica, aunque el PSP mismo sea, indudablemente, de naturaleza óptica y deba distinguirse de su base causal, ya que su percepción es determinada exclusivamente por la información electromagnética que obtenemos.

En el efecto de ola en un estadio, las personas sincronizadamente interactúan contra el suelo y las bancas para ponerse de pie, levantando sincronizadamente sus brazos, acción que provoca, como sabemos, el efecto perceptual de un movimiento ondulante en la dirección en que la ola, aparentemente, se desplaza. Si la sincronización se realiza de una forma lo suficientemente fina, no sería sorprendente que el movimiento de la ola alcanzara una rapidez mayor que la rapidez de la luz en el vacío, ya que se trata de un movimiento pseudoprosesual, y, por tanto, genera una pseudoentidad que no posee cantidades conservadas, en la dirección del movimiento.



Es posible modelar la mencionada ola de una manera simple si nos ubicamos al frente de algunas de las personas que participan de ella, como se ilustra en la siguiente imagen. Tomemos entonces para nuestro modelo nueve personas similares en un plano frontal, digamos X,Y . Donde Y es la dirección vertical, dirección sobre la cual la persona se moverá ya sea hacia arriba o hacia abajo, y X , la dirección hacia la cual se percibirá el movimiento pseudoprocésual.

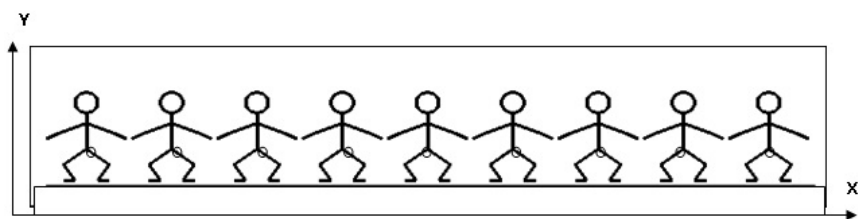


Figura 16. Representación frontal de 9 personas que conforman parte de la hinchada en la tribuna del estadio.

Ahora bien, si representamos a cada una de esas personas como si fuera un punto de centro de masa, podemos graficar dicho punto en un espacio de Minkowski bidimensional, Y,T , de la siguiente forma.

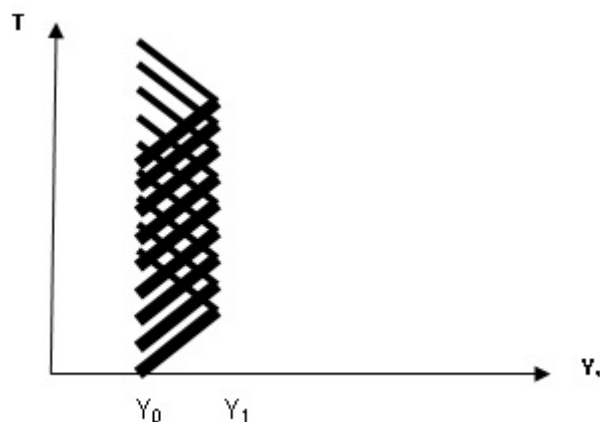


Figura 17. Representación del movimiento del centro de masa de las nueve personas, en un espacio tiempo bidimensional y en la dirección vertical.

Cada persona inicia su movimiento desde su asiento, identificado con la posición Y_0 , hasta llegar a una altura máxima, Y_1 , para luego volver hasta Y_0 . Claramente, cada persona es una entidad física que se mueve continuamente con cantidades conservadas. Por otro lado, cuando la primera persona inicia el movimiento vertical, su vecina casi inmediatamente da inicio también a su movimiento. De ahí que los gráficos de ida y vuelta del movimiento de cada persona aparezcan superpuestos con el gráfico vecino, y así sucesivamente. Por otro lado, si modelamos el mismo conjunto de movimientos, pero esta vez en el plano X,T , obtenemos para la misma secuencia temporal anterior la siguiente representación.

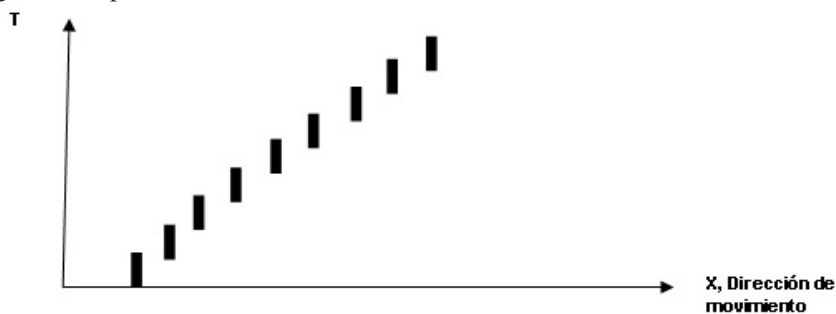
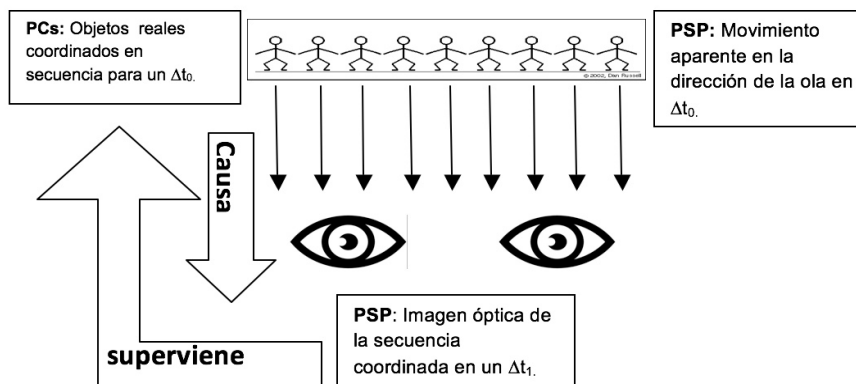


Figura 18. Representación del todo mereológico de las nueve personas, pero observadas en distintos tiempos, con un grado de coexistencia en sus partes temporales. Este es claramente un PSP del tipo TWG.

Es esta representación la que nos permite apreciar el movimiento aparente en la dirección X y que corresponde a lo que es llamado usualmente el efecto (pseudoprocesual) de la ola de una hinchada. Finalmente, el esquema abajo muestra una modelación simple de las relaciones entre los PCs y los PSPs involucrados en el fenómeno perceptual comentado.



7. Extendiendo la teoría: líneas y superficies pseudocausales

Junto con las entidades ya indicadas, en Quezada y Pavez (Quezada y Pavez 2014) hemos introducido, con el propósito de explicar cómo se difunden las relaciones causales entre niveles, los conceptos de *líneas y superficies pseudocausales*. Las primeras, son PSPs que se forman a partir de posibles interacciones puntuales entre PCs, que se despliegan en una determinada dimensión espacial, como muchos de los casos ya mostrados en las secciones anteriores. Un ejemplo simple puede ser un flujo de luz láser, enviado desde la Tierra, cuyos puntos de interacción con la superficie de la luna se muevan, aparentemente, en una dirección dada. El PSP que forma la línea puede ser sucesivo o simultáneo, pues según lo que hemos venido mostrando, no hay ningún tipo de restricción para ello. Las superficies, son PSPs que se forman debido a interacciones puntuales de PCs que se extienden en dos dimensiones del espacio, y –al igual que las líneas– estas superficies pueden albergar PSPs sucesivos o simultáneos.

Así, desde nuestra perspectiva, la detección de un PC o un PSP (y las mediciones o usos instrumentales asociados a ellos) en un macronivel, presupondrán una relación con PCs o PSPs en un micronivel, mediada por una línea o superficie pseudocausal, que hace de vínculo transicional entre los flujos de PCs, los que proveen la base ontológica. Estos elementos geométricos, por otra parte, no se requieren en la explicación del PC o PSP en el macroni-

vel, pues ellos no reemplazan a la causación, tal como ésta –de acuerdo a lo dicho anteriormente– se define en la teoría de cantidades conservadas. Los conceptos de línea y superficie pseudocausales, como elementos instrumentales de la teoría ya expuesta, están basados en un conjunto de tesis sobre causalidad ya desarrolladas en el trabajo mencionado anteriormente, por lo que sólo apelaremos a aquellas que resultan directamente relevantes para nuestra argumentación aquí. Estas son las siguientes.²⁶

- (TG) Los efectos causales medibles y detectables en un nivel superior presuponen siempre una transición desde un nivel inferior mediante una línea o superficie pseudoprocesual como su condición de posibilidad.
- (TCE1) Las fases transicionales pseudocausales están determinadas por la dimensionalidad espacial del flujo de procesos: si la fase es en una dimensión es una línea pseudocausal, si en dos es una superficie.
- (TCE2) Las líneas o superficies pseudocausales son líneas o superficies de transición pero no de producción causal, esto es, no tienen eficacia causal.
- (TCE3) Si lo causal micro/macro y lo pseudocausal micro/macro coinciden en el orden de magnitud, entonces las direcciones espaciales de los procesos involucrados no pueden coincidir.
- (TC4) Una superficie pseudocausal en un nivel puede modificar, alterar o agregar direcciones espaciales a los procesos de un nivel distinto para el cual ella es una condición de posibilidad.

En Quezada y Pavez (2014) se formulan además varios ejemplos de causación física en donde estas tesis se aplicarían, entre otros, medición en espectroscopia, medición de la temperatura de un gas, generación de energía eléctrica a partir de energía térmica y –en el caso de un mecanismo cotidiano que incorpora varios principios de física teórica– obtención de efectos pseudocausales a partir del uso de un mouse en un monitor computacional. Por cuestiones de espacio ilustraremos las tesis aquí solamente con un ejemplo de espectroscopia mediante el cual mostraremos cómo un espectro de un elemento atómico en una pantalla se puede interpretar como la presencia de un conjunto de líneas pseudoprocesuales, en las cuales coexiste un conjunto de fotones de idéntica energía (en cada línea) asociada a la transición de niveles de energía N de los electrones atómicos.

Con él además pretendemos destacar cómo los fotones individuales con un dado nivel de energía (esto es, PCs individuales) pueden caer en la pantalla sucesiva o simultáneamente, generando un PSP espacialmente unidimensional en cada región del espectro (una línea espectral). Es relevante además destacar aquí el tránsito que impone la interacción causal desde el nivel micro (fotón a fotón) al nivel macro (franja brillante).²⁷

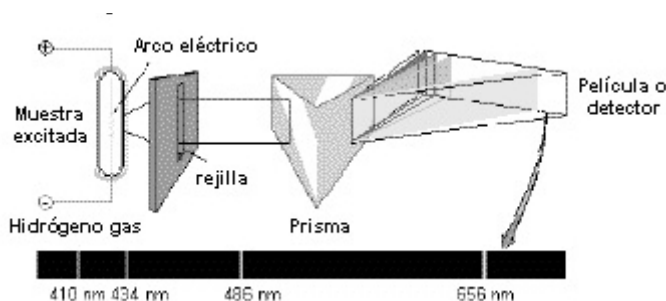
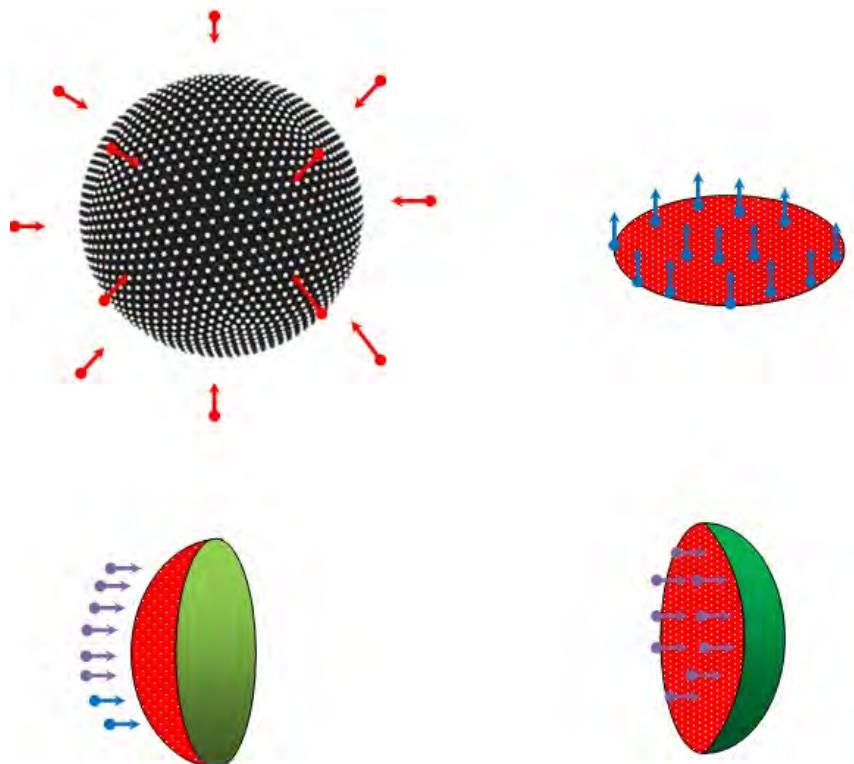


Figura 19. Gas de hidrógeno con electrones excitados que caen al nivel más bajo emitiendo fotones con determinada frecuencia y energía, los que son dispersados por el prisma y detectados por la placa sensible. En el átomo de hidrógeno hay cuatro líneas que son visibles.

Como se observa, el ejemplo ilustra cómo el bombardeo de los fotones de un flujo de luz (PCs lineales en una dirección) es asimilado por la pantalla, la cual transmite uniformemente las interacciones, a su vez, a quien las observa o se graban directamente en la placa fotosensible, la cual registra fenomenológicamente las franjas (PSPs). Así, constatamos que partimos en un nivel micro, esto es, el movimiento de los electrones excitados en cada átomo de un gas y terminamos, vía las líneas pseudoprocesuales, en un nivel macro en el cual observamos la energía característica a cada longitud de onda o frecuencia.

Hay dos cuestiones valiosas a considerar aquí, la primera, como ya indicamos, es que observamos interacción causal física desde el nivel micro (procesos electrónicos en los átomos del gas) al nivel micro (procesos fotónicos que salen de cada átomo) y desde éste a un nivel macro (la formación de la línea del espectro), que resulta, a su vez, ser un indicador de la cantidad de energía que poseen los procesos que la forman. En segundo lugar, observamos que los efectos tanto en el nivel micro como en el nivel macro, están todos sobredeterminados físicamente y que, de hecho, las líneas pseudoprocesuales son la fuente de la sobredeterminación física.²⁸

Finalmente, es claro que las formas que puedan adquirir tanto líneas de PSPs como superficies de PSPs, estarán determinadas por las formas tridimensionales de los cuerpos sobre los cuales ejercen su eficacia causal. A modo de ilustración, presentamos cuatro formas posibles.



Todas estas superficies pseudocausales pueden servir para modelar múltiples transiciones desde un proceso causal a otro (sea de un nivel a otro diferente o al mismo)²⁹. Por ejemplo, la figura superior izquierda, podría representar la capa fina de agua atrapada entre dos capas moleculares tensoactivas que crean una burbuja de jabón, cuya forma esférica es causada por la tensión superficial del agua. La figura superior derecha, podría representar la superficie pseudocausal creada en la base de un pistón como efecto de la presión de las moléculas de agua del vapor creado por una caldera cerrada y que permite convertir energía térmica en energía mecánica cuando aumenta lo suficiente la presión para empujar el pistón. Finalmente, la figura inferior izquierda podría servir -entre muchas posibilidades- para modelar la superficie que se crea cuando un chorro de fotones alcanza la córnea del ojo humano (o si se quiere, el iris), lo que permitirá posteriormente causar una primera información visual en el cristalino. En tanto, la figura inferior derecha, puede corresponder,

en esta modelación, a la superficie pseudocausal que se crea por la información lumínica recibida del cristalino antes de ser traspasada a las células de la retina y en la que dicha información se transformará en información nerviosa.

Finalmente, cabe enfatizar aquí nuevamente, que efectivamente los PSPs así como las líneas y superficies pseudoprocesuales no causan ni pueden causar en la dirección en que sus constituyentes (PCs) resultan ejercer influencia causal local, sin embargo, según su propia condición de posibilidad, estos constituyentes no pueden exhibir tampoco eficacia causal si no participan de una entidad pseudocausal.

8. Torretti: causación ordinaria, nomología y antropocentrismo

Hacia el final de su libro *Inventar para Entender*, R. Torretti dedica la última sección a tratar de las causas y de las leyes. Él declara allí su compromiso con una concepción antropocéntrica de nuestro “pensamiento causal ordinario”³⁰. Torretti dice:

El pensamiento causal ordinario es antropocéntrico y depende del contexto. Cómo distinga efectos y qué identifique como sus causas dependerá en cada caso de los usos y creencias humanas y del propósito que se persiga. (Torretti 2012, p. 540)

Y más enfáticamente,

La experiencia de ser el autor de un hecho -de obrar haciéndolo- es uno de los ingredientes primordiales de la autoconciencia. El filósofo que pretenda no tener idea de ello solo logrará hacer el ridículo. No puede ocultársele que nuestro concepto ordinario de causalidad está íntimamente ligado a esa idea, ya sea porque este se formó como una extensión natural de esa experiencia, ya sea porque..... el concepto de causa funciona de entrada como la categoría más amplia bajo la cual cae nuestro propio obrar en el mundo. (Ibid.)

Junto con esto, Torretti muestra su rechazo a aquella tendencia a considerar que el estudio de la evolución en el tiempo de sistemas físicos mediante procesos gobernados-por-ecuaciones-diferenciales (procesos-GED) “forman una cadena causal en la cual cualesquiera dos estados sucesivos están ligados como causa (el estado anterior) y efecto (el posterior)” (Torretti op.cit., p. 533). Esta asociación explicaría, a su juicio, la “trillada asociación entre causalidad y ley” que nuestro autor deplora. Sólo el estudio de sistemas-GED o procesos-GED puede permitir determinar leyes pues ellas capturan efecti-

vamente sucesiones o regularidades sujetas a ley. Así, la causalidad da origen a un estudio del pensamiento causal ordinario que -siguiendo los antecedentes etimológicos griegos de la palabra- podemos llamar “etiología” y, por contraste, el estudio de las regularidades mediante procesos-GED, sugiere Torretti, lo podemos llamar “nomología”. Ambos modos de pensamiento son fundamentalmente diferentes aunque se pueden conectar en paralelo debido a los intereses y acciones humanas que guían el uso de procesos-GED para representar fragmentos de la realidad, de modo que, para Torretti, ambos “funcionan juntos bastante bien”.

Finalmente, Torretti enfatiza que persiste una diferencia fundamental entre la etiología y la nomología. En sus palabras,

La principal discrepancia entre la etiología del pensamiento causal ordinario y la nomología de las ecuaciones diferenciales consiste en que esta presupone continuidad, mientras que aquella depende de la consideración de secuencias de términos discretos (Torretti op. cit., p. 539)

Así, parece haber cuatro tesis que Torretti está dispuesto a defender:

- a. El vínculo que ordinariamente reputamos de causación o causalidad debe ser modelado mediante la idea de manipulación o intervención humana. La causación es, por ende, un concepto esencialmente antropocéntrico.
- b. El estudio de la evolución de los sistemas físicos en el tiempo se realiza a través de ecuaciones diferenciales. Los procesos físicos así estudiados no representan estudios de la relación causal ordinaria o antropomórfica.
- c. El rasgo ontológico fundamental que distingue ambas conceptualizaciones y explica su irreductibilidad metafísica es la oposición continuidad/discontinuidad.
- d. El concepto antropomórfico de causación y el no antropomórfico de proceso-GED no pueden estar conectados entre sí pero pueden ponerse a trabajar en conjunto adecuadamente.

Sobre la tesis (a) nuestra perspectiva es de precavida simpatía. En primer lugar, aunque no suscribimos aquí ni en otras partes a una visión derechamente antropomorfista de la causación ordinaria, tampoco excluimos que, en ciertos contextos, un modelo de intervencionismo pudiese integrar PSPs a nivel de dicha causación (sin necesariamente suscribir a una concepción cau-

sal fiscalista de cantidades conservadas). Esto se deriva de que admitimos en general una concepción más bien pluralista de la definición del vínculo causal, en particular en ámbitos no físicos (cf. nota 24). Pese a esto, es importante indicar aquí que no vemos el modo ni los recursos a los que podría apelar un manipulabilismo antropocéntrico para capturar conceptos como línea o superficie pseudocausal que, a nuestro juicio, están a la base de muchísimas relaciones de causación ordinaria, incluso si se abandonase el procesualismo y se integrasen elementos contrafactuales³¹.

Sobre (b) es importante considerar que en nota introducida en 2012 a la versión en español de *Inventar para Entender* (nota 65), Torretti sugiere que su concepción de procesos-GED puede encontrar un paralelo adecuado con el concepto de proceso causal de W. Salmon, al que referimos en la primera sección de este ensayo.³² Este concepto, tal como lo define Salmon, suponía el concepto de transmisión de marca y, como se señaló en la misma sección, dicho concepto -motivado por una propuesta de Reichenbach- fue sustituido finalmente por el concepto de posesión de cantidad conservada introducido por Dowe el cual efectivamente permitió superar las muchas dificultades que aquel planteaba. Por ende, cuando Torretti señala en su nota que “los procesos causales en el sentido de Salmon se cuentan entre los candidatos naturales a ser representados científicamente como procesos-GED”, deberían entenderse dichos procesos más bien en el sentido Salmon-Dowe, como también se señaló en la mencionada sección. Esta clarificación no es menor pues permitiría mostrar con cierta precisión que, por ejemplo, un proceso de caída libre, un ejemplo que Torretti usa característicamente para representar un proceso-GED, en estricto rigor, terminará siendo descartado como un proceso causal por la teoría original de Salmon, por la sencilla razón que este último requiere autopropagación sin interacciones adicionales. Como deja claro Dowe, procesos como caídas libres u ondas de sonido propagándose en un medio simplemente no pueden ser reales en ausencia de interacciones y, por ello, requieren en su descripción de un campo causal, el que debe implicar tales interacciones (por ejemplo, con sus respectivos campos)³³. No obstante, los procesos causales definidos de acuerdo a la concepción de Dowe, esto es, de acuerdo a una teoría de posesión de cantidades conservadas, permiten con claridad y sencillez clasificar dichos procesos como genuinamente causales. Hecha esta aclaración y admitida eventualmente la correspondencia entre los procesos-GED y los procesos Salmon-Dowe, lo que restaría es determinar si los primeros podrían calificar también como causales. A esto Torretti replica que es una cuestión más bien de gusto, aunque se inclina por considerarlo un error que restituye la confusión entre la causalidad y la nomología. Por

nuestra parte, la cuestión relevante no es tanto ésta como la de saber si un proceso-GED se podría conectar con manifestaciones de pseudocausalidad, como las que hemos estudiado aquí. Volveremos sobre esto más adelante.

En relación a (c) nos parecería inevitable coincidir en gran parte con ella si asumiésemos que la casualidad ordinaria de Torretti captura las manifestaciones de entidades pseudocausales de las que hemos hablado en extenso en este trabajo, pues ellas, en su gran mayoría, pueden ser descritas como constituidas de elementos discretos, por oposición a los procesos causales cuyas partes no son, en gran parte, simples secuencias de términos discretos. Como se puede recordar, una condición de definición de la mayoría de las entidades pseudocausales es la separación espacial de sus constituyentes físicos, esto es, procesos causales. No obstante, existen excepciones: no tiene sentido decir, por ejemplo, que una sombra está constituida de términos discretos. Por otro lado, en el caso de los procesos causales tampoco podríamos ser estrictos con el contraste invocado por Torretti pues, como como ha remarcado el mismo Dowe, la teoría de cantidades conservadas, a diferencia de la teoría de Salmon, no está comprometida con la continuidad espacio-temporal de los procesos, lo que abre un ámbito, al menos teórico, a la inclusión de procesos microfísicos en dicha teoría³⁴.

Finalmente, todo lo dicho hasta aquí nos lleva naturalmente a concluir que no podríamos aceptar (d), si (i) admitimos que los procesos-GED pueden ser puestos en correspondencia con procesos causales a la Dowe y (ii) que los usos ordinarios y antropomórficos de causación de los cuales habla Torretti pueden asociarse con conceptos y mecanismos pseudocausales, como los que hemos venido desarrollando en este ensayo. Nosotros creemos que hay alguna evidencia para argumentar adicionalmente a favor de (ii) pues es posible mostrar, por ejemplo, que cada vez que decimos que el movimiento del mouse en la mano causa -en un sentido ordinario- el desplazamiento del cursor en la pantalla de un PC, la explicación entera deberá presuponer diferentes elementos y fases pseudoprocesuales a su base³⁵. El mismo ejemplo de Torretti sobre la lesión causada al cráneo de un hombre por el golpe de puño de otro puede ser modelado en términos de procesos causales y superficies pseudocausales superviniendo en aquellos³⁶. Así, si estas u otras explicaciones de situaciones cotidianas en las que se apela al uso de la causación, tal como la concibe Torretti, son posibles de implementar en términos de nociones causales y pseudocausales, entonces, contra lo que sugiere (d), parecería claro que existe una conexión, explicable con vocabulario físico, entre lo que Torretti considera un proceso físico, describable por una ecuación, y los usos agentivos y antropomórficos del vocablo “causa”. Esa conexión mostraría, tal

vez, no una vía para reducir los usos antropomórficos sino para explicar las bases físicas -mayormente inconscientes- que hacen posible que los agentes racionales perciban y describan una parte -probablemente la más importante- de su interacción compleja con el ambiente natural y no-natural en términos causales. Pero esa explicación no puede ser formulada, a su vez, apelando solamente o a conexiones causales o a intereses y motivaciones antropocéntricas, sino a algo más³⁷. Y de ese algo más ha tratado este ensayo.

Referencias bibliográficas

- Armstrong, D. (1980) "Identity through Time" en van Inwagen, P. (ed.) *Time and Cause*, Dordrecht, Reidel.
- Dowe, P. (1992) "Wesley Salmon's Process Theory of Causality and the Conserved Quantity Theory", *Philosophy of Science* 59: 195-216.
- Dowe, P. (2000), *Physical Causation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dowe, P. (2009) "Causal Process Theories" en Beebe, H. *et al* (eds.) *The Oxford Handbook of Causation*, Oxford, Oxford University Press.
- Gómez, J.M. y Steffen, W. (2009), "Agujeros negros supermasivos", *Investigación y ciencia*. vol. 396.
- Maudlin, T. (1995), *Quantum Non-Locality and Relativity*, Oxford, Blackwell.
- Pavez, L. y Quezada, W. (2012) "Pseudocausalidad en física", ponencia presentada en el VIII Encuentro de la Asociación de Historia y Filosofía de las Ciencias del Cono Sur (AFHIC), Santiago de Chile.
- Quezada, W. (2002), "Causalidad física: procesos causales y cantidades conservadas", *Revista de Filosofía*, U. de Chile, Vol. LVIII.
- Quezada, W. (2013), "¿La causalidad, sólo la causalidad y nada más que la causalidad? Un re-examen de la relación Causal", Conferencia Plenaria, III Congreso Nacional de Filosofía, Valparaíso, Chile.
- Quezada, W. y Pavez, L. (2011), "Causalidad, pseudocausalidad y medición", *Revista de Filosofía*, U. de Chile, Vol. LXVII. Pp. 251-268.
- Quezada, W. y Pavez, L. (2014) "Causalidad y espectralidad: examinando la difusión de lo causal en el mundo" ponencia en XV Jornadas Rolando Chuaqui, Santiago de Chile.

- Reichenbach, H. (1958), *The Philosophy of Space and Time*, New York, Dover.
- Reichenbach, H. (1956), *The Direction of Time*, Berkeley, University of California Press.
- Redhead, M. (1987) *Incompleteness, Nonlocality, and Realism: A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, Oxford, Clarendon Press.
- Salmon, W. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton, Princeton University Press.
- Schrödinger, E. (1952), “Are there quantum jumps?”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 3 (11), pp. 233-242.
- Torretti, R., (2007a), *De Eudoxo a Newton*, Santiago, Ed. Universidad Diego Portales.
- Torretti, R., (2007b), *Estudios Filosóficos* (1986-2006), Santiago, Ed. Universidad Diego Portales.
- Torretti, R., (2012), *Inventar para entender*, Santiago, Ed. Universidad Diego Portales.
- Woodward, J., (2003) *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*, Oxford, Oxford University Press.

Notas (Endnotes)

- 1 Este trabajo se desarrolló y contó con el apoyo del Proyecto Dicyt-Usach 031253QP.
- 2 Puede resultar sorprendente, pero la experiencia de los presentes autores sugiere que tales procesos son mediana o escasamente reconocidos por los físicos practicantes.
- 3 Cf. Reichenbach 1958, pp. 147-149 y p. 204.
- 4 Desde luego, admitir una ontología procesual presupone que en una descripción ontológica alternativa de la realidad física en términos, por ejemplo, de eventos o sucesos (aquella favorecida clásicamente por la interpretación de Minkowski de la TRE), la formulación del problema de los PSPs se deflaciona a una simple distinción entre secuencias físicas reales e irreales. Por consiguiente, en nuestra aproximación, basada en una ontología de procesos, se asume que el problema de los PSPs no consiste

simplemente en trazar tal distinción. Esta es, por lo demás, la postura mayoritaria de los autores trabajando actualmente en causalidad física. Para una defensa sistemática de la necesidad de modificar la ontología eventualista de la TRE por una ontología de procesos, cf. Salmon 1984, p. 144.

- 5 Reichenbach 1956, caps. 2 y 3.
- 6 Cf. Quezada 2002, para una síntesis y examen más detallado de estas teorías.
- 7 Una revisión más detallada de estos autores puede encontrarse en Quezada 2002 o en Dowe 2009.
- 8 Los procesos causales genuinos, por ser temporales, son entidades que se sustentan en intervalos finitos de tiempo y al parecer (aunque Dowe no se refiere explícitamente a esto) de ninguna manera en intervalos diferenciales puesto que, de lo contrario, un proceso finito en el tiempo proyectado al límite, es decir, cuando $\Delta t \rightarrow 0$, podría colapsar en un evento (sin interacción) o en una interacción local. Luego, para Dowe una cantidad conservada -como por ejemplo la energía o la carga- junto a un proceso que evoluciona en un tiempo finito como la cosmolínea de un objeto idéntico, son los ingredientes básicos de las entidades causales.
- 9 Volveremos sobre el intervalo $0C$, denominado *tipo espacio* o de separación espacial, al tratar en más detalle de los PSPs.
- 10 Para Dowe la cantidad conservada no necesariamente debe ser constante en todo el proceso.
- 11 Se debe hacer notar que esta es sólo una definición indirecta de PSP; Dowe parece presuponer que una definición directa no es necesaria si se puede trazar claramente la distinción entre un PC y un PSP.
- 12 En opinión de Dowe, si no suponemos el criterio de genidentidad no podríamos explicar que mi sombra, por ejemplo, es la sombra mía. Y yo soy un objeto con identidad que evoluciona en el tiempo y persiste; cf. Dowe 2000 p. 105.
- 13 Dowe 2000 pp. 105-6
- 14 Quezada 2013 y Pavez y Quezada 2012.
- 15 Cf. Dowe 2000, cap. 2.
- 16 Dowe en todo caso reconoce esto, cf. Dowe 2000, p. 105.
- 17 Cf. Armstrong 1980. Nótese que ya Schrödinger (Schrödinger 1952) ha-

bía enfatizado la pérdida de identidad en física cuántica, aunque se pueda admitir que el punto permanece abierto al debate.

- 18 Sobre superveniencia de lo pseudocausal en lo causal cf. Quezada y Pavez 2011.
- 19 Tampoco, desde luego, nuestra definición (así como la misma definición de Dowe) implica procesos que suponen entidades reales –tachyones por ejemplo- viajando por sobre C. Como advertirá el lector versado en TRE, estos sentidos de no causalidad en TRE corresponden a los que usualmente se distinguen en la literatura del caso y que han sido formulados con bastante precisión por T. Maudlin (cf. Maudlin 1995); cf. también para una discusión relevante del mismo punto Redhead 1987.
- 20 Ilustraciones tomadas del sitio <http://fisica.laguia2000.com/>
- 21 Cf. Gómez y Steffen, 2009, p.36.
- 22 Para derivar la relación bastará con realizar una operación de diferencia y otra de cociente. Cf. Gómez y Steffen, 2009.
- 23 Más detalles sobre los distintos ángulos y velocidades posibles de un chorro galáctico se pueden encontrar en Quezada y Pavez 2011.
- 24 Desde luego, esto supondría una nueva modificación de lo que cuenta como un PSP. Sin embargo, ya que, por una parte, no excluimos la posibilidad de una reformulación de la relación causal y, por otra, ya que no nos pronunciamos aquí acerca de una superveniencia humeana fisicalista, se puede inferir que no suscribimos ningún compromiso fuerte con un Principio de Clausura Causal de base fisicalista.
- 25 Las imágenes presentadas, aunque se muestran tridimensionales son siempre imágenes que entran al receptor (un ojo por ejemplo) a través de formas bidimensionales. Incluso si se trabajara con información de imagen holográfica, a partir de luz láser, y donde suponemos la noción de fase de la luz para obtener el efecto tridimensional, la información que recibimos a partir de la imagen recreada viene a nosotros por medio de superficies ópticas pseudocausales.
- 26 TG corresponde a “tesis general” y TCE a “tesis de causación especial”. Algunas de las tesis restantes son las siguientes (TCI corresponde a “tesis de causación interniveles”, cf. Quezada y Pavez 2014):

TCI1 Lo pseudocausal superviene directa o indirectamente en lo causal.

TCI2 Si lo pseudocausal superviene en lo causal, es imposible que lo primero esté en un nivel micro y lo segundo en un nivel macro.

TCI3 Lo causal micro causa en un nivel micro o macro.

TCI4 Lo causal macro puede causar en el nivel micro.

- 27 Este ejemplo muestra una transición de un nivel (micro) a otro (macro) por medio de un PSP generado por procesos efectivos. Incluso, los autores, han estado incursionando en rescatar procesos causales en el micro-mundo, con resultados ya expuestos en congreso de ciencia y filosofía. Por otra parte, también es importante indicar que en este tipo de mediciones espectrales, se puede obtener no sólo espectros de emisión, sino también los denominados espectros de absorción, donde los PSPs formados se construyen por ausencia de interacciones, es decir por medio de PSPs de tipo sombra.
- 28 Obviamente con la expresión “sobredeterminación” no estamos aludiendo necesariamente a un compromiso con el determinismo metafísico, esto es, los efectos desencadenados por la sobredeterminación no deben verse necesariamente como instancias de una ley universal o regularidad coherente.
- 29 Los cuadrados o los puntos en ellas son obviamente idealizaciones representando PCs puntuales. Las flechas destacadas indican la dirección relevante de dichos procesos en la superficie o en su entorno en orden a obtener los efectos característicos.
- 30 Torretti ha expresado directamente la misma opinión en Torretti 2007b, pp.213-220, a propósito de un comentario a Woodward 2003.
- 31 Indicamos esto debido a que las visiones clásicas de manipulabilismo causal de base antropomórfica han sido normalmente criticadas, sobre todo cuando se modelan procesos o estados físicos imaginablemente inaccesibles a cualquier conceptualización por manipulación directa. Empero, las versiones más contemporáneas del tipo de las desarrolladas por Woodward y otros parecen resistir adecuadamente muchas de esas críticas al introducir, desde el punto de vista formal, herramientas estadísticas y, desde el punto de vista filosófico, nociones contrafactuales. Así, es posible modelar en su interior conceptos como el de manipulación posible. Torretti ha expresado claramente su cercanía a estas concepciones, sobre todo en relación al pragmatismo que de ellas deriva y que parece capturar mejor su idea de causación ordinaria; cf. Torretti, Ibid. p. 215.
- 32 Torretti desecha la posibilidad de postular otro eventual paralelo entre su

concepto de causación ordinaria y el concepto de interacción causal, tal como lo definía Salmon.

33 Dowe 2000, pp. 74-5.

34 Dowe 1992, p. 214.

35 Hemos mostrado cómo implementar esta explicación en Quezada y Pavez 2014.

36 Cf. Torretti 2012, p. 538

37 Torretti sugiere una explicación antropocéntrica de cómo, por consideraciones pragmáticas, se puede elegir un modelo -GED para representar fragmentos de una realidad acotada, por ejemplo, acciones que llevan de un input a un output computacional o la elección e implementación de experimentos para explicar fenómenos naturales (cf. *Ibid*, p. 541). Desde luego, nuestra propuesta va en otra dirección, aunque puede interactuar con la explicación de Torretti.

Gaston Bachelard and the Hands of Albert Flocon*

Hans-Jörg Rheinberger**

Abstract

The paper deals with the engraving hand of Albert Flocon and its poetic description by the pen of Gaston Bachelard. It proceeds by discussing examples of the group of collaborative works that emerged from the cooperation between Flocon, the copperplate engraver and theoretician of perspective and Bachelard, the philosopher of science and scholar of literary images in mid-twentieth century Paris.

Keywords: Gaston Bachelard, Albert Flocon, Images of the hand, Concretion, Abstraction, Perspective, Phenomenotechnique, Surrealism.

Gaston Bachelard y las manos de Albert Flocon

Resumen

Este artículo se ocupa del grabado de mano de Albert Flocon y la descripción poética que realiza la pluma de Gaston Bachelard. Se procede a discutir los ejemplos del conjunto de trabajos que surgieron de la cooperación entre Flocon y Bachelard; el grabador en cobre y teórico de la perspectiva, y el filósofo de la ciencia y estudioso de imágenes literarias de la segunda mitad del siglo XX de París.

Palabras clave: Gaston Bachelard, Albert Flocon, imágenes de la mano, concreción, abstracción, perspectiva, fenomenotécnica, surrealismo.

* Dedicated to Roberto Torretti. Recibido: mayo 2016.

** Max Planck Institute for the History of Science. Berlin, Germany.
Email: rheinbg@mpiwg-berlin.mpg.de

This paper concerns the engraving hand of Albert Flocon and its poietic description by the pen of Gaston Bachelard. The paper will proceed by discussing examples of the group of collaborative works that emerged from the cooperation between Flocon, the copperplate engraver and theoretician of perspective and Bachelard, the philosopher of science and scholar of literary images in the mid-twentieth century in Paris.¹

I shall begin with some biographical remarks on Albert Flocon and Gaston Bachelard. Flocon was born as Albert Mentzel in 1909 in Köpenick near Berlin. From 1927 to 1929 he was a student at the Bauhaus in Dessau, where he studied, among others, with Josef Albers and Oskar Schlemmer (Flocon, 1994). Schlemmer's theatrical gaze had a profound influence on Flocon's later artistic work. As a left-wing Bauhaus member, married since the early 1930s to Lo Rothschild, a woman of Jewish descent from Frankfurt, Mentzel decided in 1933 to seek refuge in France with his young family. He spent the first few years there eking out a living in Paris in the advertising business, including in the studio of Victor Vasarely. To avoid deportation to Germany, he served in the Foreign Legion from 1939 to 1941. He finally made contact with the Résistance and in 1944 the Gestapo arrested him with his family in Toulouse. His wife and their daughter Ruth were deported shortly before the end of the war and murdered in Auschwitz. Mentzel survived as a prisoner in the panopticon penitentiary in Toulouse. After the war he returned to Paris, adopted the name of a revolutionary French ancestor, Ferdinand Flocon,² and became a French citizen.

Gaston Bachelard was born in 1884 as the son of a tobacconist in Barsur-Aube in the Champagne region.³ He was a post office employee in Paris before the First World War. He described his trajectory briefly and succinctly in a letter to Gustave le Bon as follows: "In the course of a very irregular intellectual life I studied science at the Sorbonne and graduated with an examination in mathematics and physics. Then I was employed at the post office and wanted to become a telegraph engineer."⁴ This came to nothing, however, because he spent the whole war as a soldier at the front. After the war he completed another quick study course and from 1919 to 1930 he taught

¹ For a more detailed account, see Rheinberger (2016).

² Ferdinand Flocon (1800-1866) was a radical liberal journalist and writer, and a member of the provisional government of the Second French Republic of 1848. He went into exile in Lausanne, Switzerland, after the coup d'état in 1851.

³ See the comprehensive biography by André Parinaud, *Gaston Bachelard* (Paris: Flammarion, 1996).

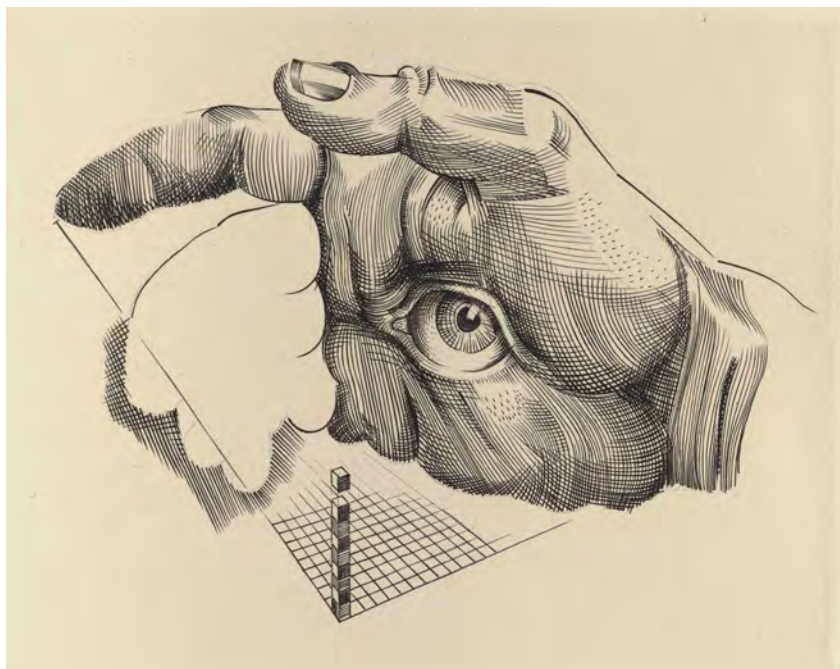
⁴ Letter from Gaston Bachelard to "Monsieur" (Gustave Le Bon), January 18, 1931, Dijon (private collection).

physics, chemistry and philosophy at the high school in his hometown. In 1927 he received his doctorate in philosophy of science and history of science at the Sorbonne under the guidance of Abel Rey and Léon Brunschvicg, and then worked from 1930 to 1940 as a professor of philosophy at the University of Dijon. In 1940 he was appointed to the chair of the history and philosophy of science at the Sorbonne and as director of the Institute for Philosophy and the History of Science and Technology. During his stay at the faculty of literature in Dijon and in the Quartier Latin in Paris thereafter, Bachelard developed close contact with the French surrealism scene. Even after he moved to Paris he spent the summer writing in Dijon.

The Meeting between Flocon and Bachelard or, The Hand of the Engraver

Flocon began his career as a copperplate engraver in Paris immediately after the Second World War. He had begun doing perspective sketches during his imprisonment in Toulouse; friends who were graphic artists convinced him that copperplate engraving would be an ideal medium for these drawings. Flocon learned the skills of engraving in Georges Leblanc's studios, where all the knowledge of this vanishing technique was still available. As he wrote in his memoirs, his first engraving was "an open hand pointing in one direction, in the palm of which an eye opens, in other words a hand that sees, the hand of the engraver" (**Fig. 1**) (Flocon, 1995: 134). He included this illustration later in his first book of graphic prints, in which the ten engravings were accompanied by ten short poems by Paul Eluard (Eluard & Flocon, 1948). This hand is emblematic of the art of reflexivity that became a hallmark of Flocon's work and was soon to attract the interest of Gaston Bachelard.

Figure 1



Éluard & Flocon, 1948: Fig. 1 in source.

To begin with, however, things were exactly the opposite. After founding the Graphies group in Paris – a group of artists who not only drew but were also printmakers themselves – Flocon, together with Albert Yersin, a colleague from the West of Switzerland who also lived in Paris, began organizing an exhibition for the group. Again, the hand was to be the central element. For the preface to the catalogue, Flocon conceived a “montage of quotations” from Bachelard’s recently published book, *La terre et les rêveries de la volonté* (Bachelard, 1948), which he had come upon while preparing the exhibition (Flocon, 1995: 143). According to Flocon’s memoirs, Bachelard’s publisher Corti suggested that he contact Bachelard, and Flocon took his advice. The two men met and Bachelard remarked that there was no point in “printing the same thing twice.” (Flocon, 1995: 144). He agreed nonetheless to write a short new text for the catalogue which he titled “Matière et main.” Flocon placed it at the front of the album *A la gloire de la main*, which was a compilation of the prints in the exhibition (Bachelard, 1949). Consisting of engravings, etchings and lithographs by Christine Boumeester, Albert Yersin and Flocon himself (**Fig. 2**), and a dozen other artists, it was accompanied

by a series of texts by contemporary French writers, among them Francis Ponge, Paul Valéry and Tristan Tzara. The book was printed in 1949 in the studio of Georges Leblanc in the rue Saint Jacques in Paris. Flocon's print on this occasion shows his own hand – "my hand." It is holding a burin and engraving a hand in turn – a hand, that is, "at work" on a hand (Bachelard, 1949: Plate 7). At the same time, the copper shows a further stage in the chain of defiguration and transfiguration: the physical hand is at work engraving the contours of another hand on the copper plate in which, finally, yet another outline in the shape of a hand is appearing, this time in the abstract form of a geometrical sketch.

A la gloire de la main marks the first time Flocon and Bachelard met in person. The philosopher remarked in his introductory text, "The happily aesthetic results do not obscure the history of toil that lies behind them, the history of the battle with matter." He went on, "This awareness of the hand at work comes alive within us as a sharing in the engraver's craft." (Bachelard, 1949: 11-12). There were two things that particularly fascinated Bachelard about the profession of engraving, and continued to occupy his thoughts: first, the forms of resistance in the confrontation of the hand with matter, and second, the hand as the material and as the conscious agent of a process of construction at the same time. Flocon recalls that the philosopher Bachelard was "always curious about the tools, the manipulations, the material labor." (Flocon, 1995: 144).

Figure 2



Bachelard et al, 1949: Fig. 7 in source.

Landscapes

A year later, in 1950, a substantial volume, *Paysages*, appeared, for which Bachelard wrote not only the introduction but also extensive texts to accompany the plates (Bachelard & Flocon, 1950). Flocon saw this series of engravings as a play on the theme of metamorphosis. He had been inspired to make them by the series of books that Bachelard had published with Corti between 1942 and 1948, which contained Bachelard's examination of the literary imagination of the four elements, earth, fire, air and water. He associated them with figures of

movement, matter, rest and will. He saw *Paysages* primarily as a manifestation of movement. He began the book with the following sentence: “In losing color — the most potent of all sensual attractions — the engraver retains one great opportunity: he can and must discover *movement*.” He continued, “The least line in an engraving is a trajectory, a movement.”⁵ Or, as he summarized it at the end of the introduction: Engraving is “taking possession of the world.” (Bachelard, 1971: 64). Bachelard saw his text as a form of notes — “Notes by a philosopher for an engraver.” Flocon recalls in his memoirs: “I brought Bachelard one or two plates a fortnight, so I saw him often and our friendship unfolded out of this shared work, in which the images are anterior to the text that illustrates them.” (Flocon, 1995: 182). Even if the term “illustration” may not seem quite the right one in this context — I would prefer “accompaniment” — the reversal of the conventional relationship between image and text highlights the special nature of this correlation here. What occurred in this interplay was the creation of two parallel universes, the one consisting of words and the other of lines. Bachelard formulated it as follows: “These notes on Albert Flocon’s engravings are the reactions of a solitary philosopher. If they have no other virtue, they have at least the spontaneity of the reclusive dreamer. In the case of the majority of the plates, Flocon and I did not look for any ‘common ground’.” (Bachelard & Flocon, 1950: 50). This, then, was not communication in the usual sense of the word. For Bachelard, “if the poet’s landscape is a state of mind, the engraver’s landscape is a disposition or outburst of will, an activity that is impatient to come to grips with the world. The engraver sets a world in motion, . . . provoking the forces that lie dormant in a flat universe. Provocation is his way of creating.” (Bachelard & Flocon, 1950: S. 10). The engraver’s labor is an object lesson in “work with hard materials,” as Jean Starobinski, the polymath from Geneva, put it in his review of the volume for *Journal de Genève*. (Starobinski, 1951: 3-4).⁶

I cannot discuss the 15 plates of this remarkable collection in detail here. The first four treat the themes of earth, water, air and fire (**Fig. 3**). Let us look more closely at fire. Here is a dancing couple rising from the ground in an eddy of motion. A flame turns into a whirl of smoke with embers still dancing in it and which finally mingles with the body of the female dancer. It echoes the dynamic movements of the dancers while binding them together to form a pirouetting loop surrounded by a heart-shaped outline.

⁵ Bachelard, 1971: “Introduction to the Dynamics of Landscape”, pp. 59-68, on p. 59. This text is the English translation of Bachelard’s introduction to Bachelard & Flocon 1950.

⁶ Here p. 4. This naturally recalls Starobinski’s works on gestures: Jean Starobinski, *Largesesse*, trans. by Jane Marie Todd (Chicago: Chicago University Press, 1997).

Figure 3



Bachelard & Flocon, 1950: Fig. 4 in source.

At first glance we seem to be looking at figures that have grown together to form a single, conjoined body. On closer inspection, however, the figures become distinct with the hands playing a central role once again. To some extent they embody the movement of the dancing couple. The two hands pointing upward come together to form a closed circle that simultaneously becomes a ring of fire. The hands reaching outward lead the way at the same time as holding the balance. For all the specific dynamic of fire, these hands, each stylized into characteristic gestures, lend the picture a playful and relaxed aspect in the midst of the magic of the sparks.

Another example I shall consider more closely is the plate that follows the introduction of the four elements (**Fig. 4**). Vegetable and human forms are intertwined with each other here. An arm is growing out of a branch from which

leaves are falling and flying toward the horizon; the curved space between the body and the branch stretches out and mutates into a hand; a leg twists into the interior of a snail shell lying on the ground; and the overall impression of jungle-like convolution is repeated in a more abstract form at the point where the gaze turns toward the horizon. All these elementary ingredients grow out of the center foreground of the picture, especially between the two legs of the torso as they merge into the deep forest surrounding this gigantic metamorphic struggle of a transformation whose movements dominate the whole picture.

Figure 4



Bachelard & Flocon 1950: Fig. 5 in source.

But it is not only vegetable and human forms that continually intertwine. Another characteristic feature of this engraving is that forms perpetually grow out of interstices and that figurations are transformed into interstices again.

The metamorphosis dominates not only the bodies but also the actual space of the engraver with his options. In fact, this confronts us with a continuation of the reflexivity that defined Flocon's earlier engravings of hands. And it is hands, in turn, that give the picture their character: hands that intertwine to form a treetop; an interstice that proliferates into a hand grasping the shoulder. Bachelard's comment on this engraving was, "We are here at the node of a metabolism of images." (Bachelard, 1971: 70). He even went as far as to elevate his associations anthropologically by stating that "The life of root and bud lies at the heart of our being. We are really very ancient plants." (Bachelard, 1971: 70).

Treatise on the Burin

Flocon wrote another work on the craft of the copperplate engraver and his hand, *Le traité du burin* (Flocon, 1952), in which he tried to analyze in detail "what happens at once in the head, the hands, and the eyes of an engraver." (Flocon, 1995: 184). The treatise was published in 1952. Bachelard contributed a lengthy preface to it which included plates on the engraver's craft with a companion text by Flocon. The seven chapters of *Le traité du burin* discuss "Engraving" as a primordial gesture, "Sharpening the Burin," "Mirroring," "The Proof," "Drawing the Stroke," "Meaning and Form," and finally "In-Formation." It is an appeal for the conviction that the freedom of the *artist* consists in overcoming impediments, comparable to the way Bachelard saw the quintessence of the work of the *scientist* – and thus of the "formation of the scientific mind" – as being the ability to overcome "epistemological obstacles," as he wrote in his book published in 1938. (Bachelard, 2002: Chapter 1). This treatise shows us the hand of the engraver in a further series of variations. One of the plates (**Fig. 5**) embodies – "negotiates" – the three dimensions of the space by means of a hand that is, in turn, part of a much bigger construction site. The three tiny figures under the mighty trihedron appear like marionettes controlled with invisible strings by the fingers of this hand. "The copperplate engraver," Bachelard remarked, "can never be passive; he copies nothing; everything must come from him, must be produced by him with a minimum of lines, surfaces he has to create by outlining them; to bring out his solids he has only the superposition of perspectives. Never was the power of construction better evoked, made more attractive and more purposefully approached than in the albums of the copperplate engraver and constructor Albert Flocon."⁷

⁷ Bachelard, 1971: "Albert Flocon's 'Engraver's Treatise'", pp. 79-82, on p. 79. This text is the English

Figure 5

Plate “Le trièdre” (Flocon, 1952).

Castles in the Air: The Work and the Project

“I have made another book with Bachelard,” we read in Flocon’s autobiography, “*Châteaux en Espagne*, for which he has written the commentary. These are the greatest copperplates I have ever made.” (Flocon, 1995: 197). Describing the period when the book was taking shape, Bachelard wrote, “The stories I’ve been telling myself all winter as Albert Flocon brought me week by week the individual sheets of his album!” (Bachelard & Flocon, 1957: 9). Once again he stresses what could be called their unspoken

collaboration: “Flocon, of course, never told me what his intention had been. He made me no speeches.”⁸ But Bachelard captures the substance of Flocon’s enterprise very precisely when he confesses: “I like engraving for its own sake, autonomous engraving, engraving which is primarily not illustration, the kind I call in my philosophical ruminations autoeidetic engraving. For me this is the ideal form of the story without words, the distilled story. And it is because the engraving ‘tells’ nothing that it obliges you, the musing spectator, to do the talking.” (Bachelard, 1971: 83).

Bachelard goes on to summarize as follows: “Flocon calls his collection *Castles in Spain*. He is inviting us to measure the distance between that which is seen and that which is dreamt; he is inviting us to move through what might be called *project-space*, to live in the *space-time of the project*. This is how, impenitent philosopher that I am, I would sum up Flocon’s vision: Flocon is the engraver of the *space-time of the project*.” (Bachelard, 1971: 85). These words are strongly reminiscent of a passage from *The New Scientific Spirit*, the key text of Bachelard’s early period of epistemological endeavor, in which he characterizes the modern sciences as follows: “Above the *subject* and beyond the *object*, modern science is based on the *project*. In scientific thought the subject’s meditation upon the object always takes the form of a project.” (Bachelard, 1984: 11-12). Here we approach the essence of the sympathy between Bachelard the philosopher of science and Flocon the engraver. Bachelard regards Flocon’s oeuvre as embodying an empowerment whose gesture he sees at work in the modern experimental sciences — and that, *mutatis mutandis*, also typifies his own philosophy of science.

The common denominator between the work of Bachelard and Flocon is what we might term “philosophy at work.” As Bachelard remarks in relation to one of the great plates of this volume – a fantastical construction (**Fig. 6**), “This is truly a page dedicated to the heroism of labor ... “Yes, I like a plate like this to illustrate the philosophy of work. It is more concrete than an architect’s drawing and more abstract than a finished work. This engraving is a *moment’s work*, the moment in which the work advances, the project becomes object, the object takes shape. An abstract-concrete plate.” (Bachelard, 1971: 91).

⁸ Bachelard, 1971: “Castles in Spain”, pp. 83-102, on p. 83. This text is the English translation of Bachelard’s notes to Bachelard & Flocon 1957.

Figure 6

Plate “Le nid d’aigle” (Bachelard & Flocon, 1957: Fig. 5 in source).

In view of these comments, it will hardly be surprising to find that in *Le rationalisme appliqué* — one of his epistemological works of the second series, around 1950 — Bachelard not only attributes an “abstract-concrete mentality” to the physics of his era, but also describes his own philosophy concerned with that mentality as a “philosophy at work” or “philosophy of work” (*philosophie au travail*), as opposed to what he dismissively calls the “philosophies of synopsis” (*philosophies de résumé*) of his predecessors and contemporaries. (Bachelard, 1949: 1, 9). And Bachelard sees Flocon’s incisions with the burin as “a symbol of the rock drill penetrating the resistant depths. From the moment of its very first, sketchy movement against a hard

material, a primeval tension determines in the hand that the entire being shall continue to strain.” And he adds, “Faced with a hard material, one must continue to act.” (Bachelard, 1971: 90-91).

For Bachelard the work of the engraver is the epitome of a particular kind of phenomenotechnique. If, as he argues in one of his early essays, modern physics is “no longer a science of *facts*; it is a technology of *effects*” and, no longer content with describing phenomena, is “a production of phenomena,”⁹ then the work of the engraver inscribes itself into a comparable space — the space of a “dialectic of nature and anti-nature.” (Bachelard, 1971: 94-95). This constructive yet abstract element in Flocon’s work is what fascinates Bachelard and resonates so deeply with his own philosophical orientation.

The castle in the air shown on this plate perfectly epitomizes this dialectic of nature and anti-nature. It literally reaches up into the clouds. The rock out of which it grows stands on a flat ground on which people are working, strolling, conversing and resting. Another interesting aspect of this plate is the strangely inverted relationship of foreground and background. Miniaturized human figures can be seen in the foreground, with enormous blocks of half-hewn rock in the background. Flocon introduces a counter-perspective into the heart of a classical geometric perspective with its vanishing point on the horizon. Thanks to that multiple perspectivity, an engraving like this one can evoke “the greatest contingency of contemplation,” comments Bachelard. He adds that, when looking at an image today, “I tell myself a different story from the one I told myself yesterday. Sincere contemplation is a capricious thing — pure caprice, in fact.” (Bachelard, 1971: 83).

This engraving also shows yet another play with the gaze, one that goes back to Flocon’s training in stage design with Oskar Schlemmer during his Bauhaus years. In a strangely fluctuating triple ambivalence, engravings such as this one repeatedly combine the space of a landscape, a stage in this space and a stage décor. It is never quite clear where the landscape ends and the stage begins, or where the stage ends and the décor begins, or the other way around. Moreover, each picture contains little surprises and jokes in the form of contingent addenda, mostly tiny human figures that comment on the scene from inside the scene.

And taking up the theme of the hand once again, the arms and hands of the little foreground figures carry, point and measure. Flocon’s depiction of these hatched figures reveals him as a master of gestural suggestion. But it is

⁹ Bachelard, 2006: 79 (translation emended) and 84.

the mighty stone block they are gathered around that can be seen not only as a rock but just as well as a stylized image of a fist, which emphasizes once again the gripping and forceful quality that made this picture so fascinating for Bachelard.

Conclusion

It is a figure of exuberance characteristic of Flocon's work: to operate at the limit of a technique whose boundaries perpetually challenged him. As he once expressed it, "I loved pushing rationality to its very limits." (Albert Flocon, 1983: 64). It is this figure that Bachelard traced in the sciences, and he also saw it at work in literary writing. "In writing, the author has already performed a transposition. He would not *say* what he has written." (Bachelard, 1969: 24). And when he writes, he is driven by the pen, "It is the pen which dreams." (Bachelard, 1969: 16).

In 1936 Bachelard wrote a short, programmatic essay on "surrationalism" in which he chose the following chiasmic sentence to describe the relationship between the arts and sciences of his day. "An *experimental reason* will be established, capable of organizing reality surrationally as the *experimental dream* of Tristan Tzara organizes poetic liberty surrealistically." (Bachelard, 1936: 186, translation emended).

We could interpret Bachelard's collaboration with an engraver twenty years later as a philosopher entering into the oeuvre of a visual artist whose labors epitomize the chiasmus of reason and dream quoted above: a surrational organization of the real and a surreal organization of the rational, in one and the same movement. Albert Flocon's pictures range between these two figurations. It is here, in the realm of art, that Bachelard found both the embodiment of the motto of his short text on surrationalism and the way he could pursue it in his own life. "One should choose the side where one thinks the most, where one experiments the most artificially, where ideas are the least viscous, where reason loves to be in danger. *If, in any experiment, one does not risk one's reason, that experiment is not worthwhile attempting.*" (Bachelard, 1936: 188, translation emended).

References

- BACHELARD, Gaston (1936). "Surrationalism," trans. Julien Levy, in *Surrealism*, ed. Julien Levy. New York: Black Sun Press, pp. 186–89.
- BACHELARD, Gaston (1948). *La terre et les reveries de la volonté*. Paris: José Corti. English translation: *Earth and Reveries of Will*; Bachelard, *Earth and Reveries of Repose*.
- BACHELARD, Gaston (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris: Presses Universitaires de France.
- BACHELARD, Gaston (1969). *The Poetics of Reverie: Childhood, Language, and the Cosmos*, trans. Daniel Russell. Boston: Beacon Press. (*La poétique de la rêverie*, 1960).
- BACHELARD, Gaston (1971). *The Right to Dream*, trans. J. A. Underwood. New York: Orion.
- BACHELARD, Gaston (1984). *The New Scientific Spirit* (1934), trans. Arthur Goldhammer. Boston: Beacon Press.
- BACHELARD, Gaston (2002). *The Formation of the Scientific Mind: A Contribution to a Psychoanalysis of Objective Knowledge* (1938). Trans. Mary McAllester Jones. Manchester: Clinamen.
- BACHELARD, Gaston (2006). "Noumenon and Microphysics" (1931–1932), trans. Bernard Roy, *Philosophical Forum* 37, no. 1: 75–84.
- BACHELARD, Gaston & FLOCON, Albert (1950). *Paysages*. Rolle, Vaud: Eynard.
- BACHELARD, Gaston & Flocon, Albert (1957). *Châteaux en Espagne*. Paris: Cercle Grolier, Les amis du livre moderne.
- BACHELARD, Gaston et al. (1949). *A la gloire de la main*. Paris: Aux dépens d'un amateur.
- ÉLUARD, Paul & FLOCON, Albert (1948). *Perspectives: Poèmes sur des gravures de Albert Flocon*. Paris: Maeght.
- FLOCON, Albert (1952). *Le traité du burin. Avec une préface de Gaston Bachelard*. Paris: Librairie Auguste Blaizot.
- FLOCON, Albert (1983). "Main ouvrière et main rêveuse. Entretien avec Gil Jouanard," in *Bachelard ou le droit de rêver. Solaire, numéro spécial 10e anniversaire*, Saint-Julien-de-Peyrolas, Spring 1983, 57–65.
- FLOCON, Albert (1994). *Points de fuite 1909-1922*, Vol. 1. Neuchâtel: Editions Ides & Calendes.

FLOCON, Albert (1995). *Points de fuite 1909-1922*, Vol. 2. Neuchâtel: Editions Ides & Calendes.

PARINAUD, André (1996). *Gaston Bachelard*. Paris: Flammarion.

RHEINBERGER, Hans-Jörg (2016). *Der Kupferstecher und der Philosoph. Albert Flocon trifft Gaston Bachelard*. Zurich and Berlin: Diaphanes.

STAROBINSKI, Jean (1951). "Paysages gravés", in *Journal de Genève*, January 27, pp. 3-4.

STAROBINSKI, Jean (1997). *Largesse*. Trans. by Jane Marie Todd. Chicago: Chicago University Press.

Categorías, intuiciones y espacio-tiempo kantiano*

Adán Sus**

Resumen

Kant afirma que espacio y tiempo son condiciones a priori de toda experiencia, a la vez que parece comprometerse con la naturaleza euclidiana del espacio y la simultaneidad absoluta. Su defensa del carácter a priori de estas nociones pasa por considerarlas intuiciones puras, de ahí que su naturaleza newtoniana parecería tener su origen en la configuración de lo que Kant llama intuición. No obstante, como muestran ciertas discusiones recientes, no está claro qué sea la intuición en Kant y cómo se determina el espacio-tiempo a partir de ella. En este artículo, me acerco al debate sobre la procedencia de la síntesis de la intuición pura que, según Kant, determinaría la estructura espacio-temporal y discuto hasta qué punto tener en cuenta la participación de las categorías en esta síntesis puede tener un efecto en el compromiso que, según la propuesta kantiana, uno debería asumir con respecto a una métrica determinada a priori. Mi conclusión es que el análisis kantiano da cabida, de forma natural, a que la determinación de la métrica espacio-temporal no esté dada a priori, en el sentido de universal y necesariamente.

Palabras clave: Espacio-tiempo, intuición pura, Kant, simultaneidad.

Categories, intuitions and Kantian space-time

Abstract

Kant states that space and time are a priori conditions of experience, while apparently being committed to the euclidean nature of space and absolute simultaneity. His defense of the a priori character of spatio-temporal notions stems from taking them as pure intuitions, so its newtonian nature would derive from the configuration of what Kant names as intuition. Nevertheless, according to some recent discussions, it is not clear what intuition means for Kant and how space-time is determined from it. In this paper I look into the debate

* Recibido: octubre 2016.

** Departamento de Filosofía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Valladolid. Valladolid, España. Email: adansus@fyl.uva.es

about the origin of the synthesis of pure intuition that, according to Kant, would determine the spatio-temporal structure. I discuss to what extent taking into account the participation of categories in such a synthesis might have an effect on the commitment that, according to the kantian perspective, one should have with respect to the metric being determined a priori. My conclusion is that kantian analysis can incorporate the idea of a spatio-temporal metric that is not given, in the sense of universally and necessarily, a priori.

Keywords: Space-time, pure intuition, Kant, simultaneity.

1. Introducción

Aunque pocos cuestionarían hoy la relevancia del pensamiento de Kant para el debate filosófico sobre las nociones de espacio y tiempo, no se puede decir que exista un acuerdo generalizado acerca de en qué consista principalmente la aportación kantiana a dicho debate. Más allá de los lugares comunes que ponen de manifiesto que para Kant espacio y tiempo son condiciones a priori de todo conocimiento – en particular, dice Kant, formas a priori de la intuición – y, por ende, aportaciones subjetivas al conocimiento de objetos en lugar de ser entidades reales o determinaciones de las cosas mismas – afirmaciones que corren el peligro de quedar vacías si no se especifica el sentido de términos tan problemáticos como *intuición* o *subjetivo* – no parece haber consenso con respecto a la especificidad de la propuesta ni a su vigencia.

La situación puede presentarse, crudamente, de la siguiente manera: si Kant defendía que espacio y tiempo son condiciones a priori aportadas por la intuición, si la intuición se ajusta a los preceptos de la geometría euclidiana y la simultaneidad absoluta, y “a priori” implica necesario, entonces la propuesta de Kant obligaría a afirmar – como de hecho parece haber sostenido el propio Kant – que el espacio y el tiempo de la física han de ser los de la física newtoniana (espacio euclidiano y tiempo absoluto). Si añadimos que a principios del siglo XX Einstein formula dos teorías (la Teoría de la Relatividad Especial y la Teoría de la Relatividad General) que introducen estructuras espaciotemporales que no cumplen con los rasgos newtonianos, entonces el proyecto kantiano habría quedado refutado. Ante esto, distintas opciones parecen posibles: uno puede estar de acuerdo con la conclusión y pensar que, efectivamente, la historia de la física dio la espalda al proyecto de fundamentación kantiano (posición popular entre la comunidad de filósofos de la física) o pensar que el proyecto kantiano puede reformularse o reinterpretarse de manera que quede mermada la fuerza de argumentos de ese tipo. Esta última actitud tiene una larga historia y ha sido defendida de maneras diversas en los

últimos doscientos años, sin que ello indique, ni mucho menos, que constituya una posición interpretativa unitaria. El presente trabajo puede entenderse como un intento de contribución en este heterogéneo territorio.

En particular, quiero centrarme en la cuestión de en qué medida el planteamiento kantiano es compatible con los fundamentos espaciotemporales de la física relativista y qué consecuencias tendría dicha compatibilidad para la interpretación de la propuesta de Kant. Este problema fue abordado ya en las décadas que siguieron a la formulación de las teorías de Einstein, por autores tan relevantes como Reichenbach o Cassirer y, en tiempos más recientes, por otros como Disalle, Friedman o Torretti. Mi propuesta enlaza con distintos artilugios conceptuales aportados por estos brillantes autores que han discutido largamente sobre cómo interpretar y actualizar la propuesta kantiana a la luz de, principalmente, los cambios que las teorías de la relatividad impusieron en nuestra comprensión de espacio y tiempo. Aunque aquí no trataré de trazar esas relaciones de manera exhaustiva, sí entraré en discusión con algunas de las afirmaciones que avanzan Torretti y Friedman relativas al significado de algunos de los conceptos que introduce Kant. Más específicamente, me ocuparé de asuntos como la comprensión de la noción de la *intuición pura*, la interpretación de las *categorías* y los *principios del entendimiento*, el *a priori* como constitutivo y el carácter de los elementos que intervienen en la *construcción* de espacio y tiempo. A pesar de eso, mi pretensión no es entrar en la discusión de cómo mejor interpretar el texto kantiano, para lo cual no estoy capacitado, sino usar la propuesta de Kant para explorar estrategias que podrían iluminar ciertas discusiones recientes acerca de cómo entender el espaciotiempo relativista.

Avanzo brevemente el recorrido que se lleva a cabo en el artículo. La cuestión central de la que me ocupo puede apresarse escuetamente de la siguiente manera: tratar de identificar en el esqueleto conceptual de la propuesta kantiana aquellos ingredientes de los que depende el compromiso de Kant con el espacio y el tiempo de la física newtoniana. No me interesa tanto si Kant estaba más o menos dispuesto a cuestionar la validez *a priori* de dichas estructuras (la de espacio y tiempo newtonianos), sino más bien el compromiso de su análisis con ellas y la potencia de su sistema para dar cabida a estructuras diferentes, sin que con ello se modifique sustancialmente la caracterización kantiana de espacio y tiempo. Para ello, en primer lugar (sección 2) me enfrento al problema de cómo entender la noción de intuición pura que Kant introduce en la *Estética Trascendental* de la *Crítica de la Razón Pura* y que es central para esta concepción kantiana de espacio y tiempo. En particular, dirijo mi atención a cierta discusión abordada por Friedman que considero central para comprender la esencia del compromiso de Kant con la geometría euclidian: la cuestión del origen de la unidad de la intuición pura que da lugar a los conceptos (no intuiciones) de espacio y tiempo. Esto nos llevará

a preguntarnos, directamente, por el papel que juegan las categorías en la unidad de la intuición pura y en la determinación de la geometría euclidiana y el tiempo absoluto; para lo cual es necesario abordar el sentido de la introducción de la noción de Esquema que Kant efectúa en el Esquematismo Trascendental (esto lo hago en las secciones 3 y 4). Con esto tendremos los elementos para presentar una propuesta en la que la determinación de la métrica espacio-temporal habría de entenderse como haciéndose efectiva mediante las categorías del entendimiento; lo cual habría de ser coherente con el desarrollo de las distintas categorías que Kant presenta en la Analítica de los Principios – especialmente relevante para nuestra discusión, en las Analogías de la Experiencia. De esta presunta coherencia me ocupo en la sección 5. Por último, me ocupo de hasta qué punto la interpretación aquí avanzada pone en cuestión el estatuto a priori de la geometría euclidiana y el tiempo absoluto (Secciones 6 y 7) y concluyo con una breve discusión acerca de, en tal caso, cómo entender el carácter a priori de espacio-tiempo en una propuesta que comparta los rasgos esenciales con la kantiana.

2. Intuición Pura y espacio

En la Estética Trascendental de la *Crítica de la Razón Pura*, Kant presenta la idea de que espacio y tiempo han de ser entendidos como formas a priori de la intuición, o como intuiciones puras. Como muchos comentadores han manifestado, no es fácil entender qué es lo que Kant quiere decir con esto. Por un lado tenemos el problema de entender qué sentido tienen términos como “puro” o “a priori” en Kant – sin olvidar la engañosa claridad de la expresión “forma de” – pero, sobretodo, nos encontramos con el reto de interpretar adecuadamente el concepto de intuición. Si atendemos a las palabras del propio Kant, al principio de la Estética Trascendental, la intuición es el modo por el cual el conocimiento se refiere a objetos inmediatamente (A19/B33).¹ La intuición caracteriza la presencia de la representación y tiene los rasgos de lo singular, lo dado aquí y ahora. Frente a esto, el concepto es la parte mediata de la referencia a objetos, la representación universal. Por otro lado, hay que distinguir entre el contenido de la intuición, lo que Kant denomina materia o sensación, de la forma o intuición pura. Para Kant, la intuición pura es lo que proporciona la fundamentación de la matemática. Además, y esto es lo fundamental, espacio y tiempo son presentados como aspectos de la intuición pura.

Existe un extenso debate acerca del problema del papel preciso que tiene la intuición pura en el conocimiento matemático o, dicho de otro modo, de cómo ha de entenderse dicha facultad para que pueda fundamentar el conocimiento

¹ Todas las citas de la *Crítica* están tomadas de la traducción española: Kant, I. (1978). Sigo la práctica habitual de hacer referencia a las páginas de las dos ediciones originales: 1781 (A) y 1787 (B).

matemático, en particular, en el caso de la intuición espacial, la geometría de Euclides. Friedman (Friedman, 2012) proporciona un ejemplo reciente; allí se aborda la pregunta de cómo la intuición pura, particular, puede legitimar un conocimiento como el matemático cuyo rasgo central es su carácter apodíctico. Friedman cuestiona, entiendo que acertadamente, ciertas propuestas que tratan de dar cuenta del problema partiendo de una concepción que entiende que las intuiciones puras no son más que intuiciones empíricas particulares de las cuales se abstraen ciertas propiedades en las demostraciones geométricas.² En parte, la objeción a esa forma de entender la intuición pura tiene que ver con que no encaja bien con lo que Kant dice al respecto en otras secciones de la *Crítica*; en particular, en el Esquematismo Trascendental, lugar dónde Kant pretende articular la peliaguda relación entre conceptos (puros) e intuiciones (puras) introduciendo una representación intermedia que Kant llama “esquema” y que se vincula con la facultad de la Imaginación. Ahí Kant deja claro que los esquemas de los conceptos matemáticos (en su terminología, los conceptos sensible puros) no pueden ser imágenes sensibles, sino que han de ser entendidos como la efectiva realización de la regla de construcción implicada en el concepto y que la imagen – cierta intuición sensible – ha de entenderse como producto del citado procedimiento constructivo. Esto encajaría mal con la comprensión de la intuición pura como una imagen que fuera punto de partida a partir del cual se puedan extraer rasgos que son relevantes para las demostraciones geométricas. La imagen es resultado de la aplicación de cierta regla de construcción y no puede ser punto de partida en el orden de la legitimidad (sí, naturalmente pueden serlo desde el punto de vista del hecho psicológico).³

Esto último queda todavía más claro si se atiende al movimiento que pone en marcha Kant, al principio de la obra, para justificar la necesidad de echar mano de lo puro a priori para legitimar el conocimiento empírico. En un célebre pasaje de la Introducción, nos dice Kant “¿de dónde sacaría la misma experiencia su certeza si todas las reglas conforme a las cuales avanza fueran empíricas y, por tanto, contingentes?” (B5). Como señala Friedman (2012, p. 240), en el caso de la intuición, esto significa que la intuición pura ha de ser “previa” (entiéndase de nuevo en el orden de la justificación) a cualquier intuición sensible (incluyendo, por descontado, cualquier imagen o diagrama matemático) y que sólo si la primera es presupuesta, la segunda es posible.

Parece suficientemente justificado que las intuiciones puras en ningún caso deben confundirse con intuiciones sensibles, incluso si estas son las imágenes sin atributos de las figuras geométricas, pero entonces la pregunta acerca de

² Las obras a las que Friedman hace referencia son, principalmente: (Manders, 2008); (Shabel, 2003a).

³ Más adelante (Sección 4) será útil para nuestra discusión insistir y concretar la función que juega el esquema en la argumentación kantiana.

cómo puede la intuición pura ser el fundamento de las demostraciones matemáticas se hace urgente (no olvidemos que la razón principal para considerar la intuiciones puras como imágenes/diagramas es la idea de que esto pudiera aclarar su papel en las demostraciones matemáticas); especialmente, si uno quiere entender el origen y el alcance del compromiso kantiano con el espacio euclidiano y el tiempo absoluto.

Como hace notar Friedman, el alcance del problema al que se enfrenta Kant es mucho mayor que el de dar cuenta del papel de las intuiciones en las demostraciones matemáticas; la filosofía crítica tiene la pretensión de explicar la aplicabilidad de las matemáticas al mundo empírico y, más en concreto, la idoneidad de la geometría euclidiana para la descripción del espacio físico. Y es precisamente esta amplitud de miras la que permite solucionar el problema. Básicamente, la idea es que la intuición pura que está presupuesta en toda demostración geométrica es la misma que Kant identifica como la forma de todo fenómeno empírico externo. Friedman (2012: 240-243) señala algunos pasajes donde Kant distingue el espacio geométrico de lo que él llama “el espacio metafísico”, el espacio subjetivo dado presupuesto en toda percepción del mundo externo. A este último, Friedman lo llama “espacio perspectival” porque siempre presupone la presentación de las apariencias externas bajo un determinado punto de vista. Lo importante es que Kant distingue estas dos nociones de espacio para afirmar su relación mutua. La relación consiste, según Friedman, en que la estructura a priori del espacio metafísico, identificable con la estructura invariante bajo movimientos entre distintas perspectivas sobre los objetos externos, es la que define precisamente la estructura geométrica o, dicho de otro modo, esos son precisamente los movimientos codificados por la geometría dada, esto es, euclidiana. De esta manera, pues, se entendería cómo la intuición pura, en tanto que forma de la intuición empírica y proporcionada por la estructura que es invariante para toda intuición empírica y que queda codificada por los movimientos entre las distintas perspectivas posibles, es aquello mismo que permite las construcciones de la geometría euclidiana; y, además, en el sentido inverso, explica por qué las intuiciones empíricas externas estarían sometidas a las condiciones de la geometría euclidiana.

A pesar de su plausibilidad inicial, este tipo de explicación remite a dos cuestiones que requieren elucidación. Primero, se pone de manifiesto que lo que entra en juego para dar cuenta del papel de la intuición pura en la fundamentación de la geometría y del espacio es algo que parece ir más allá de la intuición misma. En la forma aquí presentada, eso se manifiesta en la referencia a la existencia de distintas perspectivas posibles o, en términos más kantianos, a la unidad de las distintas representaciones bajo una misma percepción. Y sabemos que toda referencia a la unidad de la multiplicidad cognoscitiva en Kant parece remitir a los conceptos y la facultad del entendi-

miento. En segundo lugar, hay algo presupuesto en la explicación que quizás no ha quedado del todo explicitado: se ha presupuesto que las transformaciones que conectan las distintas perspectivas son las traslaciones y las rotaciones – aquellas, en definitiva, que definen la geometría euclidiana – pero no se ha justificado dicho presupuesto. Podría pensarse que la justificación viene dada por la misma configuración de la intuición empírica, pero debería quedar claro que eso no puede constituir una buena justificación en clave kantiana. Así, queda en el aire algo que debería ser esencial para el sistema kantiano: la justificación de que la estructura asociada con la intuición pura sea precisamente la geometría euclidiana y no otra. O bien, utilizando los recursos que ofrece el análisis kantiano, se muestra cómo dicha estructura viene dada a priori, o parece que, invocando elementos que el propio análisis no sanciona como a priori, nos salimos del sistema kantiano.

Vamos a ver que estas dos cuestiones, en realidad, hay que abordarlas juntas. Fijémonos en la cuestión de la aparición de la referencia a la unidad en el contexto de la discusión de la intuición a priori. Esta irrupción puede causar extrañeza dada la insistencia de Kant⁴ en que espacio es intuición y no concepto, y su caracterización de intuición como lo opuesto al concepto: la multiplicidad frente a la unidad. Así que, de nuevo, debemos preguntarnos de dónde surge esa referencia a la unidad al identificar la intuición pura espacial. Aquí, como algunos autores hacen, conviene distinguir entre el espacio en tanto que intuición pura externa y el concepto de espacio. Esto lo encontramos, por ejemplo, en Shabel (2003b) dónde se defiende que el concepto de espacio, y por tanto la unidad aquí referida, es un tipo particular de concepto más general que los conceptos puros sensibles, que Shabel denomina “concepto estético puro” (Shabel, 2003b : 49). Sin embargo quiero centrarme en la interpretación que Friedman avanza para enfrentarse a esta situación de la referencia a la unidad de la intuición pura de manera que ésta se pueda identificar con espacio y tiempo. Según él, la unidad implicada en la caracterización del espacio metafísico debe entenderse como una unidad intelectual (que implica al entendimiento) pero todavía no conceptual. Las razones que esgrime Friedman tienen que ver, básicamente, con la prioridad que esta síntesis ha de tener con respecto a cualquier otra síntesis (Friedman, 2012: 248). No hay duda de que, en tanto que síntesis espacial, ésta ha de preceder (estar presupuesta en) todos los espacios y todos los conceptos geométricos. Pero esto no es suficiente para afirmar su naturaleza pre-conceptual y Friedman es consciente de ello. De ahí que afirme que la unidad en cuestión preceda también a todas las categorías; aunque aquí los argumentos no están tan claros. Parece que Friedman basa esta prioridad en el hecho de que las categorías, como se verá, se corresponden con distintas determinaciones transcendentales.

⁴ Véase lo que Kant denomina la Exposición metafísica del concepto de espacio (A23/B38).

les del tiempo mientras que la discutida unidad originaria del espacio (y del tiempo habría que decir) no es idéntica a ninguna de estas determinaciones particulares sino que está presupuesta por ellas.

Estas últimas afirmaciones son muy delicadas y la postura de Friedman en este punto tiene consecuencias para la adecuada comprensión del estatuto de la geometría euclidiana (y como se verá, del tiempo absoluto) en la filosofía kantiana. Como decía arriba, las dos cuestiones están entrelazadas. Kant, en efecto, parece indicar que la unidad implicada en las intuiciones de espacio y tiempo es anterior a todo concepto. Esto se dice claramente en la nota de la *Deducción Trascendental* de la segunda edición citada por Friedman:

El espacio representado como objeto (tal como requiere efectivamente la geometría), contiene algo más que la mera forma de la intuición: es una fusión, dentro de una representación intuitiva, de la variedad dada según la forma de la sensibilidad. De modo que la forma de la intuición solo suministra variedad a la representación, mientras que la intuición formal le proporciona la unidad. Con el fin de hacer notar que esta unidad precede a cualquier concepto, sólo la había atribuido, en la *estética*, a la sensibilidad, pero, de hecho, presupone una síntesis que, sin pertenecer a los sentidos, es la que hace posible todos los conceptos de espacio y tiempo. En efecto, es a través de ella (dado que el entendimiento determina la sensibilidad) como se dan el espacio o el tiempo en cuanto intuiciones. Por eso pertenece la unidad de esa intuición a priori al espacio y al tiempo, no al concepto del entendimiento. (B160-161)

Afirma Kant, pues, que la síntesis de la intuición que es constitutiva de espacio y tiempo es anterior a cualquier concepto del entendimiento. Pero no es menos cierto que las categorías, a pesar de su denominación de conceptos puros, en el sistema de Kant no se puede decir que sean propiamente conceptos, sino expresiones de esa unidad originaria y, en ese sentido, un sentido laxo, podrían también denominarse pre-conceptuales. Todo esto está relacionado con el intrincado papel que juega lo que Kant llama la facultad de la Imaginación. No podemos ni siquiera aproximarnos a la discusión en torno a los problemas interpretativos relativos al papel de la imaginación en la argumentación kantiana. Lo cierto es que Kant introduce en su *Deducción Trascendental* la idea de distintas síntesis para argumentar que, en realidad, son aspectos de una misma. No hay que perder de vista el objetivo de Kant en la *Deducción Trascendental*: probar el valor objetivo de las categorías, lo cual implica que toda percepción sensible, incluidas las representaciones matemáticas, debe estar sometida a ellas. Friedman cita algún fragmento de la *Deducción Trascendental* donde Kant expresa que la síntesis de todo espacio y tiempo es la misma que opera en la aprehensión de todo objeto y, por tanto, en toda experiencia (A165-166/B206). Esto encaja bien con lo que hemos expresado arriba: Kant necesita argumentar que la síntesis, digamos, empírica

y la síntesis pura son en realidad una misma – lo cual queda caracterizado por Friedman como la identidad de los espacios metafísico y geométrico – precisamente para poder probar la validez objetiva de las categorías. Otra cosa es que esta argumentación indique, como afirma Friedman, que la síntesis de espacio y tiempo haya de ser entendida como pre-categoría. A mi entender, como defenderé en las secciones siguientes, el objetivo declarado de la Deducción Trascendental y la interpretación de las categorías lleva más bien a pensar lo contrario.

Así pues, lo esencial en nuestra discusión, por las consecuencias que tiene para entender la fundamentación del espacio y tiempo newtoniano y la posible cabida de la estructura relativista en la propuesta kantiana, es hasta que punto la unidad implicada en las estructuras espaciales y temporales ha de entenderse como pre o post-categoría. La estrategia para afrontar este problema será discutir si alguna de esas posturas encaja mejor con el papel que según Kant juegan las categorías, y las razones que ofrece para probar su objetividad.

3. Tiempo y categorías

En esta sección quiero defender que la unidad de espacio y tiempo, aludida como unidad propia de la intuición, que según Friedman (2003: 39) es no-intelectual y no-conceptual, y según Friedman (2012) es intelectual pero no-conceptual, ha de interpretarse como implicando las categorías. Más adelante, utilizaré esta interpretación para poner en cuestión la forma estándar de entender la relación de la propuesta kantiana con el espacio y el tiempo newtoniano (en parte defendida por Friedman). Pero todo ello requiere, en primer lugar, acercarnos a la discusión acerca del estatuto y el significado de las categorías en Kant.

Kant introduce la noción de categoría en la *Crítica* como asociada a la noción de concepto puro – aquello que siempre está implicado en la utilización de un concepto – en cierto sentido, la contrapartida de las intuiciones puras por el lado del entendimiento. En la parte central de la Analítica Trascendental, Kant despliega dos estrategias para legitimar el uso de las categorías: a la primera la llama exposición metafísica y a la segunda deducción trascendental. La primera, le permite presentar una tabla de las categorías basada en una clasificación de los juicios en función de su forma. La argumentación en la que se basa esta exposición es simple, aunque no por ello exenta de problemas: se parte de que todo conocimiento implica la predicación de ciertas propiedades, por tanto presupone la forma de un juicio en el que se atribuye un predicado a un sujeto, para afirmar que la predicación misma presupone la forma del juicio en su conjunto y que ésta se despliega en una clasificación exhaustiva de todos los juicios posibles (algo que Kant piensa que le viene

dado en la clasificación tradicional de los juicios). Así, Kant pretende extraer los conceptos que estarían implicados en toda aplicación de un concepto basándose en esa clasificación: estos son los que Kant denomina conceptos puros o categorías. Sin entrar en los problemas que esta estrategia conlleva, y que muchos comentadores han destacado, sí quiero resaltar que para Kant esta exposición metafísica no es en absoluto suficiente para legitimar a las categorías en tanto que conceptos puros: como señala de forma meridiana, las funciones así encontradas podrían tener un uso meramente lógico, analítico, y no objetivo. Kant necesita demostrar que las categorías son conceptos puros, en el sentido de que ningún objeto (incluido los proporcionados empíricamente) es pensable sin el concurso de éstos. Y eso es lo que desarrolla en la Deducción Trascendental.⁵

En la Deducción Trascendental Kant pretende establecer que toda representación de objetos ha de estar sometida a las categorías y, por lo tanto, que las categorías tienen validez objetiva. Como es bien sabido, Kant reescribe prácticamente por completo esta parte de la *Crítica* y su interpretación está cargada de dificultades. Aquí, no obstante, nos interesa únicamente discutir el papel que juegan las categorías – expresión de lo a priori de la unidad del concepto – en lo que hemos venido denominando como unidad espacial y temporal.

Para ello fijémonos en el objetivo declarado de la Deducción Trascendental. ¿Cómo pretende demostrar Kant que las categorías, que ha introducido como funciones de unidad de las representaciones en un juicio, están implicadas siempre que tenemos conocimiento de objetos? Esto puede entenderse como el reverso de otra pregunta a la que nos hemos enfrentado antes: ¿Qué nos permite afirmar que la experiencia está sometida a ciertas reglas matemáticas (en particular, la espacial, a cierta geometría)? Como hemos visto con Friedman, esto último requiere que toda representación empírica, en el espacio metafísico, esté sometida a las mismas reglas que rigen el espacio geométrico; lo cual queda justificado si los movimientos de perspectiva en el primero son los invariantes geométricos. Y señalábamos que cuáles sean estos movimientos, si queremos evitar la arbitrariedad de fijarnos en algo como la constitución psicológica de nuestra percepción empírica, requiere justificación. Pues bien, ahora podemos decir que la justificación tendría que venir de parte de la intervención de las categorías: la unidad empírica ha de

⁵ Friedman (2003: 36-39) defiende, siguiendo a Allison, que en la Deducción Trascendental Kant maneja dos nociones de objeto: una de objeto intelectual y otra de objeto sensible. El núcleo de la deducción, en estos términos, consistiría en probar que las categorías de la deducción metafísica (que se aplicarían a la noción de objeto intelectual por estar presupuestas, como he indicado, en cualquier predicado de un juicio), se aplican necesariamente a los objetos empíricos. Como dice Friedman, la demostración no es trivial y, me permito añadir, el problema se agudiza si uno supone que la unidad de espacio y tiempo de la intuición pura es plenamente pre-categórica.

ser la misma que la síntesis de la intuición pura y la misma que opera el concepto como predicado de juicios posibles. Esto garantiza que las categorías tengan valor objetivo, pero exige que deban de entenderse como la otra cara de la intuición pura.⁶ Y esto último es lo que trata de poner de manifiesto Kant en el esquematismo trascendental, dónde declara que las categorías no son más que distintas determinaciones del tiempo, esto es, la pura intuición (que afecta tanto a intuiciones internas como externas). Friedman reconoce que ha de darse esta identidad de las distintas síntesis, pero al afirmar que la síntesis de la intuición pura es pre-catórica se pone dificultades para entender por qué esa unidad ha de coincidir con la síntesis conceptual. A mi entender, la dificultad se disuelve si uno se toma en serio que las categorías no son más que la expresión de la síntesis – implicada ya en cualquier multiplicidad – de la intuición pura. Pero si esto es así, entonces las categorías han de expresar de alguna manera los rasgos formales de la espacio-temporalidad. De esto nos ocuparemos más abajo.

Antes de eso, no obstante, deberíamos de ocuparnos de una cuestión importante. Si es cierto, como aquí se está defendiendo, que en la determinación de la estructura métrica de espacio y tiempo (en la unidad de la intuición pura) intervienen las categorías que Kant considera lo a priori del entendimiento, entonces, ¿a qué se hace referencia cuando se habla de intuición pura como pura multiplicidad, esto es, en tanto que el otro lado de la unidad? Como veremos que argumenta Torretti(1974), y discutiremos más adelante, una lectura natural de esta noción consiste en asociar este componente con la representación formal proporcionada por un espacio topológico. Si bien Torretti considera, justamente, que esto contradice algunas de las declaraciones explícitas en las que Kant asociaría la intuición pura con la geometría euclidiana – pese a que considerara en algún escrito pre-crítico la posibilidad de geometrías no euclidianas – parece defender que una lectura adecuada del papel del entendimiento en la determinación de espacio y tiempo conlleva interpretar el componente a priori aportado por la sensibilidad en términos de estructura topológica del espacio sobre la que distintas geometrías son posibles.⁷ Lo defendido a continuación puede entenderse como una reivindicación de esta lectura.

⁶ En Martínez Marzoa (1989) se expresa esta situación como identidad de dos nociones de concepto en principio distintas: el concepto como lista de notas que es predicado de juicio posible (y sujeto del juicio analítico) y el concepto como regla de construcción.

⁷ En Torretti (1974) se expresa esta idea de manera explícita. Torretti (2004) haciendo referencia al estatuto de los axiomas de la geometría de Euclides y su relación con la intuición pura, se pone en cuestión que la justificación del axioma de las paralelas pueda venir de ser este un juicio sintético a priori en el que interviene la intuición pura.

4. Categorías, Esquemas y determinación temporal

En un pequeño capítulo titulado *El esquematismo de los conceptos puros del entendimiento*, situado a continuación de la Deducción Trascendental, Kant introduce algunas claves que permiten clarificar el lugar de las categorías en la determinación espacio-temporal de la intuición pura. Kant ha mostrado en la Deducción Trascendental que las categorías solo tienen propiamente significado en la medida en que son aplicadas a intuiciones, pero aquí empieza argumentando que en el caso de los conceptos puros no está claro que estos puedan ser aplicados a los fenómenos. La expresión que utiliza para señalar esta situación es que las categorías son *heterogéneas* y no pueden hallarse en una intuición. De manera simplificada podríamos decir que así como es posible “encontrar” cualquier concepto particular (sea empírico o matemático) en aquellos fenómenos que lo ejemplifican, no sucede lo mismo con las categorías que, en tanto que conceptos puros implicados en la utilización de cualquier concepto, no tienen contornos definidos. La solución que encuentra Kant para este problema, originado en gran medida por la presentación de intuición y concepto como polos separados, es introducir una representación intermedia que Kant denomina *esquema trascendental* y que, en la terminología de las facultades, sería producto de la Imaginación.

Aunque la noción de esquema afecta a cualquier concepto, lo interesante es discutir su estatuto en relación con los conceptos puros del entendimiento, aquellos que, por otro lado, han motivado su introducción. Para los conceptos particulares, el esquema está relacionado con la noción de imagen, aunque Kant se encarga de dejar claro que no debe confundirse con ella. Sin embargo, en el caso de los conceptos puros, no hay peligro de confundir esquema e imagen, pues no parece que podamos dar con una imagen que se corresponda con las categorías. En este caso se hace patente la necesidad de especificar qué se pretende señalar con el esquema. Si bien Kant lo caracteriza, en general, como la “representación de un procedimiento universal de la imaginación para suministrar a un concepto su propia imagen (...)” (A140/B180) – el esquema sería pues “una regla que determina nuestra intuición de acuerdo con un concepto” (A141/B181) – con respecto a las categorías, puesto que, como se ha señalado, no hay imagen resultante de la determinación, nos dice Kant lo siguiente:

El esquema de un concepto del entendimiento puro, por el contrario, no puede ser llevado a imagen ninguna. Es simplemente la síntesis pura, conforme a una regla de unidad conceptual – expresada por la categoría – y constituye un producto trascendental de la imaginación, producto que concierne a la determinación del sentido interno en general (de acuerdo con las condiciones de la

forma de este, el tiempo) en relación con todas las representaciones, en la medida en que estas tienen que hallarse ligadas a priori en un concepto, conforme a la unidad de apercepción. (A142/B182)

El esquema de un concepto puro, según esto, sería la actualización de la regla de construcción que siempre es aplicada en la determinación de la intuición pura (espacio-temporalidad), ya que no puede corresponderse con ninguna regla particular. Por eso Kant lo relaciona con la síntesis pura y, por eso, es el término que vincula por un lado la temporalidad y por otro las categorías. Los esquemas de las categorías, según esta idea de Kant, no son otra cosa que distintas determinaciones de la temporalidad o, dicho de otro modo, son aquello de lo que temporalidad y categorías son cada una de las dos caras. Como puede leerse en Martínez Marzoa (1989: 89), “lo mismo es conceptualmente las categorías y es como intuición el tiempo”. Si nos tomamos esto en serio, no parece posible que cuando Kant hace referencia a la unidad de la intuición pura esté haciendo referencia a algo que es pre-categorico, pues, así entendidas, las categorías no son otra cosa que la expresión de dicha unidad. Esta pretensión al menos ha de dejar huella en el significado que Kant otorga a las distintas categorías.

Que Kant así lo considera, se manifiesta ya inicialmente en lo que escribe al final del *Esquematismo*. Allí presenta los distintos esquemas, que se corresponden con las distintas categorías, como distintos aspectos de la temporalidad y termina resumiendo:

Los esquemas no son, pues, más que determinaciones del tiempo realizadas a priori según unas reglas que, según el orden de las categorías, se refieren a los distintos aspectos del tiempo: serie, contenido, orden y, finalmente, conjunto, en relación todos ellos con la totalidad de objetos posibles. (A145/B185)

Y, un poco más abajo, Kant nos dice que es precisamente esta comprensión de las categorías como funciones de unidad de toda la diversidad de la intuición lo que les otorga significado y garantiza que tales conceptos puros estén referidos a objetos; es decir, que toda experiencia de objetos, en tanto que inmediata y dada en la diversidad, ha de estar sometida a las condiciones de la intuición pura y esto ya significa que la unidad de la intuición puesta en juego ha de implicar las categorías y que, por ende, éstas hayan de tener valor objetivo. Por otro lado, puesto que las categorías no son más que las funciones de unidad de la intuición pura – los distintos aspectos de la síntesis pura – no pueden tener significado más allá de la experiencia, lugar en el que tendrían como mucho lo que Kant llamaría un uso meramente lógico. Así, esto afianza la idea de que la unidad de la intuición pura lleva implicada las

categorías porque, de hecho, éstas no son otra cosa que la expresión de dicha unidad. Kant introduce los esquemas como bisagras entre el tiempo y las categorías, y los identifica con diferentes aspectos de la temporalidad.

No se trata aquí de discutir el detalle de la semántica de las categorías que, a través de los esquemas propone Kant, en parte porque el objetivo no es reivindicar la pertinencia de la tabla de categorías que usa Kant como clasificación exhaustiva de los conceptos puros. Baste decir que de los cuatro grupos de la tabla, aquellos que propiamente conceptualizarían el tiempo mismo, y no relaciones posibles de los fenómenos con el tiempo en su conjunto, son los tres primeros; el cuarto es el de las categorías modales. De estos tres, al primero y al segundo, las categorías de cantidad y cualidad, les corresponden esquemas que tienen que ver, a grandes rasgos, con la posibilidad de describir matemáticamente los fenómenos de manera, podríamos decir, extensiva e intensiva. Esto, según Kant, tendría su origen en que la unidad de la intuición pura siempre implica una serie (un estar formada por unidades sucesivas) y en el que estas unidades puedan tener contenido con mayor o menor intensidad. Sin duda, habría mucho más que decir con respecto a esto, pero podemos, por el momento, tomarlo simplemente como expresión de que la unidad de una multiplicidad implica siempre cierta medida. Si nos vamos a detener algo más en la discusión del significado de las categorías del tercer grupo (las de relación), porque entiendo que es ahí dónde Kant introduce las condiciones de unidad de la estructura temporal o, como trataré de defender, espacio-temporal.

5. Las Analogías de la Experiencia y estructura espacio-temporal

El capítulo llamado *Analogías de la Experiencia* es el lugar dónde Kant desarrolla los principios que se derivan de las categorías de relación. Los principios del entendimiento puro expresan la forma de los juicios en general, ya que provienen de los juicios a priori que se pueden realizar a partir de las distintas categorías. Se podría decir que regulan la aplicación de cualquier concepto a una intuición o, de manera más acorde con nuestra forma de presentar las cosas, que codifican las reglas que ha de seguir cualquier construcción de objetos a partir de la multiplicidad. En el caso específico que nos ocupa, el de los principios asociados con las categorías de relación, proporcionarían reglas generales implicadas en la relación o conexión de “instantes” temporales, lo cual, como se defenderá, se puede interpretar naturalmente como proporcionando el molde de la estructura temporal o espacio-temporal.

Pero, para ello, necesitamos mirar más de cerca las *Analogías*. En (Torretti, 1996) encontramos un excelente análisis de los problemas interpretativos de estos principios kantianos y sus demostraciones; aquí solo me voy a ocupar de hacer explícita una interpretación de estos principios en la que

aparecerían como proporcionando requisitos estructurales para las nociones de tiempo y espacio. Lo primero que formula Kant es un principio general para todas las categorías de relación que establece que “todos los fenómenos se encuentran sometidos a las reglas que determinan su relación mutua en un tiempo único” (A177), en su versión de la primera edición. Este principio general proporciona así el marco en el que interpretar las tres analogías: todos los fenómenos han de estar sometidos a unas reglas de relación que se van a ir especificando en las distintas analogías. En la prueba, Kant profundiza algo más en estas ideas: la condición que fundamenta la existencia de las distintas reglas se deriva del hecho de que el conocimiento de objetos, o la experiencia, presupone que en la relación de las representaciones esté implicada cierta necesidad, determinación (no azar), y esto lleva a la relación de unas con otras según unas reglas en un tiempo único. Hay que destacar, pues, la exigencia de reglas, pero también el que las relaciones que éstas regulan afecten a todos los fenómenos: el tiempo (o espacio-tiempo) es único. Tenemos aquí, pues, una exigencia de relación de todos los fenómenos de acuerdo con unas reglas únicas.

Esta relación, según Kant, puede darse conforme a tres modos (permanencia, sucesión y simultaneidad), de ahí que se proporcionen tres reglas, a priori, a las que las relaciones entre todos los fenómenos deberán obedecer. La primera la encontramos expresada en la primera analogía en forma de lo que Kant denomina el principio de permanencia, y está correlacionada con la categoría de sustancia y accidentes. En la formulación de Kant, este principio tiene todo el aspecto de un principio de conservación, lo cual ofrece importantes rompecabezas interpretativos: especialmente con respecto a cuál es la cantidad conservada a la que Kant está haciendo referencia. A mi entender, eso no es lo más relevante en relación con la primera analogía. La clave de su interpretación ha de estar en entender qué aspecto del requisito de la relación según una regla de todos los fenómenos, es decir, qué aspecto de la temporalidad, está expresando. Y según Kant el aspecto en cuestión es el tiempo en tanto que sustrato o permanencia. La pregunta es cómo debemos entender esto, que queda expresado en el siguiente pasaje.

Nuestra aprehensión de lo diverso del fenómeno siempre es sucesiva y, consiguientemente, cambiante. Por medio de ella sola nunca podemos, pues, determinar si tal diversidad, en cuanto objeto de la experiencia, es simultánea o sucesiva. Hace falta para ello que la experiencia posea como base algo que exista siempre, es decir, algo durable y permanente cuyo cambiar o coexistir no forme sino otras tantas modalidades según las cuales existe lo permanente. (A182/B226)

Sin duda, no es fácil interpretar estos pasajes. Uno de los lugares a los que apuntan, a mi entender, es a que el concepto de tiempo implica la introducción de una medida universal de duración, lo que Kant denomina de manera algo críptica, “adquirir una magnitud a través de lo permanente” (A183/B227). Esto puede llevar a pensar en la noción de tiempo absoluto newtoniano, pero no deberíamos precipitarnos hacia esa conclusión. Podemos quedarnos con la condición, mucho más modesta, de que la relación universal que afecta a todos los fenómenos requiere de un patrón universal que permita asignar medida relativa a cada uno de los intervalos entre los fenómenos. La existencia de dicho patrón, que según Kant es requerida a priori, tiene su correlato empírico en la conservación de cierta cantidad, lo que Kant denominará la permanencia de la sustancia. El cómo se concrete la estructura que da soporte a ese “algo durable y permanente” dependerá de lo que se diga en los principios restantes.

En la *Segunda Analogía*, Kant introduce las consideraciones relativas al principio de causalidad. No pretendo entrar en las discusiones en torno a qué noción de causalidad es la que Kant está manejando, ni respecto a en qué medida se proporciona una prueba de la necesidad de que todos los fenómenos estén sometidos a una ley de causalidad. La lectura que quiero extraer de esta analogía es mucho más modesta y tiene que ver, de nuevo, con desentrañar los requisitos mínimos que la condición de unidad, que Kant deriva de la necesaria relación entre todos los fenómenos que requiere el conocimiento de objetos, impone en la estructura espacio-temporal.

Kant enuncia el principio de la siguiente manera: “Todos los cambios ocurren de acuerdo con la ley que enlaza causa y efecto.” En la prueba, Kant echa mano de que, en la percepción, los fenómenos siempre se presentan en un determinado orden y afirma que, para que ese orden tenga valor objetivo, esté determinado cuál es, tiene que haber una relación entre los fenómenos tal que el segundo sea consecuencia del primero, es decir, estén sometidos a lo que podemos llamar ley de causalidad. Debemos preguntarnos cuál es el alcance de esta prueba. Bien, la lectura mínima que defiende es que Kant no está tratando de probar que cualquier fenómeno haya de estar sometido a la ley de causalidad con cualquier otro, sino que para cualquier fenómeno, en tanto que producido y productor, tiene que haber un conjunto de fenómenos tales que son o bien causas o efectos del primero y que para cualesquiera de ellos, tales que están sometidos a esta relación, el orden temporal está determinado. Esto, de forma natural, impone una estructura en el conjunto de los fenómenos, estructura de orden, que es consecuencia de que la experiencia de los fenómenos es siempre sucesiva (la unidad de la multiplicidad siempre implica cierta relación de anterioridad/posterioridad).

Podemos reconocer que hay cierta ambigüedad en las afirmaciones de Kant en relación con el orden que se genera y da lugar a la experiencia de objetos. Por un lado, parece que el orden temporal debe afectar a todos los fenómenos,

(...) Pero esto ocurre gracias a que el entendimiento transfiere el orden temporal a los fenómenos y su existencia, en el sentido de que asigna a cada uno de ellos – en cuanto a consecuencia – una posición temporal determinada a priori con respecto a los fenómenos anteriores. Si no fuera así, los fenómenos no concordarían con el tiempo mismo, el cual determina a priori la posición de cada una de sus partes. (A199/B244-A200/B245)

Es decir, según esto, parecería que el orden que se impone sobre los fenómenos es un orden total. Pero un poco más abajo, después de afirmar que las posiciones de los fenómenos no puede establecerse a partir de su relación con el tiempo absoluto, Kant afirma,

De ello resulta una serie de fenómenos que, mediante el entendimiento, produce e impone en la serie de percepciones posibles exactamente el mismo orden y permanente conexión que encontramos a priori en la forma de la intuición interna (tiempo), en la cual todas la percepciones han de tener su posición. (A200/B245)

Según esto otro, el orden impuesto sobre las percepciones posibles emana de la posición relativa en lo que Kant llama intuición interna. Esto hace pensar en la posibilidad de entender que no está impuesto a priori que el orden haya de ser total, sino que éste quedaría determinado por la relación que tenga el fenómeno con la intuición interna y que, por tanto, solo afectará a aquéllos que puedan entrar en dicha relación. No pretendo defender, ni mucho menos, que la segunda interpretación sea la más adecuada en relación con el conjunto del análisis kantiano de espacio y tiempo, pero sí que lo expresado en la *Segunda Analogía* es compatible con la siguiente interpretación mínima: para aquellos fenómenos tales que uno pueda estar producido o causado por el otro, el orden está determinado a priori y, además, esos fenómenos coincidirían con aquellos que pueden llegar a ser considerados como intuiciones internas. Más adelante volveré sobre lo que esto implica para la interpretación de la diferencia kantiana entre intuiciones internas y externas.

Fijémonos finalmente en la *Tercera Analogía*. Aquí Kant aborda el tercer modo de temporalidad, la simultaneidad, y lo vincula con lo que denomina acción recíproca. Kant parece decirnos dos cosas fundamentales con respecto a la noción de simultaneidad. La primera proporciona el germen de una posible definición de simultaneidad: las cosas son simultáneas si suceden al mismo tiempo y esto puede determinarse si es indiferente el orden relativo de

su percepción (A211/B258). La segunda es que esto solo puede darse en caso de que las “sustancias” interaccionen mutuamente o, como Kant lo llama, estén en relación de comunidad o acción recíproca. En relación con lo primero cabe decir que es discutible hasta qué punto en el texto de Kant encontramos los elementos suficientes para dar una buena definición de simultaneidad.⁸ Acerca de la relación entre simultaneidad y acción recíproca es habitual leer ésta, razonablemente, como asentando una noción de simultaneidad absoluta basada en la existencia de la acción a distancia proporcionada por la gravitación newtoniana. Más allá de si el propio texto de la *Crítica* ofrece evidencias para dicha interpretación, de entrada tiene que enfrentarse a un problema fundamental: la ley de gravitación, en principio, es una ley empírica y como tal no puede ser fundamento de un componente a priori. Parece pues más acorde con los objetivos de la analítica trascendental pensar que lo que Kant está ofreciendo como a priori es la citada relación entre simultaneidad e interacción mutua. Una vez desvinculada la interacción de la atracción gravitatoria, e incluso de la existencia de interacciones a distancia, se puede acomodar la definición de simultaneidad a cualquier interacción que pueda ser recíproca y susceptible de proporcionar una definición objetiva de simultaneidad. Es tentador, aunque seguramente injustificado, evocar la posibilidad de utilizar pulsos de luz para definir la simultaneidad y ver indicios del criterio einsteiniano de igualdad de las velocidades en los dos sentidos en las referencias kantianas a la acción recíproca (o causalidad bi-direccional) como parte de la definición.

Globalmente, las *Analogías* proporcionan un conjunto de reglas a priori que restringen el uso de las categorías de relación. ¿De dónde derivan estos principios? En primer lugar, queda claro que no pueden tener origen empírico; así, cualquier presencia de elementos empíricos en el enunciado o justificación de dichos principios está sospechosamente fuera de lugar. Por otro lado, si uno entiende lo a priori en Kant como constitutivo, e intenta eliminar la arbitrariedad que supondría aceptar que principios a priori puedan tener propiamente contenido, esto nos conduce a interpretar las analogías como derivándose únicamente de las condiciones que impone la construcción (unidad, síntesis) de la pluralidad pura sin que esa síntesis determine ninguna figura particular; esto es, entendiendo las categorías como expresión de la síntesis pura. Esto, a su vez, es coherente con la caracterización, arriba citada, de los esquemas de las categorías como determinaciones del tiempo y, a mi entender, apunta a una interpretación de las *Analogías* cercana a lo que he denominado interpretación mínima (no me voy a ocupar de en qué medida Kant se aleja de esta interpretación). En lo que queda de artículo intentaré

⁸ Para la discusión de este punto y su relevancia para las discusiones acerca de la convencionalidad de la simultaneidad, véase Torretti (1989: 220-230).

mostrar que esta interpretación ayuda a clarificar el problema que habíamos planteado acerca de la naturaleza de la unidad de la intuición – planteando la disyuntiva interpretativa entre un Kant que no se comprometería con la plena determinación a priori de la estructura métrica del espacio-tiempo, lo cual supondría entender la intuición pura pre-categorica como variedad topológica, y otro que sí se comprometería pero a costa de introducir, pienso que ilegítimamente, en su sistema elementos empíricos como a priori. Además, dicha interpretación proporciona un marco para la fundamentación de las estructuras espacio-temporales en las teorías físicas que vincula estas estructuras con ciertos compromisos dinámicos expresados en las leyes físicas.

6. El origen de la geometría euclidiana

Tras el recorrido por algunos de los fragmentos de la *Crítica* en los que Kant discute su propuesta en torno al espacio y el tiempo, podemos volver a la discusión sobre el estatuto de la unidad de la intuición pura y su relación con el presunto compromiso de la propuesta kantiana con la geometría euclidiana y la simultaneidad absoluta. La pregunta que debemos abordar es en qué punto de la fundamentación kantiana de espacio y tiempo, en qué elemento, se sustenta dicho compromiso. Queda claro que no nos interesa, pues, qué afirmaciones hizo Kant con respecto a cuál sea la geometría espacial apropiada, sino cómo ello se deriva de su análisis.⁹

Por lo que hemos visto, en el sistema de Kant hay dos posibles orígenes de la estructura métrica del espacio y el tiempo. Por un lado, las intuiciones puras: Kant afirma que la forma de las intuiciones externas e internas son espacio y tiempo respectivamente. Pero como ya dijimos, Kant maneja distintas nociones de espacio y tiempo: en tanto que intuición pura y en tanto que objeto. Hay pues una noción de espacio y de tiempo que implica la unidad de la diversidad de la intuición, y esta es la que podría suponer ya una métrica determinada (parece claro que si nos quedamos solo con la noción de diversidad, podemos estar haciendo referencia a ningún espacio métrico). Tenemos pues la opción de afirmar que la fuente de la geometría euclidiana y la simultaneidad absoluta es la intuición, que implica cierta unidad que, a pesar de ser intelectual, no es conceptual (es pre-categorica) y que, por lo tanto, las categorías no tienen nada que añadir sobre esta determinación. Aunque la posición parezca encajar mal con la noción de categoría y esquema que hemos presentado, al menos esta opción parece explicar por qué Kant insistiría en

⁹ Torretti (1999: 113-118) se plantea el mismo tipo de pregunta y considera también que el Entendimiento debería tener un papel central en la determinación de la geometría espacial, manifestando, al final, perplejidad por cómo de esta manera, quedaría fundado el carácter euclidiano de dicha geometría.

la determinación a priori de una métrica dada: estaría proporcionada a priori como unidad pre-conceptual de la intuición pura. Esta parece ser, al menos con respecto a la geometría espacial, la posición de Friedman.

¿Cuál es la alternativa? Consiste en pensar que la métrica habría de estar relacionada con la unidad categórica; es decir, sostener que la geometría espacial y la definición de simultaneidad solo quedan fijadas a través de la unidad cuya expresión viene dada por las categorías. La pregunta es, entonces, si podemos encontrar en la discusión de las categorías y los principios elementos que realicen ese trabajo o, dicho más explícitamente, que sean expresión de una métrica espacio-temporal determinada. Y efectivamente, podemos. Es posible leer la discusión sobre la simultaneidad, que encontramos en la Tercera Analogía, como introduciendo un requisito de simultaneidad absoluta a través de la existencia de acción a distancia entre sustancias. Al mismo tiempo, para que la estructura causal fuera acorde con esta caracterización de simultaneidad, la discusión de la Segunda Analogía debería interpretarse como concluyendo que hay un orden total (no parcial) en el conjunto de los fenómenos. Y, en consecuencia con esto, la Primera Analogía, en esta lectura, entendería la afirmación de la existencia de un estándar de tiempo como la fijación de un tiempo absoluto. Ésta, digo, es una lectura posible de cómo las categorías, por medio de los esquemas y dejando constancia en los principios del entendimiento, fijan una métrica espacio-temporal (si bien, como se comentará abajo, no del todo, porque habría que añadir aquí la determinación de la geometría euclidiana, que estaría también presupuesta). El problema con esta lectura es que la métrica así justificada no parece estar fijada a priori, sino mediante ley empírica que es la Ley de Gravitación universal de Newton. Lo cuál podría evitarse si se considera que, aunque la concreción de la ley de gravitación es empírica, la existencia de una ley de acción a distancia viene dada a priori; algo discutible si pensamos que esto implica considerar un juicio existencial como juicio a priori.

Como consecuencia de lo dicho, uno podría pensar en una lectura alternativa: considerar que la unidad categórica fija la relación entre métrica y ciertos rasgos dinámicos, pero que ésta no tiene potencia suficiente para determinar qué métrica quedaría fijada en dicha relación. Esto quiere decir que las categorías serían expresión de aquello que está implicado en la determinación de cualquier estructura métrica que cumpliera con las restricciones desarrolladas en las Analogías – que implican la conexión de la estructura espaciotemporal con la existencia de procesos que permitan implementar una definición de simultaneidad – pero que la fijación de una u otra estructura no vendría determinada a priori. Esta lectura tiene la ventaja de limitar el papel de las categorías al que parece que debería de corresponderle de acuerdo con la presentación que de ellas hace Kant y su discusión del Esquematismo Transcendental. Pero nos devuelve un Kant tal vez demasiado cercano a

las aspiraciones de algunos desarrollos del neo-kantismo y sospechosamente preparado para acoger las novedades que introdujo la física relativista a principios del s. XX.

Más allá de los problemas de interpretación, pienso que esta forma de entender el papel de las categorías en la determinación métrica del espaciotiempo puede ayudar a delimitar propuestas, en la línea del a priori relativizado de Friedman, en las que la estructura espaciotemporal completa sería un a priori en sentido constitutivo pero que, a la vez, podría contener elementos propiamente universales y necesarios junto con otros empíricos o convencionales.

No podemos dejar de reconocer que, incluso si uno acepta la plausibilidad de una interpretación en la que la métrica espaciotemporal solo queda determinada a través de las categorías, eso deja en el aire cuál es el estatuto de la geometría espacial. Aún si uno acepta que puede dividir los fenómenos en distintos planos de simultaneidad y que esto quedaría determinado con la implementación de un procedimiento acorde con la caracterización de orden y simultaneidad apuntados en las Analogías, esto no determina la geometría espacial de los distintos planos. Habría que aceptar, según esto, que dicha geometría sí que ha de ser determinada de manera externa a las categorías. La forma más acorde con las expresiones kantianas de apoyo a la condición apodíctica de la geometría euclidiana es pensar que ésta viene determinada ya en la intuición pura. Esto sin duda apoyaría la tesis de Friedman, y hace pensar que si bien el texto kantiano podría anticipar la relativización (o dinamización) de la relación entre tiempo y espacio, da la impresión de dejar intacta, al no jugar ningún papel en la analítica, la noción de paralelismo de la estructura afín.

7. Estructura espaciotemporal

La lectura aquí propuesta, en la que las categorías indicarían la forma de la unidad que daría lugar a la métrica espaciotemporal, incluso si no pretende ser una herramienta para interpretar el texto kantiano, requiere no entrar en contradicción con los presupuestos centrales de la caracterización que Kant proporciona de las nociones de espacio y tiempo. Como hemos indicado al principio de este artículo, y es de sobra conocido, Kant presenta en la *Crítica* espacio y tiempo como formas de la intuición. Esto parecería implicar, al menos, dos cosas: que espacio y tiempo, en tanto que intuiciones a priori, vienen dados con una métrica de antemano determinada y, por otro lado, que las determinaciones de espacio y de tiempo son, digamos, mutuamente independientes. De lo primero nos hemos ocupado en la discusión precedente, aunque volveremos sobre las consecuencias que negarlo tiene para la comprensión de las formas de la intuición. Con respecto a lo segundo, sería probablemente absurdo querer encontrar algo como la referencia a una mé-

trica espaciotemporal en Kant. De nuevo, lo que pretendo es mostrar cómo las consideraciones que hace Kant acerca del papel de las intuiciones puras en las determinaciones de espacio y tiempo – al menos las que encontramos en la *Estética Trascendental* – no excluyen que, en último término, hayan de afrontarse conjuntamente. Y esto a pesar de que en la intuición pura uno pueda distinguir dimensiones espaciales y temporales, lo cual sería consecuencia del papel que juega este elemento en la caracterización de la experiencia. Todo esto sin excluir que, en algunos casos particulares, para un espaciotiempo con simultaneidad absoluta, el resultado sea que las dos determinaciones se hacen independientes.

Vayamos con lo primero. Si como se ha sugerido en las secciones anteriores, en la determinación de la métrica espacio-temporal siempre están presentes la categorías – quizás habría que decir mejor que la unidad temporal métrica al menos presupone la unidad expresada por las categorías – entonces deberíamos preguntarnos en qué queda aquello que Kant denomina intuiciones puras, entendidas estas como la pura multiplicidad. Una posibilidad, apuntada arriba, es que dichas formas de la intuición habrían de entenderse en términos topológicos. Bajo este prisma, la caracterización de espacio y tiempo como intuiciones a priori no habría de entenderse como señalando la aportación subjetiva de unas estructuras métricas determinadas, sino más bien como apuntando a cierto componente que siempre está presente en la experiencia y que puede ser abstraído como multiplicidad subyacente. Dicha noción de multiplicidad, que parece quedar bien representada por una variedad topológica (véase Torretti, 1974), captaría esa dimensión de inmediatez y singularidad que, según Kant, encontramos en toda experiencia. Por otro lado, hay que tener en cuenta que Kant distingue las intuiciones de tiempo y espacio, y que las califica como interna y externa respectivamente. Debemos preguntarnos qué sentido tiene esta distinción.

Esto nos lleva a la cuestión de si aquello que se determina a través de la unidad de la intuición pura es una métrica espaciotemporal, como se ha venido sugiriendo, o bien una geometría espacial y una métrica temporal, como sería coherente con la defensa kantiana del espacio y tiempo newtonianos. La defensa de esta última postura suele apoyarse en la idea de que las estructuras espacial y temporal vienen plenamente determinadas por la aportación que hace el sujeto en la intuición, precisamente aquello que aquí se ha puesto en entredicho. En cambio, la postura de la determinación espaciotemporal parece coherente con el papel central que hemos otorgado a las categorías en la unidad de la intuición. No obstante, esta última debe enfrentarse al hecho de que en la *Estética Trascendental*, donde Kant está introduciendo espacio y tiempo en tanto que intuiciones puras previas a cualquier unidad, distingue entre la una y la otra. Esto lleva a pensar, de nuevo, en la determinación de

ambos de manera independiente. Voy a defender, no obstante, que lo que allí se dice acerca de estas dos formas de la intuición no implica determinación independiente de cada una de ellas.

Esto significaría que, incluso antes de que haya métrica determinada, puede distinguirse en la multiplicidad las dimensiones temporal y espacial. ¿Cómo se presenta esto en el texto? El espacio es introducido como condición de la experiencia para los fenómenos externos. Como Kant aclara, externo hace referencia, obviamente, a exterioridad con respecto a la experiencia de uno mismo pero, sobretodo, primariamente, exterioridad de un fenómeno con respecto a otro (A23/B38). Espacio es condición de los fenómenos que están separados unos de otros, pues sin esta condición no hay experiencia de distancia, contigüidad o conceptos afines. Es cierto que Kant, en seguida, introduce la idea de que la intuición pura externa es lo que legitima los juicios apodícticos de la geometría, lo cual, sin duda, parece avalar la interpretación de que ha de entenderse dicha geometría como determinada a priori. Pero también debemos notar que no hay nada en el razonamiento que haga pensar que una geometría en particular haya de estar dada de antemano; lo cual deja margen para interpretar esta forma de la intuición como determinable, si no determinada, por una geometría.¹⁰ Si ahora pasamos a la exposición que se hace del tiempo en la Estética Trascendental, encontramos razonamientos paralelos pero, en este caso, referidos a los fenómenos internos. Mas adelante, Kant explicita que el tiempo es condición que afecta a todos los fenómenos, aunque lo hace de distinta manera para los externos (en el sentido antes mencionado) y los internos:

El tiempo es la condición formal a priori de todos los fenómenos. El espacio, en cuanto forma pura de toda intuición externa, se refiere solo, como condición a priori, a los fenómenos externos. Por el contrario, toda representación, tenga o no por objeto cosas externas, corresponde en sí misma, como determinación del psiquismo, al estado interno. Ahora bien, éste se halla bajo la condición formal de la intuición interna y, consiguientemente, pertenece al tiempo. En consecuencia, el tiempo constituye una condición a priori de todos los fenómenos en general, a saber, la condición inmediata de los internos (de nuestras almas) y, por ello mismo, la condición mediata de los externos (A34/B51)

Si dejamos de lado la referencia al psiquismo y a las almas, e interpretamos *interno* como complementario de la noción de exterioridad que hemos comentado arriba, entonces lo que se nos dice en el fragmento citado es que

¹⁰ De nuevo, lo que nos encontramos es la idea de que aquello que está dado a priori en la intuición pura son relaciones que pueden ser expresadas en términos de una estructura topológica en la que no se ha definido una métrica determinada.

el tiempo es condición de la experiencia para los fenómenos en general pero, de forma inmediata, directa, para aquellos que no están en relación de exterioridad – o, dicho de forma más simple, que ocurren en el mismo lugar (que, además, será el lugar en el que uno está). De nuevo, sin duda, la exposición del tiempo que hace Kant trasluce su prejuicio newtoniano ligado a la noción de simultaneidad absoluta pero, a la vez, se nos ofrece un esquema conceptual que nos permite superar esa estructura rígida. Por un lado, las condiciones del tiempo parecerían estar impuestas de forma directa solo a los fenómenos internos (co-locales con el observador); por otro lado, las condiciones de tiempo afectarán a todos los fenómenos, aunque a los externos solo de forma mediata, si bien no se nos dice por qué estaría mediada la imposición de las condiciones de la temporalidad a esos fenómenos externos. Luego, si queremos extender la métrica temporal al conjunto de los fenómenos, determinar la métrica temporal en su conjunto, parece que necesitaremos especificar algún procedimiento para extender el tiempo en el espacio. Esta idea, que encontramos aquí en el contexto de la discusión de las intuiciones puras, ya nos la habíamos encontrado en la discusión de las *Analogías de la experiencia*: parecería que el aparato conceptual que Kant introduce para discutir el estatuto de espacio y tiempo llama, de forma natural, a ser desarrollado como poniendo de manifiesto que la determinación métrica ha de ser espaciotemporal y, además, que para que se concrete, algún procedimiento ha de ser especificado. La condición a priori de espacio y tiempo, en este desarrollo del sistema, lo que establecería de forma universal es la necesaria correlación entre métrica y procedimiento que concrete las reglas de conexión entre fenómenos; de forma constitutiva impondría ciertas condiciones para todos los fenómenos una vez que el procedimiento hubiera sido especificado.

De hecho, esta lectura parece hacer justicia al texto de Kant en el siguiente sentido. Si atendemos a la discusión en la que Kant interpreta las categorías como aspectos de la temporalidad y al papel de los esquemas en esa interpretación, hemos notado que la intuición pura que en todo momento está en juego es la temporal. Así, la forma de entender cómo intervienen las categorías en la determinación métrica parece hacer referencia a la métrica espaciotemporal pero dejar fuera la geometría espacial. Si uno tiene en mente la caracterización formal contemporánea que codifica espaciotiempo como una variedad topológica sobre la que se añaden distintas estructuras como la estructura afin y la métrica, entonces estaríamos afirmando que, según la lectura de la discusión kantiana aquí presentada, variedad topológica y estructura afin vendrían dadas a priori en la intuición pura, mientras que la métrica espacio-temporal solo quedaría determinada con el concurso de las categorías. Luego, como se ha discutido arriba, esta última estructura o bien sería a priori en sentido necesario, si uno piensa que la discusión abordada en las *Analogías* determina

la métrica, o bien lo que sería a priori, como se dijo arriba, es la relación de la estructura métrica con algún procedimiento dinámico necesario para definir simultaneidad.

8. Conclusiones

La enorme potencia de la filosofía crítica de Kant hace casi inevitable el intento de adaptarla a las distintas contingencias de los desarrollos científicos. Este ejercicio filosófico, practicado especialmente, por razones obvias, en las primeras décadas del siglo XX, es el que inspira el presente escrito. Justificado o no, he pretendido encontrar, en la discusión kantiana de espacio y tiempo contenida en la *Crítica de la Razón Pura*, semillas para interpretar el proyecto en el que se inscribe como una fundamentación de espacio y tiempo con los siguientes rasgos fundamentales:

- Espacio y tiempo serían condiciones a priori de la experiencia en el sentido de codificar condiciones constitutivas de los fenómenos físicos que conforman dicha experiencia. Esto implicaría que toda experiencia presupone ciertas estructuras espacio-temporales (en ese sentido, el a priori sería necesario), pero no que una determinada estructura espacio-temporal esté presupuesta en toda caracterización de la experiencia – sino que distintas estructuras pueden dar lugar a distintas caracterizaciones de la misma (en este otro sentido, el a priori sería simplemente constitutivo).¹¹
- Esta distinción, aplicada al carácter a priori de espacio y tiempo, hace pensar en que la descripción de estas estructuras pueda contener distintas capas; algunas de ellas podrían considerarse como a priori en sentido fuerte, mientras que otras lo serían solo en sentido constitutivo y, por lo tanto, no deberían tomarse como necesariamente determinadas en la experiencia.
- Acorde con esto, la noción de intuición pura que introduce Kant como multiplicidad parece corresponderse más bien con propiedades topológicas de espacio y tiempo. Por otro lado, las propiedades métricas, que Kant considera sin duda como a priori en sentido fuerte, en particular la geometría euclidiana y la simultaneidad absoluta, no tendrían que considerarse como determinadas a priori, sino como determinables y, al mismo tiempo, constitutivas de cierta experiencia.

¹¹ Para esta distinción, véase Friedmann (2001).

- Las Analogías ofrecerían, entre otras cosas, un caracterización del esquema de determinación de una estructura métrica en el cual dicha determinación va ligada a la existencia de ciertas interacciones físicas (orden y simultaneidad en función de conectabilidad dinámica). Esto, además, tendría la consecuencia de que lo que queda determinado, a través de la unidad expresada por las categorías es cierta estructura espaciotemporal. Faltaría saber de qué manera se determina la geometría espacial.
- Entender así el *a priori* constitutivo parece implicar que este ya no pueda asociarse a cierta estructura dada de una vez por todas, sino que da cabida a elementos que puedan ser considerados como convencionales o, incluso, a regularidades empíricas que puedan ser elevadas al rango de *a priori* en el sentido de que definen cierto ámbito de experiencia.

Evidentemente, es temerario afirmar que Kant habría estado de acuerdo con los puntos anteriores, lo cual los invalida como directrices para una lectura de nuestro autor; Kant no vivió la formulación de las teorías de la Relatividad y las convulsiones que provocaron en nuestras concepciones de espacio y tiempo. Sí afirmo, sin embargo, que la propuesta kantiana, en lo esencial, contiene ingredientes que animan a este tipo de fundamentación de espacio y tiempo. Incluso algo más fuerte: la propia lógica de la estrategia que Kant pone en marcha para fundamentar espacio y tiempo, si uno quiere respetar escrupulosamente su objetivo inicial de sacar a la luz los elementos constitutivos del conocimiento empírico, se desarrolla de forma natural siguiendo la línea marcada por los puntos de arriba (y, por otro lado, se dificulta si uno asume que las estructuras métricas están dadas *a priori* en sentido fuerte). A su vez, leer a Kant partiendo de ese tipo de conceptualización puede ayudar a poner bajo la lente de aumento ciertos rasgos específicos de su formulación que, muchas veces, entorpecen la labor de extracción de la dinámica propia de su propuesta (en particular, aquello que tiene que ver con la utilización de la terminología ligada a las facultades psicológicas). Esto parecería apoyar la tesis de que el propio Kant, si hubiera considerado ciertos desarrollos que no tenía a su alcance, debería de haber estado insatisfecho con su compromiso con una determinada estructura métrica como elemento *a priori*, en sentido fuerte, del conocimiento. Lo cual correría el peligro de incurrir en la imagen que algunos discípulos entusiastas tienen de sus admirados maestros y afirmar que Kant no habría sido suficientemente kantiano.

Referencias

- FRIEDMAN, M. (2001). *Dynamics of Reason*. Stanford: CSLI Publications.
- FRIEDMAN, M. (2003). “Transcendental philosophy and mathematical physics”, en *Studies in History and Philosophy of Science* 34, 29-43.
- FRIEDMAN, M. (2012). “Kant on geometry and spatial intuition”, en *Synthese* 186, 231-255.
- KANT, I. (1978). *Crítica de la razón pura*. (Traducción española de Pedro Ribas). Madrid: Alfaguara.
- MANDERS, K. (2008). “Diagram-based geometrical practice”, en P. Mancosu (ed.), *The philosophy of mathematical practice* (pp. 65–79). Oxford: Oxford University Press.
- MARTINEZ MARZOA, F. (1989). *Releer a Kant*. Barcelona: Editorial Anthropos.
- SHABEL, L. (2003a). *Mathematics in Kant’s critical philosophy: Reflections on mathematical practice*. New York and London: Routledge.
- SHABEL, L. (2003b). “Reflections on Kant’s concept (and intuition) of space”, en *Studies in History and Philosophy of Science* 34, 45-57.
- TORRETTI, R. (1974). “La geometría en el pensamiento de Kant”, en *Anales del Seminario de Metafísica* (Madrid) 9: 9-60.
- TORRETTI, R. (1996). *Relativity and Geometry*. New York: Dover Publications.
- TORRETTI, R. (1996). “Las analogías de la experiencia de Kant y la filosofía de la física”, en *Anales de la Universidad de Chile*, Sexta Serie, 4: 77-96.
- TORRETTI, R. (1999). *The Philosophy of Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- TORRETTI, R. (2004). “Intuición pura”, en César Ojeda & Alejandro Ramírez (eds.), *El sentimiento de lo humano en la ciencia, la filosofía y las artes: Homenaje al Profesor Félix Schwartzmann Turkenich*. Santiago: Editorial Universitaria, 111–134.

Probabilidad y contratos. Sobre el pragmatismo de Roberto Torretti*

David Teira**

Resumen

Pretendo establecer aquí un diálogo con la concepción pragmatista de la probabilidad defendida por Roberto Torretti a partir del enfoque propensionista. En la primera parte del trabajo, quiero mostrar en qué sentido la esperanza matemática formalizaba un principio aristotélico de justicia. En la segunda parte ilustraré, apoyándome en los trabajos de G. Shafer y V. Vovk, cómo iluminar sistemáticamente esa normatividad a partir de una concepción de la probabilidad articulada sobre la teoría de juegos. Veremos así cómo hay una dimensión pragmatista en la probabilidad que cumple con los *desiderata* de Torretti, aunque no se apoye en simetrías físicas.

Palabras clave: probabilidad, propensiones, contratos, esperanza matemática, Torretti.

Probability and Contracts. About Roberto Torretti's Pragmatism

Abstract

I want to expand the pragmatist view of probability advocated by Roberto Torretti, drawing on the propensity approach. In the first part, I will show how the concept of mathematical expectation originally formalized an Aristotelian principle of justice. In the second half, I will present the game-theoretic approach to probability developed by Shafer and Vovk, showing how it allows us to interpret the original normativity of mathematical expectations. I will finally discuss how

* Recibido: octubre 2016.

** Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la ciencia, Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España. Email: dteira@fsof.uned.es

this latter view contributes to a pragmatist understanding of probability, as Torretti advocates, although with broader foundations than the physical symmetries of standard propensities.

Keywords: probability, propensity, contracts, mathematical expectation, Torretti.

1. La ejemplaridad de Roberto Torretti¹

Me gustaría comenzar el texto explicando el modo en que Roberto Torretti ha sido un ejemplo académico para mí. Aunque sólo sea para comprometerme públicamente a imitarlo —y que puedan avergonzarme si dejo de intentarlo alguna vez. En primer lugar, como ejemplo de filosofar cosmopolita del que tan pocos casos tenemos en el mundo hispano-americano. Cuando llegué a Londres en 2005 a realizar mi (segunda) Tesis doctoral, Torretti era el único filósofo de la ciencia iberoamericano (de su generación y buena parte de las siguientes) que aparecía regularmente en la conversación. En buena parte, por sus muchos años de diálogo internacional con tantos y tantos autores; pero también porque sus ideas reaparecían en el *Zeitgeist* londinense, a propósito del neopragmatismo de Hasok Chang o el neokantismo de Michela Massimi. Comencé a mantener correspondencia regular con Torretti cuando, a partir de 2009, empecé a editar la revista *Theoría*, a la que él contribuyó muchas veces como autor y evaluador. Y, para mí, editor novel, fue también ejemplar descubrir la generosidad (¡y puntualidad!) de sus colaboraciones, cuando tantos otros simplemente dejaban de contestar mis correos. Finalmente, ya en mi actual destino, la Universidad Nacional de Educación a Distancia, me tocó poner en marcha en 2013 una asignatura de “Historia de las matemáticas” para futuros matemáticos. Buscando manuales, descubrí cómo Torretti había puesto en libre acceso su espléndido *El Paraíso de Cantor* (Torretti, 1998) y de inmediato se lo propuse a mis estudiantes. Son ya varias las promociones que le agradecen a Torretti no sólo el permitirles usar gratuitamente un texto tan bien editado, sino el modo en que les ha hecho mirar la matemática a través de la Historia y filosofía de la teoría de conjuntos. Apenas pude pasar una tarde con Roberto Torretti y Carla Cordua, en enero de 2013, pero su ejemplaridad académica es una constante inspiración para mí.

Aquella tarde en Santiago me habló de un texto suyo sobre el concepto de probabilidad (Torretti, 2003), en el que dialogaba, entre otros, con Donald

¹ Agradezco a Roberto Torretti y Antonio Heras sus comentarios sobre el texto, así como el patrocinio del proyecto de investigación FFI2014-57258-P

Gillies, mi director. La conversación se interrumpió y me gustaría retomarla aquí para prolongar aquel encuentro tan grato. Torretti presentaba en el texto las tres concepciones principales de la probabilidad (frecuentista, subjetivista y propensionista) con su acostumbrada claridad y rigor histórico, discutiendo los principales argumentos a favor y en contra de cada una de ellas. Dos son las tesis de Torretti que sirven de punto de partida a mi análisis. Sostiene, en primer lugar, que “la noción moderna de probabilidad constituye un asunto especialmente atractivo para cualquiera que se interese en la historia y la historicidad de la razón” (Torretti, 2003). Efectivamente, aunque podemos encontrar intuiciones sobre el azar ya desde la antigüedad clásica, es en el siglo XVII cuando comienza a articularse matemáticamente en el concepto moderno de probabilidad. ¿Por qué entonces? ¿Y cómo es que, pese a la claridad axiomática con la que hoy la definimos, se han podido desarrollar tres interpretaciones filosóficamente contrapuestas?

En su discusión, Torretti reivindica su propia perspectiva pragmatista. Contra el frecuentismo, objeta que reducir la probabilidad a frecuencias infinitas de sucesos recurrentes incurre en un dilema moral: “si no tiene sentido hablar de la probabilidad de un suceso singular, ¿qué queda de la probabilidad como guía de la vida?” (Torretti, 2003: 13). Contra el subjetivismo, Torretti recuerda que el aprendizaje bayesiano presupone (en la versión canónica de De Finetti) sucesos perfectamente intercambiables, como si el mundo estuviera hecho “de eventos bien deslindados en sí mismos de una vez por todas, cuya adecuada clasificación viene dada con ellos” (Torretti, 2003: 19). Para Torretti, no existe tal división platónica de la realidad, y son nuestros intereses y proyectos los que categorizan el mundo. Y sin un acuerdo previo sobre tales categorías, el teorema de Bayes no servirá para ponernos de acuerdo a medida que acumulemos evidencia.

Torretti se siente más cercano de la interpretación propensionista, donde la probabilidad representaría “las propensiones de un arreglo experimental específico” (Torretti, 2003: 28). Por ejemplo, las simetrías físicas de un dispositivo (el equilibrio de una moneda o un dado) nos permiten postular la equiprobabilidad de los sucesos a los que potencialmente puede dar lugar. Para Torretti, la principal resistencia filosófica al propensionismo es “la negativa positivista a reconocer la posibilidad física como una noción primitiva, tan comprensible para todos como la noción de existencia actual” (Torretti, 2003: 32). Y concluye sorprendido de que “tantas personas que la sociedad emplea como pensadores profesionales se niegan a entender un concepto que un niño de tres años maneja con soltura” (Torretti, 2003: 33).

En esta versión pragmatista del propensionismo que sugiere Torretti, la probabilidad es indisociable del agente que la usa². El cálculo debe servir a sus decisiones singulares, el espacio de sucesos debe interpretarse según sus intereses y son las posibilidades que discierne en un arreglo experimental las que dan sentido al propio concepto de probabilidad. Históricamente, el enfoque de Torretti nos permite, en efecto, dar cuenta de sus orígenes: fueron los intereses de un jugador, el caballero de Méré, lo que motivó a Pascal para analizar combinatoriamente las posibilidades de un dispositivo aleatorio y formular el concepto que hoy denominamos *esperanza matemática* (Coumet, 2002). Pero los historiadores de la probabilidad han señalado, sin embargo, cómo los intereses de Pascal (y luego Christiaan Huygens) se articulaban sobre bases normativas: la esperanza de una apuesta señala el *justo precio* del *contrato aleatorio* que establecen los jugadores. Aunque Torretti se lo concede, para él la justicia del juego es un aspecto secundario: “ello no impide”, afirma, “que los asertos de equiprobabilidad se hayan basado en la percepción de simetrías físicas, donde estas existían” (Torretti, 2003: 6n).

Pues bien, el diálogo que pretendo establecer aquí con Torretti quiere ampliar su propensionismo y mostrar que la normatividad original de la esperanza matemática desempeñó un papel principal en el nacimiento de nuestro concepto moderno de probabilidad. En la primera parte del trabajo, quiero mostrar en qué sentido la esperanza matemática formalizaba un principio de justicia. En la segunda parte ilustraré, apoyándome en los trabajos de G. Shafer y V. Vovk (Shafer & Vovk, 2001), cómo iluminar sistemáticamente esa normatividad a partir de una concepción de la probabilidad articulada sobre la teoría de juegos. Quizá esto confunda todavía más un concepto como el de probabilidad, ya de por sí sobreinterpretado, según señala el mismo Torretti (Torretti, 2003). Pero espero que sirva también para poner de manifiesto su dimensión pragmática en los términos que el propio Torretti señala: de qué modo pretendía ser una guía para la vida, explotando las posibilidades que los agentes perciben no ya sólo en los objetos, sino en su propia interacción.

El principio sobre el que pivota nuestro argumento es el que denominaremos *igualdad en el riesgo*: el precio de una apuesta debe ser proporcional al riesgo asumido. Veremos, en primer lugar (sección 2) cómo la fuerza normativa de este principio tiene un origen aristotélico. Para Aristóteles, la justicia de una transacción se basa en la igualdad en el intercambio: tanto aportas, tan-

² Torretti no está sólo en este enfoque pragmatista de la probabilidad. En la Escuela de Stanford, Ian Hacking ya había destacado el papel de los *dispositivos aleatorios* (*chance set-ups*; o *arreglos* como traduce Torretti) como punto de partida de nuestra concepción moderna de la probabilidad (Hacking, 2006). Más recientemente (Suárez, 2011) ha reivindicado una lectura peirceana del propensionismo.

to recibes. No cuestionaremos semejante intuición, sino que veremos cómo se transmite intacta en la tradición escolástica y se modula, incorporando el riesgo, en la discusión de los contratos aleatorios. Veremos después (sección 3) cómo la teoría de la probabilidad comienza con la formalización de esta intuición normativa en el concepto de esperanza matemática. La justicia en el intercambio permite así cuantificar el precio de una apuesta (su valor esperado) aun sin una concepción separada de la probabilidad matemática. Pero si la justicia de un precio depende de su proporción con el riesgo y no tenemos probabilidades para cuantificar tal riesgo, ¿en qué habrá de basarse la esperanza? Veremos (sección 4) cómo los tratadistas del XVII apelaron a la incertidumbre de las mismas partes contratantes: si ambas estiman sus respectivos riesgos como equivalente, sin que ninguna de ellas explote la ignorancia de la otra, el precio que acuerden será justo.

Además de frecuencias, propensiones y creencias, en el origen de la probabilidad encontramos una *interacción estratégica* en el sentido de la teoría de juegos: dos apostadores han de llegar a un acuerdo sobre el precio de su apuesta. Esta interacción es insignificante desde el punto de vista de la teoría de la medida, sobre la que se funda matemáticamente nuestra concepción contemporánea de la probabilidad. Pero recientemente Glenn Shafer y Vladimir Vovk han propuesto una formulación alternativa que dar prioridad a los juegos: el valor esperado será justamente el precio de una apuesta que un jugador realiza sobre lo que sucederá en el mundo. A partir de este concepto de valor esperado veremos someramente (sección 5) cómo Shafer y Vovk pretenden llegar al concepto de probabilidad.

Desde una perspectiva pragmatista, es interesante advertir cómo la propuesta de Shafer y Vovk explicita los intereses estratégicos de los jugadores al lidiar con el riesgo de una apuesta, de un modo que ilumina la intuición normativa de la que partíamos. Según Shafer y Vovk, el *precio exacto* de una apuesta será aquel en que coincida el menor precio al que un jugador pueda comprarla y el mayor precio al que pueda venderla. Este sería un precio justo conforme al principio aristotélico de *justicia en el intercambio*: tanto puso un jugador en la compra de una apuesta, eso mismo recibirá en su venta. En la conclusión (sección 6) veremos cómo la concepción de la probabilidad que nos proponen Shafer y Vovk cumple buena parte de los *desiderata* de Torretti, pero nos permite también ofrecer iluminar el nacimiento de la probabilidad desde una perspectiva pragmatista que va más allá de los arreglos experimentales.

2. Igualdad en el intercambio e igualdad en el riesgo

Lo que denominaremos *igualdad en el intercambio* es simplemente el principio de la justicia conmutativa que Aristóteles presentó en el quinto libro de la *Ética nicomaquea* (EN 1131b25-1132b20) (Aristóteles, Pallí Bonet, & Lledó, 1985). Aristóteles se plantea aquí el problema de la justicia de los contratos a través de una analogía matemática. Supongamos que las dos partes contratantes tiene iguales derechos sobre un cierto bien, pero han recibido una división desigual (a, b , donde $a \neq b$). Para Aristóteles, la división justa del bien entre las dos partes contratantes es la media aritmética de la división original: $(a+b)/2$. Aunque Aristóteles no detalla cómo se aplicar esta analogía en un intercambio real, su intuición tuvo una enorme influencia en nuestra tradición occidental y se transmite de modo prácticamente literal a sus comentaristas medievales. Por ejemplo, para el Aquinate, un intercambio justo es aquel en el que las cantidades que cambian de manos no se desvían de la media aritmética del total intercambiado:

Pues si al principio ambas partes tenían 5, y una de ellas recibe 1 de lo que es propio de la otra, una, es decir, la que recibe, tendrá 6, y a la otra le quedarán 4. Habrá, pues, justicia si se reduce a ambas al término medio, de modo que se quite 1 a la que tiene 6 y que se dé a la que tiene 4; pues de ese modo tendrá cada uno 5, que es el medio. (ST II-II, q61, a2) (Aquino, 1985: 513)

Sobre la base de este principio aristotélico, los escolásticos discutieron ampliamente sobre la justicia de los denominados *contratos aleatorios*, en los que beneficios y pérdidas dependen de un acontecimiento incierto (Ceccarelli, 2001). La *igualdad en el intercambio* se modula aquí en *igualdad en el riesgo*, principio del que presentaremos la versión de Domingo de Soto, uno de los más influyentes teólogos-juristas de la Escuela de Salamanca. Soto sistematizó siglos de controversias jurídicas en su monumental tratado *De Iustitia et Iure* (1556), en cuyo libro VI, qq6-7 (Soto et al., 1967: 575-581) se discuten los contratos aleatorios. La cuestión que aborda allí Soto es cómo distribuir justamente los beneficios y pérdidas en una sociedad formada mediante tal contrato. Para Soto, una división aristotélica (una media aritmética) solo sería justa si los socios asumiesen riesgos iguales sobre su contribución (sea esta capital o trabajo) a la sociedad. Si los riesgos asumidos son diferentes, la división de beneficios y pérdidas debe ser proporcional a tales riesgos. La igualdad en el riesgo propuesta por Soto incorpora, por tanto, la incertidumbre a la igualdad aristotélica en el intercambio.

La igualdad en el riesgo le permite distinguir a Soto entre *seguros* y *préstamos*. En un préstamo el propietario del dinero no asume ningún riesgo al prestarlo: el prestatario debía devolverlo, con independencia de su éxito o fracaso, más los intereses. De ahí la sombra de usura sobre los préstamos. Sin embargo, en los contratos de seguros se aplica la igualdad en el riesgo, pues ambas partes corren con los suyos. Si no se produce ninguna adversidad, el asegurado perderá la prima de su seguro. Si sucede, el asegurador deberá compensar el capital asegurado. A diferencia del interés en un préstamo, la prima es, por tanto, una compensación por cubrir el riesgo. Ahora bien, podemos preguntarnos qué prima es justo pagar en un contrato de seguros, a lo cual Soto responde que no hay una valoración universal del riesgo. Las partes contratantes deben acordarlo entre ellas:

Hay quienes juzguen a quien con la esperanza de ganar ciento, o mil, se haga cargo del peligro de la nave de un comerciante que tal vez valga veinte o treinta mil. A éstos respondemos que nosotros no discutimos sobre el precio; puede, efectivamente, ser justo o injusto. Esto que lo vean los contratantes. (Soto et al., 1967: 580)

En el siglo XVI, la naciente teoría de la probabilidad formaliza el principio de igualdad en el riesgo, cuando Pascal y Huygens formulan el concepto de esperanza matemática para analizar los problemas de distribución que aparecen en un tipo de contratos aleatorios: las apuestas (Sylla, 2003), (Teira, 2006). En su *Tratado sobre el triángulo aritmético* (1665), Pascal discute el denominado *Problema de los repartos*: si un juego de azar se interrumpe, ¿cómo distribuir justamente lo apostado? Para Pascal, “la incertidumbre de ganar es proporcional a la certeza de lo que arriesgamos según la proporción de los riesgos (hasard) de ganancia y pérdida”³. La cuestión es, por tanto, cómo cuantificar tal expectativa. En *De ratiociniis in ludo aleae* (1657), Huygens propuso el siguiente algoritmo. Supongamos un juego de azar en el que dos jugadores pueden o bien ganar la cantidad a o perder la cantidad b :

Si espero a ó b , y puedo obtener con igual facilidad cualquiera de las dos, se dirá que mi esperanza vale $(a+b)/2$. (de Mora Charles, 1989)

Tenemos aquí una media aritmética, conforme a la justicia conmutativa aristotélica, pero también una cuantificación implícita del riesgo asumido por cada jugador. Desde el punto de vista de la probabilidad contemporánea, Hu-

³ *Vid.* la carta de Pascal a Fermat del 29 de julio de 1654 (Pascal, Aranguren, & Dampierre, 1981, pp. 658-666).

ygens habría formulado el concepto de esperanza matemática, una media de ganancias y pérdidas (a , b) ponderada por su probabilidad ($1/2$ para ambas opciones). Sin embargo, Huygens carece todavía de un concepto separado de probabilidad (una entidad matemática): como veremos en la siguiente sección su estimación depende del acuerdo que alcanzan ambos jugadores sobre sus apuestas.

Con la formalización del principio de igualdad en el riesgo, Pascal y Huygens resolvieron el problema de los repartos: si un juego se interrumpe, cada jugador deberá recibir el valor de su esperanza en este punto. Y este será también el principio que fije el justo precio de la apuesta: quienes asumen los mismos riesgos deben pagar un mismo precio.

3. La equivalencia entre contratos aleatorios

Huygens no cuantificó los riesgos directamente sirviéndose de probabilidad. Se sirvió de un procedimiento frecuente en la aritmética comercial de la época, estudiando contratos de apuestas y buscando equivalencias entre ellos. En la medida en que dos contratos entrañan los mismos riesgos, su valor esperado debía ser el mismo. A través de estas equivalencias, surge implícitamente una cuantificación de la probabilidad.

He aquí el argumento con el que Huygens formula el concepto de esperanza matemática. Imaginemos un juego en el que ambos jugadores tienen las mismas oportunidades de obtener a o b (donde $a < b$). El juego se interrumpe y dos jugadores más se incorporan, cada uno de los cuales paga la cantidad x para jugar (el Problema de los repartos es decidir el valor de x). Ambos acuerdan que el ganador de este Segundo juego ganará $2x$ y el perdedor recibirá a , como en el primero. El primer y el segundo juego serán equivalentes si el ganador recibe en ambos casos la cantidad pactada en el primero: b . Por lo tanto, $2x - a$ debe ser igual a b . Así, la cantidad x que los dos nuevos jugadores deben pagar para incorporarse al juego debe ser: $(a+b)/2$. En nuestros términos, este es el valor esperado del juego y, puesto que son equivalentes, será también el justo precio de la apuesta requerida para entrar en el primer juego (interrumpido). Así, la ponderación $1/2$ que encontramos en la fórmula de Huygens se basa en el número de jugadores participantes (*dos*), suponiendo que tienen igual facilidad para ganar y perder. Como señala (Torretti, 2003: 6n), puede argumentarse que el acuerdo se basa en la simetría del dispositivo aleatorio del que se sirven para su apuesta. Pero el razonamiento que permite su acuerdo se basa, advirtámoslo en la percepción común entre las partes contratantes de la justicia del precio así calculado.

Hasta la formulación canónica de Jacob Bernoulli, los primeros teóricos de la probabilidad se sirvieron durante algunas décadas de esta aproximación contractualista. Así planteó Jan De Witt (1625-1672) en 1671 cómo calcular el precio justo de un seguro⁴. Imaginemos un jugador (Juan) que tiene las mismas oportunidades de obtener diferentes cantidades (e.g., 2000, 3000, 4000 florines). ¿Cómo ha de calcular el valor de sus expectativas? Para ello, argumenta De Witt, Juan tiene que firmar un contrato con otros dos jugadores, Pedro y Pablo. Cada uno de ellos contribuirá con 3000 florines a un fondo conjunto. Estos 9000 florines los recibirá uno de los tres en una lotería en la que cada uno de ellos tiene las mismas oportunidades de ganar. Juan tendrá que firmar además dos contratos separados con Pedro y Pablo: si Juan o Pedro gana la lotería, compensará al otro con 2000 florines; si Juan o Pablo ganan la lotería, el perdedor será compensado con 3000 florines. Estos tres contratos le permiten a Juan tener las mismas oportunidades de ganar o bien 4000 florines (el fondo conjunto, menos la compensación a sus socios), o bien 2000 florines o 3000 florines (si gana Pedro o Pablo). Pedro puede esperar ganar 3000 florines, que es el precio justo de la apuesta⁵.

Para De Witt, este ejemplo ilustra un principio general: el valor de una expectativa es igual a la suma de las cantidades en juego dividido por las oportunidades de obtenerlas –9000/3 en el ejemplo. Como Huygens, De Witt utiliza el número de jugadores para expresar la equiprobabilidad. Cuando no se supone igualdad de oportunidades entre los jugadores, su algoritmo necesita tantos jugadores en el contrato inicial como la suma de las oportunidades de obtener los distintos resultados: por ejemplo, si las oportunidades son 6, 4 y 3, debe haber 13 jugadores.

Por lo tanto, las probabilidades no existen separadas de los contratos en los que se formalizan. Para Huygens y De Witt, la expectativa es el concepto primitivo. Por lo tanto, una vez firmados los contratos, podríamos juzgar que, en la medida en que son justos y su precio es el mismo, los riesgos son los mismos para todas las partes. Podemos preguntarnos, sin embargo, cómo evalúan sus riesgos los jugadores en cada apuesta, antes de firmar el contrato.

⁴ “I presuppose that the real value of certain expectations or chances of objects, of different value, must be estimated by that which we can obtain from several expectations or chances, dependent on one or several equal contracts.” Citamos a partir de la traducción inglesa de Hendricks (Barnwell & Hendricks, 1856: 82-83)

⁵ Aunque De Witt no lo menciona, para garantizar la igualdad de oportunidades de todos los jugadores sería necesario añadir al esquema anterior un contrato adicional entre Pedro y Pablo, por el cual, si alguno de los dos gana el premio de 9000 florines, el ganador entregará al perdedor la suma de 3000 florines. De esta forma los tres jugadores tendrían exactamente las mismas expectativas de ganancias en el juego.

4. La justicia de un contrato aleatorio

En efecto, para poder aplicar el principio de igualdad en el riesgo en el análisis de contratos equivalentes debemos suponer que las partes contratantes han estimado sus riesgos iguales. ¿Y cómo podrían haberlo hecho sin una definición previa de probabilidad? De nuevo, el Derecho nos proporciona una posible respuesta. Pascal contaba en su círculo con el jurista Jean Domat (1625-1696), autor de otro monumental tratado *Las leyes civiles en su orden natural* (1689), considerado hoy como una de las primeras sistematizaciones racionalista del derecho francés.

Domat discute en varios puntos el papel de la incertidumbre en la justicia de un acuerdo. Por ejemplo, aquellos pactos sobre un suceso incierto en los que una de las partes puede, si se produce, renunciar a cualquier beneficio y exonerarse de cualquier pérdida (Libro I, Título I, Sección IV, XX). Para Domat, la justicia de semejante pacto se fundamenta en lo siguiente:

Esta forma de pactos tienen su justicia en que una [de las partes] prefiere como reparto algo cierto y conocido, sea en beneficios o pérdidas, en vez de la incierta espera de los acontecimientos. La otra, por el contrario, encuentra ventajoso en el reparto esperar una condición mejor. Así se produce entre ambas [partes] una especie de igualdad en el reparto, que hace justo su pacto. (Domat, 1689: 97)

Si las partes contratantes tienen expectativas complementarias sobre el resultado, el acuerdo es justo. Sus expectativas dependen, por supuesto, de una estimación subjetiva del riesgo de que se produzca un suceso incierto. Para Domat esta estimación subjetiva basta para fundar la justicia de su acuerdo *si ambas partes están en igualdad de condiciones respecto al azar*. Por ejemplo (Libro I, Título VIII, Sección II, XI), en una sociedad universal se acuerda que la dote de las hijas de los socios se tomará del fondo común. Si resulta que solo uno de estos tiene hijas, será justo que disponga de la dote, puesto que en el momento en el que se crea la sociedad “todos estaban en la misma incertidumbre ante el acontecimiento [tener una hija], y con igual derecho. Siendo su condición igual, será justo su pacto” (Domat, 1689: 308).

Por lo tanto, no se trata de que las partes contratantes sean capaces de cuantificar sus riesgos. Más bien, deben asegurarse de que la incertidumbre es la misma para ambas partes: ninguno de los socios debe saber más que los demás acerca de sus respectivas probabilidades de tener hijas. Ninguno de ellos pudo, por tanto, explotar la ignorancia ajena. Para que un contrato sea válido, afirma Domat, basta con que las partes sean conscientes de las obliga-

ciones que contraen y acepten su igualdad ante el riesgo. Por ejemplo (Libro I, Título XVIII, preámbulo), si al negociar el reparto de una herencia, todos los herederos ignoran *por igual* la existencia de deudas o cargas, su aparición posterior no les justifica a impugnar el reparto.

Pues no es sobre un conocimiento exacto y entero del detalle de los derechos y cargas de sucesión que se funda su compromiso. Basta para fundarlo y convertirlo en irrevocable que se sepa que una herencia consiste en derechos y cargas, que a menudo los herederos, incluso los más clarividentes, desconocen. [Basta que el heredero] sepa que en la mayor o menor incertidumbre de lo que no podemos conocer, él ha optado por un reparto con un riesgo de pérdida o beneficio en un bien de naturaleza incierta. (Domat, 1689: 489)

Por lo tanto, es la igualdad de condiciones ante la aleatoriedad de un contrato lo que determina su validez, aun sin una cuantificación precisa de sus riesgos. Podemos plantearnos ahora si es posible sobre esta base contractualista acceder a una definición matemática de la probabilidad.

5. Probabilidades y precios

Hemos visto cómo la esperanza matemática define el justo precio de una apuesta si aceptamos el principio aristotélico de igualdad en el riesgo. Esta igualdad se define, además, sobre una estimación contractual del riesgo, sin una cuantificación explícita de la probabilidad. Desde el punto de vista de nuestra definición axiomática de probabilidad, la interacción entre jugadores no tiene, desde luego, significación. Pero recientemente Glenn Shafer y Vladimir Vovk han propuesto una concepción de la probabilidad en la que esta se define a partir de la interacción estratégica entre dos jugadores que deciden sobre el precio de una apuesta. Siguiendo su propia presentación introductoria (Shafer & Vovk, 2001: cap. 1), esbozaremos aquí los rudimentos de esta concepción para discutirla en la sección siguiente.

Supongamos entonces un juego con dos jugadores que denominaremos *Escéptico* y *Mundo*. Escéptico apuesta sobre qué ocurrirá; Mundo decide qué ocurrirá. Es un juego de información perfecta y completa para ambos. Podemos imaginar que Escéptico tiene una teoría sobre lo que ocurrirá en el mundo y apuesta sobre tales sucesos de acuerdo con su teoría. Según Shafer y Vovk, necesitamos dos principios para dar sentido probabilístico a este juego.

Por un lado, las apuestas de Escéptico se regirán por el principio de cobertura dinámica (*Dynamic Hedging*). Tenemos apuesta simples (sobre un solo

movimiento de Mundo) y apuestas complejas (sobre varios movimientos de Mundo): cuando las apuestas complejas son combinaciones de apuestas simples, el precio de estas últimas determina el de las primeras. En cada ronda del juego, Escéptico puede realizar apuestas simples o complejas.

Por otro lado, Shafer y Vovk nos proponen la que denominan su *hipótesis interpretativa fundamental*. La hipótesis afirma que *es raro que ocurran sucesos con una probabilidad baja o nula*. Adoptar la hipótesis nos permite poner a prueba la teoría de Escéptico a través de las apuestas: si ocurren sucesos con una probabilidad baja o nula, la teoría no nos proporcionará un buen modelo del mundo⁶.

Un juego probabilístico es una especificación completa de los movimientos disponibles para los jugadores. Para definir estos movimientos necesitamos (i) un espacio muestral de sucesos posibles (las secuencias de movimientos de Mundo) y (ii) apuestas que definimos como variables cuyos valores son precios. Podemos representar el espacio muestral como un árbol en el que de cada nodo (o *situación*) parten los posibles movimientos de Mundo. Cuando un recorrido a través de distintos nodos termina, la situación terminal (las ganancias o pérdidas) identifica el recorrido completo.

Cada movimiento de Escéptico es una apuesta, definida por su precio y su premio. Este dependerá del siguiente movimiento de Mundo. Se pueden realizar apuestas por cualquier fracción o múltiplo de las apuestas disponibles. Escéptico puede además endeudarse sin intereses para apostar. Un *protocolo de apuestas* es simétrico si Escéptico puede comprar una apuesta con premio x al precio m y vender esa misma apuesta por $-m$.

Escéptico puede formar estrategias P : planes para apostar en cada nodo (no terminal) del espacio muestral. El capital de Escéptico viene determinado por su capital inicial y su estrategia. Dada una estrategia P y una situación t , $K^P(t)$ será el capital de Escéptico en t , si inicia el juego con capital 0 y sigue la estrategia P . Supuesto que ξ sea un recorrido completo, $K^P(\xi)$ será el capital final del Escéptico al concluir ξ .

Sea x una variable representando una apuesta con premio x que Escéptico puede comprar o vender al precio α . La transacción será satisfactoria si se cumple la condición siguiente:

⁶ A diferencia de otras formulaciones, Shafer y Vovk insisten en que su hipótesis no se basa en las probabilidades de los sucesos particulares sobre los que se formulan las apuestas. Es su propia versión del denominado *punto de Cournot* para conectar la teoría de la probabilidad con el mundo (Shafer & Vovk, 2001, p. 56).

Para cualquier ζ , $K^P(\zeta) \geq x(\zeta) - \alpha$

Es decir, el capital acumulado por Escéptico en el nodo final del recorrido ζ , siguiendo la estrategia P es mayor o igual que el premio $x(\zeta)$ recibido al final de ζ menos el precio que pagó por la apuesta.

Shafer y Vovk definen el *precio superior* de x (su *coste*) de la siguiente manera:

$$\bar{E}(x) \equiv \inf \{ \alpha \mid \text{hay una estrategia } P \text{ tal que } K^P \geq x - \alpha \}$$

$\bar{E}(x)$ es el menor precio al que Escéptico puede comprar la apuesta x en el espacio muestral. Correlativamente, el mayor precio al que Escéptico puede vender x (su *valor residual*) se define como sigue:

$$\underline{E}(x) \equiv \sup \{ \alpha \mid \text{hay una estrategia } P \text{ tal que } K^P \geq \alpha - x \}$$

Vender x por α es equivalente a comprar $-x$ por $-\alpha$. Es decir, para todo x se verifica:

$$\bar{E}(x) = -\underline{E}(-x)$$

En una situación t , un *protocolo de apuestas es coherente* si se cumple, para todo x :

$$\underline{E}_t x \leq \bar{E}_t x$$

En un protocolo de apuestas coherente, no es seguro que Escéptico pueda ganar dinero: el menor precio al que Escéptico puede comprar una apuesta es menor o igual que el mayor precio al que puede venderla.

El *precio (exacto)* de x en t será $E_t x$ cuando se cumpla:

$$\underline{E}_t x = \bar{E}_t x$$

Los precios así definidos tienen las propiedades de la esperanza matemática en teoría de la probabilidad, aun cuando Shafer y Vovk no han definido todavía probabilidad alguna.

La hipótesis interpretativa fundamental nos permite ahora dar sentido a los precios en un juego probabilísticos. La hipótesis afirma, en su versión para casos finitos, que no hay ninguna estrategia que le permita a Escéptico simultáneamente (1) estar seguro de que evitará la bancarrota y (2) tener una *oportunidad razonable* de enriquecerse —es decir, multiplicar significativa-

mente su capital inicial. Un suceso será tanto más improbable cuanto mayor sea el enriquecimiento que permita. En un protocolo coherente, Mundo puede siempre impedir que Escéptico se enriquezca, cumpliendo con la hipótesis.

Shafer y Vovk definen entonces el concepto de probabilidad a partir de los precios superior e inferior. En primer lugar, definen la variable I_E de la siguiente manera: dado un suceso K y un recorrido ξ

$$I_K(\xi) := \begin{cases} 1 & \text{si } \xi \in K \\ 0 & \text{si } \xi \notin K \end{cases}$$

Así la *probabilidad superior* se define como: $\bar{P}K := \bar{E}I_E$ La probabilidad inferior será así: $\underline{P}K := \underline{E}I_E$

Si el protocolo es coherente, la probabilidad superior e inferior verifican⁷:

$$0 \leq \underline{P}K \leq \bar{P}K \leq 1$$

$$\underline{P}K = 1 - \bar{P}K^c$$

La hipótesis fundamental nos permite interpretar estas probabilidades en términos de precios: si, por ejemplo, la probabilidad superior de K es muy baja, Escéptico puede comprar la variable indicadora de K , I_K , por un precio muy bajo. Es seguro que evitará la bancarrota, pues el precio de I_K es mayor que cero. Y se enriquecerá si K sucede, cosa improbable.

6. Un pragmatismo ampliado

Aceptemos, en aras del argumento, que la concepción de la probabilidad que nos proponen Shafer y Vovk es viable, y es posible obtener a partir de sus principios las leyes de los grandes números y el teorema central del límite. Examinemos brevemente de qué modo enfrentaría las objeciones de Torretti y en qué sentido permitirían expandir su pragmatismo.

Contra el frecuentismo, recordémoslo, Torretti señala que no nos permite interpretar la probabilidad como guía de la vida, al no permitírnosla asignársela a un suceso singular. Shafer y Vovk no parten, sin embargo, de una medida de probabilidad (en el sentido de la teoría de la medida) en la que hayamos de interpretar tales sucesos singulares. Escéptico asigna probabilidades a cada suceso sobre el que apuesta sirviéndose de la información de la que dispone,

⁷ K^c es el suceso complementario de K en el espacio muestral, los movimientos de Mundo que no están en K o donde K no sucede.

de acuerdo con las dos hipótesis de partida. Mundo decide. El juego tendrá, por tanto, n probabilidades para los sucesos sobre los que se apuesta, $p_1, \dots, p_n$, no una medida de probabilidad completa (Shafer & Vovk, 2001: 58).

Sin embargo, los precios teorizados por Shafer y Vovk no son siempre directamente interpretables en términos probabilísticos. Si la probabilidad superior y la probabilidad inferior están ambas próximas a 0 o a 1, podremos decir que el suceso es muy probable o improbable. Pero si la probabilidad inferior y la superior no están alineadas cerca de 0 y 1, no tendremos evidencia suficiente para asignarle probabilidad directamente al suceso (Shafer & Vovk, 2001: 16). Por lo tanto, a diferencia del Bayesianismo, no necesita tampoco suponer que el mundo se componga de “eventos bien delimitados” con una probabilidad precisa (y su correspondiente precio).

El precio a pagar, sin embargo, es que si sólo las probabilidades cercanas a 1 y a 0 tienen sentido independiente, cualquier otro valor intermedio sólo tendrá sentido a través de la repetición del suceso, al modo frecuentista, tal como sugiere la hipótesis fundamental. Shafer y Vovk recurren para ello a las leyes de convergencia que prueban a partir de teoría de juegos (Shafer & Vovk, 2001: 44).

Por lo tanto, esta versión de la probabilidad no será en todos los casos una guía para la vida, en el sentido deseado por Torretti. Esto es, una propensión definida sobre un arreglo experimental singular, y no sobre la secuencia de resultados que el arreglo genera (Suárez, 2011). Como indican (Shafer & Vovk, 2001: 46), el suyo es un enfoque fundamentalmente propensionista⁸: la teoría de juegos considera los cursos alternativos de acción que se pueden producir en una apuesta, según decidan Escéptico y Mundo. Las probabilidades mediría aquí, por tanto, posibilidades (*potencialities*) en el juego.

Sin embargo, el enfoque de Shafer y Vovk es menos exigente que las versiones habituales del propensionismo: no es necesario partir de arreglos experimentales con simetrías bien definidas. Basta con que el fenómeno modelizado manifieste regularidades parciales, sobre las que se puedan asignar precios, pues tampoco es necesario aquí partir de una medida de probabilidad completa.

⁸ Sin embargo, se puede acomodar tanto el frecuentismo como el bayesianismo en el enfoque de Shafer y Vovk (Shafer & Vovk, 2001: 19-20). Los precios se pueden basar en frecuencias observadas en el pasado o en las elecciones personales entre riesgos (articuladas a partir de apuestas coherentes). En este último caso, se prescinde de la hipótesis fundamental, pues las probabilidades se refieren a riesgos asumidos, no a creencias subjetivas sobre lo que ocurrirá.

Por tanto, en un plano sistemático, la propuesta de Shafer y Vovk capta buena parte de las intuiciones de Torretti. Pero, desde nuestro punto de vista, nos permite ampliarlas decisivamente en el plano histórico. Pues el nacimiento de la teoría de la probabilidad en la matematización de los juegos de azar dejaría de ser una casualidad —en el sentido que reivindicó (Coumet, 2002). Desde la perspectiva de Shafer y Vovk, es posible llegar desde los precios a la esperanza matemática, y de aquí a una definición de probabilidad.

Cuando el menor precio al que Escéptico puede comprar una apuesta coincide con el mayor precio al que Escéptico puede venderla (sección 5), tenemos su precio exacto, con las propiedades de la esperanza:

$$\underline{E}_i x = \bar{E}_i x$$

Esta igualdad entre precios sobre la que pivota esta concepción de la probabilidad es justamente la intuita a través del principio aristotélico de igualdad en el intercambio, como veíamos en la sección 2: no hay ganancia en la compraventa, cada cual aporta exactamente lo que recibe. El principio de cobertura dinámica se encuentra ya implícito en las equivalencias entre contratos aleatorios, tal como presentamos en las secciones 2 y 3 (Shafer & Vovk, 2001: 31). La intuición financiera que subyace a este principio es que si un jugador dispone del capital A necesario para obtener, con una combinación de apuestas, una cantidad B, diremos que A es el precio de B. Los riesgos de los jugadores se cuantifican a través de los precios de los contratos, sin una concepción separada de la probabilidad: mismo precio, mismos riesgos. Los jugadores contratantes sólo necesitan coincidir en una estimación concordante del riesgo, tal como advertía Domat (sección 4). Esta estimación es pre-teórica: basta con que ninguna de las partes pueda explotar la ignorancia de la otra sobre las incertidumbres en las que basan su contrato aleatorio. La aleatoriedad debe ser, *a priori*, real, no ha de dar lugar a una martingala.

Obviamente todas estas son interpretaciones retrospectivas que no gustarán al historiador de la probabilidad más escrupuloso. Pero sigo aquí la inspiración del mismo Torretti, en un simposio que organicé en 2010 sobre algunos de sus libros. Decía allí:

Si hay todavía historiadores que se crean capaces de describir el pasado *wie es eigentlich gewesen*, yo sería el último en negarles su derecho a intentarlo. Siento un gran respeto y gratitud hacia lo que Nietzsche llamó la historia *antitucaria*, tengo en menos pero también le debo mucho a lo que llamó historia

monumental, pero yo mismo no me he propuesto nunca practicar otro género de historia que la que él llamó *crítica* (*Vom Nutzen und Nachteil der Historie für das Leben*, en *Unzeitgemässe Betrachtungen*). (Torretti, 2010: 148)

La propuesta de Shafer y Vovk nos permite, en mi opinión, hacer una historia crítica de un episodio central en el nacimiento del concepto moderno de probabilidad. Me hubiera gustado poder discutirlo aquella tarde en Santiago de Chile con Torretti, pero quede aquí al menos como testimonio de mi gratitud y admiración.

Referencias

- AQUINO, T. d. (1985). *Suma de Teología III. Parte II-II (a)*. Madrid: BAC.
- ARISTÓTELES, PALLÍ BONET, J., & LLEDÓ, E. (1985). *Ética nicomáquea ; Ética eudemia*. Madrid, : Gredos.
- BARNWELL, R. G., & HENDRICKS, F. (1856). *A sketch of the life and times of John De Witt, grand pensionary of Holland, to which is added, his treatise on life annuities*. New York,: Pudney & Russell.
- CECCARELLI, G. (2001). «Risky business: Theological and canonical thought on insurance from the thirteenth to the seventeenth century». *Journal of Medieval and Early Modern Studies*, 31(3), 607-658.
- COUMET, E. (2002). «La teoría del azar, ¿nació por azar?». *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*(3), 33. doi:10.5944/empiria.3.2000.877.
- DE MORA CHARLES, M. (1989). *Los inicios de la teoría de la probabilidad. Siglos XVI y XVII* Bilbao: Universidad del País Vasco.
- DOMAT, J. (1689). *Les Loix civiles dans leur ordre naturel* París: J. B. Coignard.
- HACKING, I. (2006). *The emergence of probability : a philosophical study of early ideas about probability, induction and statistical inference* (2nd ed.). Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- PASCAL, B., ARANGUREN, J. L. L., & DAMPIERRE, C. R. d. (1981). *Obras*. Madrid: Alfaguara.
- SHAFFER, G., & VOVK, V. (2001). *Probability and finance : it's only a game!* New York: J. Wiley & Sons.

- SOTO, D. d., CARRO, V. D., & Instituto de Estudios Políticos (Madrid). (1967). *De iustitia et iure libri decem = De la justicia y del derecho : en diez libros* (Edición facsimilar de la hecha por D. de Soto en 1556, con su versión castellana correspondiente ed.). Madrid: Instituto de Estudios Políticos.
- SUÁREZ, M. (2011). «Propensities and Pragmatism». *Journal of Philosophy*, 110(2), 61-102.
- SYLLA, E. D. (2003). «Business ethics, commercial mathematics, and the origins of mathematical probability». *History of Political Economy*, 35(5), 309-337.
- TEIRA, D. (2006). «On the normative dimension of the St. Petersburg paradox». *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 37(2), 210-223.
- TORRETTI, R. (1998). *El paraíso de Cantor. La tradición conjuntista en filosofía de la matemática*. Santiago de Chile: Universitaria.
- TORRETTI, R. (2003). «El concepto de probabilidad». *Diálogos*, 38, 407-448.
- TORRETTI, R. (2010). «Respuestas a mis críticos». *Teorema*, XXIX(1), 147-151.

Novedad empírica y creación de conceptos

Roberto Torretti

Resumen

Debido a la historicidad de la razón, más que inventariar sus principales conceptos en un momento dado nos interesa estudiar el proceso de su formación y fijación. En este artículo se ilustra ese proceso con ejemplos tomados de la historia de la física. El primer ejemplo concierne a la subordinación en el siglo XVII de los fenómenos archiconocidos de la caída libre y el movimiento de los planetas a un concepto nuevo; los restantes, tomados de la electrodinámica del siglo XIX y la microfísica y la cosmología del siglo XX, ilustran el juego mutuo de tales conceptos con novedades empíricas que en algunos casos los provocan, en otros los realizan.

Palabras clave: razón, formación de conceptos científicos, gravedad, electromagnetismo, relatividad especial, átomo, cosmología, relatividad general, expansión del universo, radiación cósmica de fondo, Galileo, Newton, Faraday, Maxwell, Hertz, Lorentz, Poincaré, Einstein, Rutherford, Hubble, Friedmann, Lemaître, Penzias, Wilson.

Empirical novelty and concept creation

Abstract

Due to the historical origin and development of reason, an inventory of its main concepts at a particular moment is less interesting to us than the study of their formation and fixation. This process is studied here in the light of examples from the history of physics. The first one concerns the subsumption of the well-known phenomena of free fall and planetary motion to a new concept of gravity in the 17th century; the remaining examples, drawn from 19th century electrodynamics

and 20th century microphysics and cosmology, display the interplay of such concepts with empirical novelties that prompt them in some case and realize them in others.

Keywords: reason, scientific concept formation, gravity, electromagnetism, special relativity, atom, cosmology, general relativity, expansion of the universe, cosmic background radiation, Galileo, Newton, Faraday, Maxwell, Hertz, Lorentz, Poincaré, Einstein, Rutherford, Hubble, Friedmann, Lemaître, Penzias, Wilson.

Kant nos persuadió de que no hay percepción sin conceptos que unifiquen la variedad de las impresiones sensibles y las ordenen en el sistema de la experiencia. Pero, a diferencia de Kant, no nos cabe pensar que nuestra naturaleza humana —incluidas las facultades de concebir, juzgar y razonar— haya caído del cielo, armada de pies a cabeza. Fruto de la evolución de las especies por mutación aleatoria y selección natural, el *Homo sapiens* vive desde su primera aparición sobre la Tierra una historia en el curso de la cual se suceden y desplazan unas a otras formas diversas y aun discrepantes de comunicación, de pensamiento, de vida. Bajo esta perspectiva, un inventario (como el intentado por Kant en su tabla de categorías y su lista de Ideas de la razón) de los principales conceptos corrientes, pero seguramente variables, interesa menos que una reflexión filosófica sobre los procesos, no necesariamente uniformes, de creación y fijación de tales conceptos.

El surgimiento de los conceptos que operaron en los albores del pensamiento humano se pierde en la llamada noche de los tiempos y solo con gran dificultad e incertidumbre es posible discernir y explorar sus huellas en las lenguas vivas o en aquellas que no hablamos pero que todavía sobreviven en la condición de lenguas muertas. En particular, la gramática y el léxico de las lenguas indogermánicas es una fuente de instrucción incesante sobre la mentalidad neolítica que todavía nos embebe y puede ser una ayuda para emanciparnos de ella.¹ Con todo, los intentos para extraer del griego o del sánscrito conocimientos sustantivos sobre los conceptos primigenios de la humanidad en general o de nuestra particular cultura acaban siendo bastante especulativos, como bien sabemos los lectores de Heidegger. Así por ejem-

¹ Onians (1951) y Benveniste (1969) utilizan activa y eficazmente su conocimiento de las antiguas lenguas indoeuropeas para arrojar luz sobre las fuentes de la racionalidad euroamericana.

plo, que el verbo ἀληθεύω² signifique “decir la verdad” sugiere que en alguna etapa de su historia, alguna comunidad influyente de griegohablantes (o de pregriegohablantes) entendió que—al menos en cierto importante grupo de casos— cuando se dice la verdad, lo dicho deja de estar oculto o encubierto; pero aunque esto efectivamente hubiera sido así, ello no implicaría que ‘des-encubrimiento’ o ‘desocultación’ sea el significado invariable, o genuino, o siquiera preferible de ‘verdad’.³

Evidentemente, la historia de las ciencias ofrece al interesado en los procesos de creación de conceptos un campo de estudios mucho mejor documentado que el inicio de las lenguas. En particular, la física moderna ha sido, durante los últimos cuatro siglos el escenario de numerosas innovaciones intelectuales, más o menos drásticas, que han facilitado una mejor comprensión de muchísimos fenómenos, algunos familiares, como los movimientos de la Luna, pero otros inesperados y sorprendentes, como la radioactividad o la fuga de las galaxias, o, como el alternador eléctrico o las ondas hertzianas, fabricados en el laboratorio para conferir realidad a un concepto nuevo. En las páginas siguientes examinaré una serie de ejemplos tomados de la historia de la física. El primero envuelve la subordinación de fenómenos archiconocidos a un concepto nuevo; los restantes ilustran el juego mutuo de tales conceptos con novedades empíricas que en algunos casos los provocan, en otros los realizan.

•

En el siglo XVII, Galileo propuso un modelo matemático simple para el fenómeno de la caída de los cuerpos sobre la Tierra: si acordamos ignorar la resistencia del aire, la caída vertical de cualquier cuerpo realiza un movimiento uniformemente acelerado; la aceleración constante es independiente del peso y la índole del cuerpo. El modelo fue aplicado con éxito a la descripción y predicción del movimiento de los proyectiles, que Galileo concibe como resultante del movimiento uniforme y rectilíneo con que el proyectil sale, por

² La voz griega ἀληθεύω se compone del prefijo privativo α-, el sufijo -εύω, desinencia propia de la 1ª persona singular del presente indicativo de muchos verbos, y la raíz ληθ-, común a muchas formas del verbo λανθάνω, ‘ocultarse, escapar a percepción o detección’ (de hecho, λήθω es presente del indicativo en *Iliada*, 13.273, 23.323; *Edipo Rey*, 1325).

³ Hay, con todo, un texto clásico que al parecer documenta precisamente la elucidación de ἀλήθεια por Heidegger. En el conocido pasaje dónde Tucídides (1.23.6) presenta el motivo que habría hecho prácticamente inevitable la guerra entre los peloponesios y los atenienses que es el tema de su obra, se utilizan como antónimos los adjetivos ἀληθής y ἀφανής. Como este último significa ‘no manifiesto, inadvertido, secreto, invisible’, el primero significa ‘manifiesto, evidente, patente, obvio’. Ἡ μὲν ἀληθεστάτη πρόφασις, ἀφανεστάτη δὲ λόγῳ tiene que traducirse como “la explicación más evidente, aunque menos manifestada en palabras”.

ejemplo, de la boca de un cañón, en la dirección en que este apunta, y de la aceleración vertical constante que le imprime la gravedad desde el instante de su salida.⁴ Newton hizo extensivo este concepto al movimiento de la Luna,⁵ con una modificación decisiva: la aceleración vertical —es decir, dirigida hacia el centro de la Tierra— no puede ser la misma a cualquier altura, sino que varía inversamente como el cuadrado de la distancia entre ese centro y el cuerpo acelerado. (La modificación es razonable si suponemos con Newton que toda aceleración es el efecto de una fuerza; si esta es ejercida desde el centro de la Tierra sobre los cuerpos que la rodean, es verosímil que se diluya según crece la esfera donde se ejerce, la cual es proporcional al cuadrado de su radio). La Luna no se estrella, como el proyectil, contra la Tierra, sino que la circunda indefinidamente, porque en cada momento su velocidad en la dirección perpendicular al radio que la une al centro de la Tierra es suficiente para mantenerla en órbita. En octubre de 1957, 270 años después de la publicación de los *Principios* de Newton, Sputnik I, el primer satélite artificial, fue puesto en órbita por la U.R.S.S., brindando una realización práctica (Bachelard diría “fenomenotécnica”—*vide* Torretti 2011) del concepto newtoniano: un proyectil lanzado con tal velocidad que, en vez de caer a la Tierra, describe una trayectoria elíptica en torno a ella.

Newton concibió la aceleración de gravedad como efecto de una fuerza de atracción de la materia sobre la materia. Postuló que la fuerza entre dos cuerpos es directamente proporcional a la cantidad de materia o “masa” de cada uno.⁶ Habiendo demostrado que modelos construidos conforme a este concepto representan satisfactoriamente los movimientos de los satélites de Júpiter en torno a este planeta y de los planetas en torno al Sol, Newton concluyó que entre todos los cuerpos actúa una fuerza directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias. Esta audacísima generalización valió a Newton el dístico de Pope:

Nature and Nature's Laws lay hid in Night:
God said, “Let Newton be!” and all was light.⁷

⁴ Galileo Galilei (1638), pp. 150ss; en Galileo (1964), vol. 8, pp. 190ss.

⁵ Los primeros cálculos de Newton basados en esta idea datan de 1666. La hizo pública en su obra maestra editada en 1687.

⁶ Como el efecto acelerador de una fuerza es —conforme al segundo Axioma del Movimiento de Newton— inversamente proporcional a la masa del cuerpo acelerado, la contribución de esta a la fuerza se elimina de la ecuación; por tanto, dicha masa no afecta la velocidad ni la trayectoria de la caída.

⁷ “La naturaleza y las leyes de la naturaleza yacían ocultas en la noche./ Dios dijo: ‘¡Hágase Newton!’ y todo fue luz” (Epitafio para la tumba de Isaac Newton en la Abadía de Westminster; en Pope 1963, p. 808).

•

A fines del siglo XVIII el concepto newtoniano de atracción a distancia conforme a una relación cuantitativa simple había sido extendido analógicamente desde la gravedad a otras dos clases de fuerza, aparentemente menos ubicuas que aquella, pero conocidas desde antaño: la fuerza magnética con que se atraen o repelen los extremos de dos agujas imantadas, y la fuerza eléctrica, llamada así porque un bastoncito de ámbar (ἤλεκτρον en griego), frotado vigorosamente con un paño, atrae cuerpucillos ligeros, por ejemplo, trocitos de papel. Los chinos descubrieron durante el primer milenio de nuestra era que uno de los extremos de una aguja imantada apunta al norte y el otro al sur. Basaron en este hallazgo la invención de la brújula como instrumento de navegación. Cualquiera que haya jugado con dos brújulas ha visto que los extremos de idéntica orientación se repelen y los de orientación opuesta se atraen. A mediados del siglo XVIII, Benjamín Franklin introdujo una clasificación homóloga de las fuerzas eléctricas, llamando electricidad vidriosa (*vitreous*) o *positiva* a la ejercida desde un trozo de vidrio que se ha frotado contra un trozo de resina, y electricidad resinosa o *negativa* a la ejercida desde el trozo de resina que se frotó contra aquel. Hoy entendemos que el frotamiento traslada del vidrio a la resina partículas cargadas de electricidad negativa, alterando así el equilibrio entre los dos tipos de electricidad que reinaba en ambos cuerpos antes de frotarlos. Coulomb (1784) postuló que los cuerpos cargados con el mismo tipo de electricidad se repelen y que los cargados con electricidad de tipo opuesto se atraen con una fuerza proporcional a la magnitud de sus respectivas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias. Al año siguiente, Coulomb propuso para las fuerzas magnéticas una ley de atracción y repulsión de la misma forma. Pocos años antes, Galvani había generado por primera vez una corriente eléctrica, al conectar casualmente las patas de una rana a dos metales diferentes. Galvani entendió que los efectos observados manifestaban la fuerza vital de la rana. Esta interpretación fue desestimada en cuanto Volta fabricó la primera pila eléctrica, capaz de generar una corriente eléctrica que fluye por un alambre conductor entre los dos extremos de una pila de discos alternados de cobre y de zinc, empapados con agua salada. Un par de décadas más tarde, el físico danés Christian Oersted, convencido —por la filosofía de Schelling— del parentesco íntimo entre todas las fuerzas naturales, se puso a investigar una posible interacción entre las fuerzas eléctricas y las magnéticas. Mientras intentaba en vano que una aguja imantada perpendicular a un alambre por el cual fluía una corriente se alinease con este, descubrió sin buscarlo el efecto contrario: una aguja paralela a un alambre conductor gira 90 grados al circular corrien-

te por este. Este descubrimiento dio paso a la espectacular conversión de la electricidad de juguete de salón en pilar de la civilización planetaria. En este proceso fue decisiva la obra de Michael Faraday, de la que tomo mi segundo ejemplo de innovación conceptual, seguida esta vez inmediatamente por su realización en el laboratorio.

Para describirlo emplearé la noción de campo de fuerzas que Faraday introducirá muchos años después. Si coloco uno o más imanes sobre una mesa y riego limaduras de hierro en el espacio que los separa, estas se ordenarán en líneas tangentes en cada punto a la dirección de la fuerza magnética ejercida sobre la limadura presente en ese punto. Faraday entenderá que estas líneas son la expresión visible de la dirección e intensidad de las fuerzas magnéticas que en cada momento llenan el espacio. Paralelamente a este campo de fuerzas magnéticas, supuso que existe un campo de fuerzas eléctricas, organizado también en “líneas de fuerza”. Oersted mostró que la variación del campo eléctrico debida al movimiento de cargas eléctricas en un alambre conductor origina un campo magnético que, prevaleciendo sobre el campo magnético de la Tierra, hace girar a las brújulas en la vecindad del alambre. En 1821 Faraday inventó un dispositivo donde una corriente eléctrica, mediante el efecto descubierto por Oersted, imprime a un cuerpo un movimiento de rotación; esto es, un rudimentario motor eléctrico, un artefacto que, como diríamos hoy, convierte energía eléctrica en energía mecánica. Faraday se atrevió a pensar que también debía producirse el efecto inverso: la conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Una variación del campo magnético producida moviendo imanes debería originar un campo eléctrico que pondría en movimiento las cargas eléctricas situadas en ese campo variable, generando una corriente en un alambre conductor. Guiado por esta idea, Faraday fabricó en 1831 el primer prototipo de generador eléctrico o dinamo, el llamado disco de Faraday. Este era, como el rotor de 1821, demasiado ineficiente para tener utilidad práctica.⁸ Pero los generadores utilizados hoy están concebidos conforme a esa misma idea.

•

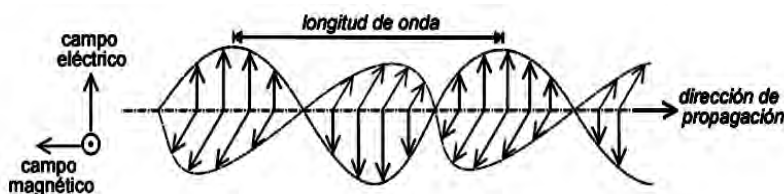
En los ejemplos que he considerado hasta ahora, un concepto disponible fue aplicado con éxito a casos empíricos nuevos por la vía de modificar una de sus condiciones o extenderlo analógicamente. Mis dos próximos ejemplos

⁸ Se suele escuchar que, cuando alguien preguntó a Faraday de que servían sus juguetes (el rotor, o el generador, o ambos), él habría respondido “¿De qué sirve un recién nacido?” Pero I.B. Cohen (1987) ha mostrado que Faraday usó la frase, dando debido crédito por ella a Benjamin Franklin, en una conferencia de 1816 “Sobre el oxígeno, el cloro, el yodo y el flúor”. Cf. asimismo Chapin (1985).

envuelven una situación diferente: el concepto que se intenta aplicar a la experiencia es una consecuencia lógica del sistema conceptual aceptado. En el primer caso que examinaremos, esto da lugar a una laboriosa búsqueda que culmina en la realización experimental del concepto. En el segundo, la realización predicha no se logra y el resultado negativo de los experimentos pertinentes provoca una innovación intelectual que, en el caso que propondré, fue revolucionaria. En ambos casos, el concepto en cuestión es una consecuencia de la teoría de los fenómenos electromagnéticos propuesta por James Clerk Maxwell (1861/62, 1864).

Maxwell organizó sistemáticamente los hallazgos de Faraday en una teoría matemática de gran originalidad y elegancia. Aunque es imposible hacerle justicia mediante una sumaria presentación verbal, las indicaciones que ofreceré a continuación permitirán entender, espero, mis dos ejemplos. Siguiendo a Faraday, Maxwell concibe un doble campo de fuerzas, eléctricas y magnéticas, que cubre todo el espacio. La intensidad y dirección de las dos fuerzas presentes en cada punto varían con el tiempo de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell, que expresan la interdependencia entre los dos campos y su dependencia de la densidad de la carga eléctrica y el flujo de carga eléctrica. Las ecuaciones de Maxwell implican que cualquier perturbación local de los campos se propaga en todas direcciones mediante ondas electromagnéticas (análogamente a como se propaga la perturbación causada en la superficie de un estanque de agua por una piedra que cae en él). Las ecuaciones asignan un determinado valor constante, representado tradicionalmente por la letra c , a la velocidad de propagación de estas ondas en el vacío (en otros medios, como el aire, el agua, el vidrio, esa velocidad es algo menor). Al comprobar que c concordaba con la velocidad de la luz dentro de un margen de error de 1,5% (a la sazón admisible), Maxwell concluyó que la luz consistía en ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos⁹.

⁹ La siguiente imagen ofrece un modelo visual de una onda electromagnética simple en un instante dado. (Las ondas reales son superposiciones de muchas ondas simples).



Las flechas representan la intensidad y dirección del campo correspondiente en el punto de partida de las mismas. Con el transcurso del tiempo, la onda avanza en la dirección de propagación con una velocidad

En su trabajo de 1861/62, Maxwell intentó sin éxito concebir las fuerzas eléctricas y magnéticas como tensiones en un cuerpo de índole peculiar, carente de masa, que llenaría todo el espacio, permeando los cuerpos materiales ordinarios: el éter. En su trabajo de 1864, Maxwell renuncia a este propósito y se contenta con establecer que un fenómeno gobernado por sus ecuaciones satisface en todo caso el Principio de Hamilton, reconocido como principio fundamental de la mecánica. Al mostrar que sus ecuaciones de campo satisfacen las exigencias de este principio, Maxwell prueba que los fenómenos electromagnéticos descritos o predichos por las ecuaciones pueden explicarse por el comportamiento mecánico de una sustancia peculiar que permea todos los cuerpos ordinarios y llena completamente el espacio que los separa; pero no nos ofrece ni siquiera un barrunto de cómo podría desarrollarse tal explicación mecánica. Durante el resto del siglo XIX y hasta la publicación en 1905 del artículo de Einstein sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, los físicos comulgaron todos con la realidad del éter, imperceptible y elusivo.

La teoría de Maxwell fue pronto aceptada en los países de habla inglesa, más lentamente en Europa continental. Como no había motivo alguno para suponer que las ondas del éter estuviesen confinadas a las frecuencias de las ondas luminosas (que obviamente están determinadas por la receptividad de nuestro sentido de la vista), se imponía la tarea de buscar ondas electromagnéticas de otras frecuencias. Heinrich Hertz, el primer partidario entusiasta de la teoría de Maxwell en Alemania, decidió procurarle un decisivo respaldo experimental produciendo tales ondas en su laboratorio. En 1887, Hertz anunció sus primeros resultados.¹⁰ Utilizando lo que ahora llamamos un circuito LC o circuito resonante, había producido una oscilación eléctrica que inducía una oscilación homóloga en otro circuito desconectado del primero y situado en otro lugar de su laboratorio. Había fabricado un fenómeno nuevo, jamás observado hasta entonces en la naturaleza, pero que realizaba un concepto implicado por la teoría de Maxwell. Este hallazgo daría lugar a la revolución en la comunicaciones ocurrida en el siglo XX. En 1895, Gugliel-

que en el vacío es igual a c , esto es, 299.792.458 metros por segundo (este número es exacto, pues en él se basa, desde 1983, la definición del metro). Conviene recordar que la velocidad de propagación de una onda es igual al producto de su *longitud* (la distancia entre dos crestas consecutivas en la misma dirección) por su *frecuencia* (el número de oscilaciones por unidad de tiempo).

¹⁰ Hertz (1887), reproducido en Hertz (1892), pp. 32ss. y, en traducción inglesa, en Hertz (1893), pp. 29ss. Buchwald (1995) ofrece un estudio detallado de la historia de este descubrimiento.

mo Marconi logró transmitir una señal eléctrica a 2400 metros de distancia. En 1900 patentó la telegrafía sin hilos. En diciembre de 1901 transmitió una señal desde Cornwall, en Inglaterra, a Terranova, en Canadá.

Mi segundo ejemplo es, como dije, un resultado negativo que para la ciencia física fue mucho más sorpresivo y fecundo que el anterior. Si la luz se propaga en el éter en cierta dirección con velocidad c , su velocidad con respecto a un cuerpo que se mueve en el éter con velocidad v en la dirección contraria tendría que ser $c + v$. Como la Tierra se mueve alrededor del Sol en direcciones opuestas en los dos solsticios, o en los dos equinoccios, no puede reposar en el éter durante todo el año. Como su velocidad de traslación es de aproximadamente 30 km/s, si la Tierra reposa en el éter cuando pasa por algún punto de su órbita, tendrá que moverse en él a unos 60 km/s cuando pase por el punto diametralmente opuesto. Esto plantea a los físicos la tarea de medir la velocidad de la Tierra en el éter. Curiosamente, si v designa la velocidad con que se mueve en el éter el aparato con que se mide la velocidad de la luz, la matemática de la teoría de la luz conlleva que se anulen los efectos ópticos de un orden de magnitud igual a v/c .¹¹ Por tanto, para medir la velocidad de la luz con un aparato que se mueve con velocidad v , el equipo utilizado tiene que ser capaz de registrar efectos del orden de v^2/c^2 . En 1879 nadie soñaba en Europa con la posibilidad de construir un aparato así y por eso Maxwell concibió un procedimiento —sofisticado y precario— para medir la velocidad de la luz observando las lunas de Júpiter que reflejaría efectos de ese orden.¹² Maxwell explicó este procedimiento en una carta a D.P. Todd, de la Oficina del Almanaque Náutico de los Estados Unidos. El asunto interesó a A.A. Michelson, un joven oficial de marina asignado a dicha oficina, quien concibió y fabricó un aparato diseñado para medir tales efectos en un laboratorio terrestre, el célebre interferómetro de Michelson. Ni los primeros resultados de Michelson (1881), severamente criticados por H.A. Lorentz (1887, pp. 164ss.), ni los obtenidos con un interferómetro perfeccionado por Michelson y Morley (1887), registraron el menor movimiento de la Tierra en el éter.

El interferómetro de Michelson compara la propagación de una señal luminosa a lo largo de dos trayectos perpendiculares de la misma longitud, uno de los cuales estaría alineado con la dirección del movimiento de la Tierra en el éter mientras se realiza el experimento. Para compensar cualquier pequeña desigualdad entre los dos trayectos del aparato se los alinea alternativamente

¹¹ La anulación se produce si la Tierra arrastra consigo una pequeña fracción del éter en que está sumida. Un experimento de Fizeau (1851) había mostrado que así ocurre al parecer.

¹² La propuesta de Maxwell está explicada muy claramente en A.P. French (1968), pp. 46-48.

con la dirección del movimiento, haciendo girar el aparato. Pero tal compensación obviamente no tendría efecto si justamente el movimiento de un cuerpo en el éter alterase la distancia entre sus extremos en la dirección en que se mueve. H.A. Lorentz y G.F. FitzGerald propusieron independientemente esta solución al enigma planteado por el resultado negativo del experimento de Michelson y Morley. Si las partículas de un cuerpo sólido están unidas entre sí por fuerzas electromagnéticas, no sería extraño que la traslación a través del éter alterase la relación entre esas fuerzas. Sobre esta base, y sin ninguna otra indicación empírica que los respaldase, Lorentz y FitzGerald postularon que una barra de metal que se mueve en el éter con velocidad v se contrae en la dirección del movimiento, multiplicándose por el factor $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, que es exactamente lo que se requiere para anular los efectos ópticos del orden de v^2/c^2 que el movimiento de la Tierra generaría en el experimento de Michelson y Morley. Henri Poincaré ridiculizó esta hipótesis en su alocución al congreso internacional de física de 1900: “Se hicieron experimentos que habrían debido revelar los términos de primer orden; los resultados fueron negativos. ¿Sería por azar? Nadie lo admitió; se buscó una explicación general y Lorentz la encontró: mostró que los términos de primer orden debían cancelarse, pero no así los de segundo. Se hicieron entonces experimentos más precisos; también fueron negativos; tampoco esto podía ser un efecto del azar; era necesaria una explicación; se la encontró; siempre se las encuentra; las hipótesis son el recurso que menos escasea (*les hypothèses, c'est le fonds qui manque le moins*)” (Poincaré 1900, p. 22; 1968, p. 182). Con todo, Lorentz persistió toda su vida en su explicación de la aparente inmovilidad de la Tierra en el éter, si bien, para hacerla operante, debió suplementar su hipótesis de la contracción de las barras de medir con otra hipótesis no menos traída de los cabellos: trasladarse a través del éter retarda los relojes, alargando por un factor de $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ los intervalos de “tiempo local” medidos por un buen reloj que se mueve en el éter con velocidad v . (Que yo sepa, nadie ha hecho ninguna sugerencia sobre la forma cómo el campo electromagnético podría modificar precisamente de este modo la frecuencia de la radiación del cesio 133 utilizada como base para la definición de la unidad de tiempo).

En un artículo publicado en septiembre de 1905 Albert Einstein abordó de una manera radicalmente distinta el problema de la descripción de los fenómenos electromagnéticos en cuerpos que se mueven. En vez de atribuir a la materia propiedades *ad hoc*, calculadas específicamente para resolver las dificultades encontradas, propuso una reforma drástica de los principales conceptos empleados por la física clásica en la descripción de la naturaleza: espacio, tiempo, masa, fuerza. Para justificarla, sometió a una crítica demole-

dora la forma tradicional de comparar el tiempo transcurrido entre eventos que ocurren en distintos lugares del espacio. Para medir la velocidad con que un cuerpo o una onda recorren la distancia entre un punto A y otro punto B, tengo que conocer esa distancia, pero también los tiempos en que el objeto sale de A y llega a B. Salvo por una breve reflexión de James Thomson,¹³ no hay indicios de que alguien se haya hecho cargo de la dificultad que esto último entraña antes de que Poincaré (1898) la analizara en una revista de filosofía. Al parecer, todos los físicos daban por descontado, sin más, que, como escribió Newton, “cada momento del tiempo se difunde indivisiblemente por todos los espacios” (Hall y Hall 1962, p. 104). En la §1 de su artículo de 1905, Einstein puso en evidencia la ingenuidad de esta actitud y propuso un método ideal, pero plausible y fácil de entender, para definir una coordenada temporal universal asociada a un marco inercial de referencia. No es necesario explicarlo aquí.¹⁴ Einstein demuestra que, si (x,y,z) es un sistema de coordenadas cartesianas adaptado a un marco de referencia $\mathcal{F}$ que tomamos como estándar de reposo, (x',y',z') un sistema de coordenadas cartesianas adaptado a un marco de referencia $\mathcal{F}'$ que se mueve relativamente a $\mathcal{F}$ con velocidad constante v , y definimos en $\mathcal{F}$ y $\mathcal{F}'$, conforme al método de Einstein, las coordenadas temporales t y t' , respectivamente, entonces la transformación de coordenadas que lleva del sistema de coordenadas espaciotemporales (t,x,y,z) al sistema (t',x',y',z') es una transformación del grupo de Lorentz, esto es, precisamente el grupo de transformaciones, descubierto por Poincaré (1906, pp. 144-146), que relaciona entre sí cualesquiera dos sistemas de coordenadas espaciotemporales definidas para marcos de referencia en reposo en el éter o en movimiento uniforme respecto a él bajo los supuestos de Lorentz sobre el comportamiento de los relojes y las varas de medir en ese medio. De ello se sigue inmediatamente que toda predicción basada en los supuestos de Lorentz es también una consecuencia de los supuestos de Einstein: ambas teorías, no obstante su profunda discrepancia conceptual, son empíricamente equivalentes.¹⁵ Pero, como dice Einstein (1905, p. 892), su enfoque hace superflua la

¹³ “El tiempo requerido para la trasmisión de una señal envuelve una imperfección en las facultades humanas para determinar la simultaneidad de lo que sucede en lugares distantes. Sin embargo, no parece que envuelva ninguna dificultad para idealizar o imaginar la existencia de la simultaneidad” (Thomson 1884, p. 569).

¹⁴ Véase, por ejemplo, el artículo **simultaneidad** en el *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia* de Mosterín y Torretti (2010, p. 546).

¹⁵ Pablo Acuña Luongo ha estudiado este tema a fondo en su tesis doctoral (2014). Según Acuña, la principal razón para preferir la teoría de Einstein a la de Lorentz es que aquella abre el camino a la nueva teoría de la gravitación que Einstein propondrá en 1915, a la cual me referiré más adelante. En virtud de las relaciones lógicas entre ambas, la primera teoría de Einstein puede apoyarse en el abundante respaldo empírico de que goza la segunda teoría. En cambio, en un mundo acorde con esta, la teoría de Lorentz no

suposición de que existe un éter portador de la luz y de las ondas electromagnéticas en general, y excluye por lo tanto cualquier efecto del movimiento en el éter sobre las varas de medir o los relojes.¹⁶ Una vez que aprendemos a ver, con Minkowski (1909), en el grupo de Lorentz el grupo característico de la geometría —o geocronometría— del espacio de cuatro dimensiones en que las coordenadas espaciotemporales representan el universo,¹⁷ la alteración de las distancias y duraciones por una transformación de Lorentz se nos revela como un efecto puramente geométrico —o geocronométrico—, análogo a las variaciones que sufren con una rotación del plano la abscisa y la ordenada cartesianas de cualquier punto distinto del origen de las coordenadas. No abundaré en las consecuencias sensoriales del cambio conceptual efectuado por Einstein.¹⁸ Menciono solo una moraleja para filósofos que me sugiere el contraste entre la postura de Lorentz y la iniciativa de Einstein: cuando la experiencia ordenada bajo ciertos conceptos impone la conclusión de que ciertas evidencias que se nos imponen son ineludiblemente ilusorias —en el ejemplo examinado, los lapsos de tiempo que miden nuestros relojes y las distancias que miden nuestras cintas métricas—, mejor que aceptar esta conclusión, sería aconsejable intentar una reforma radical de esos conceptos. Habría que tener presente esta alternativa cuando se reflexiona sobre el agnosticismo perpetuo en que, a la luz de la experiencia del cambio científico, nos sume la aceptación del concepto tradicional, aristotélico-platónico, de verdad.

•

En esta sección y en la próxima abordaré ejemplos de novedades empíricas inesperadas, de contenido positivo, que resulta imposible encuadrar en los sistemas conceptuales heredados e inducen por eso una innovación intelectual.¹⁹ Distingo dos tipos de casos: en el primero, la innovación intelectual sucede trabajosamente al hallazgo empírico; en el segundo, la innovación intelectual está disponible ya cuando se produce el hallazgo empírico.

tiene cabida ni siquiera a nivel local.

¹⁶ Me refiero especialmente a este último tema en Torretti (2007); versión castellana en el capítulo II de Torretti (2008).

¹⁷ La idea de que cada geometría está caracterizada por un grupo fue propuesta por Felix Klein en su celebrado Programa de Erlangen (1872). Klein (1911) aplica esta idea a la teoría de Einstein (1905).

¹⁸ Lo hice en mi libro *Relativity and Geometry* (1983), y también, más brevemente, en castellano, en ensayos reproducidos en Torretti 1994, 2003, 2013, donde el lector hallará abundantes referencias a otras obras sobre el tema.

¹⁹ Digo de “contenido positivo” para separar estos casos del último que examinamos, la ausencia de un movimiento observable de la Tierra respecto del éter, la cual se deja describir como una novedad empírica

El ejemplo señero del primer caso es, en mi opinión, el descubrimiento de la radioactividad por Henri Becquerel en febrero de 1896. Becquerel conjeturaba que la fosforescencia inducida por el sol en el uranio se traduciría en la emisión de rayos X. Cuando tuvo que suspender por falta de sol un experimento con placas fotográficas destinado a probarlo, guardó en su escritorio sus sales de uranio junto a las placas protegidas con papel negro. Pocos días después decidió desarrollar las placas esperando ver registrada una imagen débil debida a la fosforescencia del uranio no asistida por el sol. Pero halló una imagen tan intensa como la que habría producido el fallido experimento. La ciencia de la época no tenía modo de explicar una radiación de esa magnitud emitida por un trozo inerte de mineral. Es dable sostener que el hallazgo de Becquerel desencadenó la serie de innovaciones conceptuales que marcan la historia de la física cuántica.

Con todo, no hay que perder de vista que Planck (1900, 1901) introdujo el llamado cuanto de acción —la constante h que dará su nombre a la nueva física— en respuesta a una novedad menos llamativa, saber, la incongruencia entre las mediciones de la distribución de la energía en el espectro de la radiación del cuerpo negro²⁰ efectuadas por Lunner y Pringsheim (1900) y por Rubens y Kurlbaum (1900) y los valores predichos por la “ley de desplazamiento” propuesta por Willy Wien (1893), que se aceptaba entonces como una descripción adecuada de dicha distribución.

Por otra parte, la historia de la física cuántica ha estado puntuada por una sucesión de novedades incomprensibles mediante los conceptos ya logrados, que fueron provocando una por una la referida sucesión de innovaciones. Comentaré una sola.

A comienzos del siglo XX se entendía que los cuerpos sólidos estaban llenos de materia dividida en átomos. Siguiendo a J.J. Thomson, el átomo se concebía como una esfera material positivamente cargada, regada de electrones (partículas mucho más pequeñas, con carga negativa), como un pe-

inesperada para entender la cual no había conceptos cuando se produjo a fines del siglo XIX. Pero es oportuno recordar que la expectativa de observar tal movimiento suponía, por un lado, la posibilidad de medir velocidades en diversos tiempos y lugares y respecto a distintos sistemas de referencia sin tener una definición satisfactoria de simultaneidad a distancia; y, por otro, la presencia ubicua de un cuerpo inmóvil o en movimiento inercial —el éter— que nadie jamás había visto ni tocado.

²⁰ Radiación de cuerpo negro o radiación térmica llámase la emitida por un cuerpo que absorbe toda la radiación que recibe sin reflejar ninguna parte de ella. Kirchhoff (1860) demostró que la energía irradiada en este caso no depende de la particular índole del cuerpo en cuestión sino solo de su temperatura y de la longitud de onda de la radiación. La ley de Plank expresa esta dependencia funcional. Admirablemente ratificada por experiencia, se la utiliza hoy como criterio para reconocer el carácter térmico de una radiación (por ejemplo, la radiación de fondo observada por Penzias y Wilson, de que hablaré más adelante).

queño queque regado de pasas. Entre 1908 y 1910, experimentos realizados en el laboratorio de Ernest Rutherford por sus ayudantes Geiger y Marsden demostraron inequívocamente que este modelo del átomo era insostenible. Bombardearon con partículas α (esto es, átomos de helio positivamente cargados, producto de la desintegración de átomos radioactivos) una lámina de oro finísima. Si la lámina estuviera llena de materia, las partículas α , repelidas por la carga positiva de los átomos, sufrirían una desviación inferior a un grado. Para su sorpresa y la de Rutherford, la gran mayoría de las partículas atravesaba la lámina sin cambiar de dirección, pero una parte de ellas rebota-ba, con desviaciones superiores a los 90 grados. Años más tarde, Rutherford describirá así la impresión que le causó este hallazgo:

Recuerdo que ... Geiger llegó donde mí excitadísimo, diciendo: “Hemos obtenido que algunas de las partículas α vuelvan atrás”. Fue el suceso más increíble que me hubiera ocurrido nunca. Era casi tan increíble como si dispararas una bala de cañón de 15 pulgadas contra una hoja de papel de seda y rebotara golpeándote. Reflexionando, comprendí que el rebote de cada partícula tenía que ser el efecto de una sola colisión, y cuando hice cálculos vi que era imposible obtener nada de ese orden de magnitud a menos que tomaras un sistema en que la mayor parte de la masa del átomo estuviese concentrada en un núcleo diminuto. Fue entonces que tuve la idea de un átomo con un centro masivo diminuto, portador de una carga (Rutherford 1938, pp. 68-69).

En el nuevo modelo del átomo, los electrones circulaban alrededor del núcleo como los planetas alrededor del Sol (Rutherford 1911, 1914). Sin embargo, según la electrodinámica clásica un electrón que circulara de ese modo emitiría radiación e iría perdiendo energía hasta caer en el núcleo. Esta dificultad se elimina si suponemos con Niels Bohr (1913) que los electrones del átomo no emiten radiación mientras se mueven en una órbita determinada, y solo lo hacen —en porciones (“cuantos”) proporcionales a la constante h de Planck— cuando saltan abruptamente de una órbita a otra. Estos “saltos cuánticos” no tenían ningún asidero en la física de entonces y resultaban ser perfectamente incomprensibles. Ello no obstante, el modelo de Bohr tuvo gran aceptación y ganó el premio Nobel de física para su inventor (en 1922), gracias a que la teoría cuantitativa que lo sustentaba permitía calcular la fórmula de Rydberg para las líneas espectrales de la radiación del hidrógeno. Los intentos de aplicarlo a átomos más complejos tropezaron con dificultades, promoviendo sucesivas correcciones de la teoría, hasta que la invención de la mecánica cuántica de matrices por Heisenberg (1925), de la mecánica ondulatoria por Schrödinger (1926), y la demostración de la equivalencia

matemática de ambas (Schrödinger 1926, von Neumann 1927) puso fin a la era de la llamada antigua teoría cuántica e instauró una forma de hacer física dramáticamente novedosa.

Rutherford estuvo tan sorprendido por los resultados de Geiger y Marsden porque chocaban de frente con la idea intuitiva de lo que es un cuerpo sólido.²¹ Un fenómeno observado en su laboratorio no se dejaba pensar con arreglo a conceptos inveterados de la ciencia y del sentido común. Pero nótese bien que ese fenómeno era todo menos un “hecho crudo”, una mera aglomeración de impresiones sensibles, ajena a todo concepto, como las que, en la fantasía de algunos filósofos, compondrían la materia prima de toda experiencia. Una lectura somera de los artículos de Geiger (1908, 1910) y de Geiger y Marsden (1909) revela que el fenómeno en cuestión, como cualquier otro fenómeno científico, se da en el contexto de una rica experiencia intelectualmente organizada, y su lectura en los términos expresados por Rutherford descansa en una multitud de inferencias y supuestos.

•

Finalmente, consideraré dos ejemplos del segundo caso mencionado al comienzo de la sección anterior: hechos observados que desafían la opinión recibida, pero se dejan pensar bajo un concepto ya disponible, aunque novedoso aún y desconocido para quienes los observaron por primera vez. Mis ejemplos son la fuga general de las galaxias establecida por Edwin Hubble (1929) y la radiación térmica de fondo constatada por Arno Penzias y Robert Wilson (1965), dos fenómenos descubiertos, respectivamente, más de una década y medio siglo después que Einstein (1915*b*) propusiera la teoría de la gravitación conocida como Teoría General de la Relatividad (TGR),²² la cual encierra conceptos apropiados para pensarlos (sin que sus descubridores lo supieran). La relación entre la TGR y los dos fenómenos aludidos suele presentarse como caso típico de la validación de una teoría científica por su ca-

²¹ ¿Cuántos lectores del popular libro de Eddington *La naturaleza del mundo físico* no han quedado perplejos ante el distingo inicial entre la mesa donde el autor escribía —“dotada de extensión, comparativamente permanente, coloreada, pero, sobre todo, *sustancial*”— y su “mesa científica”, formada casi enteramente por un espacio vacío que recorren a gran velocidad numerosas partículas cargadas cuyo volumen conjunto asciende a menos de un mil millonésimo del que ocupa la mesa (Eddington 1929, pp. ix-x)?

²² Einstein llamó Teoría General de la Relatividad (*Allgemeine Relativitätstheorie*) a su teoría de la gravitación en la creencia de haría extensivo a toda clase de movimientos el Principio de Relatividad postulado en su teoría de 1905 para los movimientos inerciales (que hoy llamamos Teoría Especial de la Relatividad o TER). No es así, pero la denominación se puede justificar también de otra manera: la geocronometría minkowskiana propia de la teoría de 1905 es un caso especial de la geocronometría riemanniana característica de la TGR y esta se aproxima a aquella en un pequeño entorno de cada punto del espaciotiempo.

pacidad de predecir fenómenos nuevos.²³ Este enfoque es sin duda acertado, pero un tanto simplista, ya que, al menos en este caso, el propio Einstein no barruntó siquiera que ella implicase dichos fenómenos, y el primer indicio de que pudiera ser así provocó su abrupto —e injustificado— rechazo (Einstein 1922, comentado más adelante).

Hubble (1929) proclamó que las gran mayoría de las galaxias²⁴ se alejan incesantemente de la Tierra con una velocidad proporcional a la distancia que nos separa de ellas. Las escasas excepciones se cuentan entre las galaxias más cercanas. Esta conclusión reposa, por una parte, en la mediciones de la velocidad radial de las galaxias realizadas por Vesto Slipher (1913, 1915, 1917) y otros astrónomos norteamericanos, en parte en la estimación de la distancia de algunas galaxias posibilitada por el descubrimiento por Henrietta Leavitt de la relación entre la luminosidad y el período de pulsación de las estrellas llamadas Cefeidas (Pickering 1912; cf. Leavitt 1908). La medición de la velocidad radial de los astros se basaba en el efecto Doppler, en virtud del cual una onda emitida con longitud λ desde una fuente que mueve relativamente al observador con velocidad v es recibida por este con una longitud $\lambda \pm \Delta\lambda$, mayor si la fuente se aleja, menor si se acerca; donde la diferencia $\Delta\lambda$ es una

²³ Durante el último tercio del siglo XX, la escuela filosófica asentada en la London School of Economics sostuvo con vehemencia que el respaldo empírico de una teoría científica reposa exclusivamente en la predicción de hechos nuevos, ya que la predicción de hechos ya conocidos al tiempo en que la teoría se formula puede deberse a la inclusión en ella de hipótesis diseñadas a propósito para lograrlo (hipótesis *ad hoc*). Como tantas otras *idées fixes* de las escuelas, esta no calza con la práctica científica ni con el sentido común. Antes bien, lo normal es que el pensamiento científico se alimente de la reflexión sobre hechos conocidos que no sabemos explicar ni predecir hasta dar con una idea que nos permita entenderlos y, con ello, preverlos.

²⁴ En su artículo, Hubble llama ‘nebulosas extragalácticas’ (*extra-galactic nebulae*) a los objetos astronómicos que hoy llamamos galaxias; ‘extragaláctico’ significa que se encuentra fuera de la Vía Láctea, el grupo de 100.000.000.000 de estrellas al que pertenece el Sol que es la galaxia por antonomasia (*γαλαξίας* en griego, derivado de *γάλα*, ‘leche’). Este nombre se hizo extensivo a las nebulosas extragalácticas en cuanto la comunidad científica se convenció de que estos objetos son grupos de estrellas análogos a la Vía Láctea, situados a gran distancia de esta. Aunque Herschel, el descubridor de Urano, y el filósofo Kant sostuvieron esto en el siglo XVIII, hasta la década de 1920 prevaleció la tesis de que todas las nebulosas observables en el cielo son masas gaseosas, situadas dentro de la Vía Láctea, que constituyen criaderos de estrellas. La tesis de Herschel y Kant se impuso finalmente gracias a las mediciones de velocidad, iniciadas por Slipher hacia 1910, a que me refiero en el texto. Según Lang y Gingerich (1979, p. 713) “el gran debate sobre la naturaleza extragaláctica de las nebulosas espirales” quedó resuelto finalmente cuando la AAS y la AAAS, reunidas conjuntamente en Washington, tomaron conocimiento el 1° de enero de 1925 del trabajo de Hubble “Cefeidas en nebulosas espirales” (1925). En todo caso, el *Oxford English Dictionary* cita textos de 1848 y 1888 donde la voz *galaxy* se emplea en su acepción actual; el segundo expresa claramente el tránsito de una acepción a la otra: “1888 C. A. Young Gen. Astron. xxi. 503: The belief that these star-clusters are stellar universes,—‘galaxies’, like the group of stars to which the writers supposed the sun to belong”.

función de v .²⁵ El cambio de longitud de onda de la luz procedente de una estrella se mide comparando la posición que tienen en dicha luz las rayas espectrales características de los elementos químicos presentes en esa estrella con la posición de tales rayas en la radiación emitida por los mismos elementos en un laboratorio terrestre. El aumento de la longitud de onda se traduce en un desplazamiento de todas las rayas hacia el rojo; su disminución en un corrimiento hacia el azul. Las referidas mediciones astronómicas revelaron muy pronto que, mientras que el espectro de las estrellas más cercanas se desplaza indiferentemente hacia el azul o hacia el rojo, el de las galaxias mayormente lo hace hacia el rojo. Slipher (1915) informa sobre la velocidad radial de 15 galaxias, de las cuales 3 se acercan con una velocidad de unos 300 km/s, 9 se alejan con velocidades entre 200 y 110 km/s, y 3 lo hacen con velocidades pequeñas (una de estas quizás se acerque). Slipher (1917) informa sobre 25 (con valores revisados para las 15 anteriores), de las cuales 4 se acercan con velocidades entre 30 y 360 km/s y 21 se alejan con velocidades entre 150 y 1100 km/s. Ocho años más tarde, Strömberg (1925) enumera 57 galaxias observadas por Slipher, y 5 más reportadas por otros observadores; 48 se alejan con velocidades entre 10 y 1800 km/s y solo 13 se acercan con velocidades entre 10 y 300 km/s. Obviamente, para derivar estas velocidades de la magnitud del desplazamiento de las líneas espectrales hay que suponer que estas ocupan en la luz emitida hoy en laboratorios terrestres la misma posición que ocupaban hace muchos años en la que emitieron las galaxias estudiadas, las cuales se hallan a distancias enormes de nosotros. No nos cabe obrar de otro modo si cumplimos con la 4ª regla de filosofar de Newton (1726, p. 389): “En la filosofía experimental, las proposiciones recogidas de los fenómenos por inducción deben ser tenidas por verdaderas exactamente o tan aproximadamente como sea posible, no obstante las hipótesis contrarias, hasta que ocurran otros fenómenos, que las hagan más exactas o les opongan excepciones”. Razonar bajo esta regla expone sin duda a la ciencia al riesgo de tener que retractarse a la luz de fenómenos nuevos, pero renunciar a ella la paralizaría, condenándola a una perpetua y estéril suspensión del juicio.

Dos años antes del anuncio de Hubble sobre la proporcionalidad entre las velocidades de fuga y las distancias, el astrónomo belga Georges Lemaître (1927) había llamado mucho la atención con una propuesta basada en la

²⁵ El efecto es familiar: cuando una ambulancia pasa rápidamente a nuestro lado y, dejando de acercárenos, procede a alejarse, el sonido de la sirena cambia bruscamente de agudo a grave. La relación de dependencia entre $\Delta\lambda$ y v se expresa en la física clásica mediante una fórmula que es una aproximación de primer orden (v/c) a la fórmula propia de la TER (nota 22). Como la fórmula de la TER se deduce de las transformaciones de Lorentz, el efecto Doppler resulta ser un efecto geocronométrico.

TGR, que explica el fenómeno como una manifestación de la geometría del universo. La explicación de Lemaître, que describiré luego, es esencialmente la misma que se acepta hoy, pero no fue el primer intento de conectar la TGR y la fuga de las galaxias. Para motivarla mejor, narro sumariamente esta historia.

La TGR se resume en un sistema de ecuaciones diferenciales, las ecuaciones de campo de Einstein (ECE), publicado el 27 de noviembre de 1915 (Einstein 1915*b*). La primera solución exacta de estas ecuaciones, debida a Karl Schwarzschild, fue presentada a la Academia de Berlín el 13 de enero de 1916. Ella ofrece un modelo idealizado del movimiento de una partícula de prueba (esto es, de masa tan pequeña que no afecte el campo gravitacional) en un campo gravitacional estático y esféricamente simétrico. Esta solución, que permitió calcular con notable exactitud la precesión secular del perihelio de Mercurio, no explicada por la teoría de la gravedad de Newton,²⁶ juega hoy un rol decisivo en la vida diaria de cualquiera que utilice el GPS. Como condición de frontera para su solución, Schwarzschild supone que la métrica del espaciotiempo converge en el infinito a la métrica de Minkowski.²⁷ De este modo, a juicio de Einstein, ella reintroduce el sistema inercial (“ese fantasma que actúa sobre todo, sin que las cosas actúen de vuelta sobre él” —Einstein a Born, 12.05.1952; en Einstein, Born y Born 1969, p. 258), en cuya eliminación él veía uno de los mayores logros de la TGR.²⁸ Einstein (1917) presenta una solución exacta de las ECE *sin condiciones de frontera*, que brinda en efecto un modelo del universo, el primer modelo cosmológico de la TGR. Se trata de un universo estático en que el espacio tiene una geometría riemanniana de curvatura positiva constante y, por lo tanto, es ilimitado pero finito (piénsese en la superficie de una esfera, el análogo bidimensional del espacio de este modelo). Para asegurar el carácter estático del universo, Einstein tuvo que agregar un término nuevo a las ECE de 1915, consistente en el tensor métrico g_{ij} multiplicado por una constante arbitraria $\Lambda \neq 0$.²⁹ En el modelo estático

²⁶ De hecho, Einstein (1915*a*) ya había calculado la anomalía de Mercurio utilizando una solución aproximada de las ECE.

²⁷ George Birkhoff (1923) demostrará luego que este supuesto es innecesario: la convergencia a la métrica de Minkowski se deduce de la suposición de que el campo gravitacional es esféricamente simétrico.

²⁸ En el espaciotiempo de Minkowski, la geocronometría prescribe las trayectorias de las partículas libres, pero no es afectada por la presencia de estas.

²⁹ La constante Λ , conocida en la literatura como la *constante cosmológica* ha tenido una historia accidentada. Cuando quedó establecido que el universo real no es estático, Einstein lamentó haberla introducido y derivó una solución de las ECE correspondiente a un universo que se expande, poniendo $\Lambda = 0$ (Einstein y de Sitter 1932). Pero desde que se estableció a fines del siglo XX que la expansión del universo es acelerada (Hamuy *et al.* 1996, Schmidt *et al.* 1998, Perlmutter *et al.* 1998), la constante Λ se identifica con la

propuesto, Λ es inversamente proporcional al cuadrado del radio del universo esférico, y este cuadrado a su vez es proporcional a la densidad media de la materia. En apoyo de su modelo, Einstein —que obviamente no conocía los hallazgos de Slipher— señala que una distribución aproximadamente estática de la materia “refleja el hecho de que las velocidades estelares son pequeñas” (*der Tatsache der kleinen Sternengeschwindigkeiten entspricht*—Einstein 1917, p. 152). Por su parte, en un artículo publicado en Inglaterra ese mismo año, el astrónomo holandés Willem de Sitter, que algo sabía de esos hallazgos, los invoca en pro del modelo cosmológico alternativo propuesto por él: un universo vacío, topológicamente equivalente a una esfera de cuatro dimensiones, en que las partículas de prueba en caída libre trazan cosmolíneas³⁰ geodésicas divergentes. De Sitter solo aduce mediciones de la velocidad radial de tres galaxias. “Sin embargo —escribe—, si la observación continua confirmase el hecho de que las nebulosas espirales sistemáticamente exhiben velocidades radiales positivas, esto sería una indicación para adoptar la hipótesis B [la suya], con preferencia a la A [de Einstein]” (de Sitter 1917, p. 28). Strömberg (1925, p. 360) señala que la correlación observada entre distancia y velocidad de alejamiento respalda el modelo de de Sitter.³¹

En el §1 de su artículo, Lemaître (1927) enfrenta los modelos cosmológicos de Einstein y de Sitter. Ambos, dice, tienen sus ventajas: el segundo “concuerda con la observación de las velocidades radiales de las nebulosas”, mientras que el primero “tiene en cuenta la presencia de materia y da una relación satisfactoria entre el radio del universo y la masa que contiene” (p. 50). Sería deseable, pues, obtener una solución intermedia que reúna ambas ventajas, pero tal solución es aparentemente imposible. En efecto, las ECE no admiten sino estas dos soluciones para un campo gravitacional estático y de simetría esférica, si la materia está uniformemente distribuida y no está sometida a presiones o tensiones internas. Por otra parte, la impresión de que el universo de de Sitter es estático resulta de la adopción de coordenadas que “introducen un centro al que nada corresponde en la realidad” y dividen

densidad de la energía del vacío y se le asigna un valor superior a 0.

³⁰ Cf. Mosterín y Torretti (2010, p. 143): “**cosmolínea** (A. *Weltlinie*, F. *ligne d'univers*, I. *worldline*). Los eventos sucesivos de la historia de una partícula forman el trayecto o camino de una curva en el espaciotiempo. Esta curva, parametrizada por el tiempo propio, es la *cosmolínea* de la partícula. Cuando se habla de la cosmolínea de un cuerpo, esto puede referirse o bien a la cosmolínea de su centro de masa, o bien —con cierta impropiedad— a la región del espaciotiempo que ocupan los eventos de la historia de ese cuerpo, y que sería tal vez más apropiado llamar su *cosmotubo*”.

³¹ También Hubble (1929, p. 173) alude a ello, diciendo que “el rasgo más sobresaliente... es la posibilidad de que la relación entre velocidad y distancia represente el efecto de Sitter y que, por tanto, se introduzcan datos cuantitativos en los debates sobre la curvatura general del espacio”.

el espaciotiempo en espacio y tiempo de una manera que no respeta la homogeneidad de aquel (ibid.). “Si se introducen coordenadas y una división correspondiente del espacio y el tiempo que respeten la homogeneidad del universo, se comprueba que el campo no es estático y se obtiene un universo de la misma forma que el de Einstein, pero donde el radio del espacio no permanece invariable sino que varía con el tiempo” (p. 51). Motivado por estas consideraciones, Lemaître emprende la búsqueda de una solución de las ECE que corresponda a un universo con espacio esférico de radio variable. Supone que la materia es un fluido perfecto (densidad uniforme, presión isotrópica constante en todo lugar) y demuestra que bajo esta condición idealizante se obtiene un modelo cosmológico que cumple las condiciones siguientes (p. 58): 1° La masa M del universo es constante y es proporcional a $2\pi^2\Lambda^{-1/2}$. 2° El radio del universo crece sin cesar desde un valor asintótico R_0 para $t = -\infty$. 3° La fuga de las nebulosas extragalácticas se debe a la expansión del espacio mismo³² y permite calcular el radio R_0 . 4° El radio actual del universo depende de la densidad actual de la materia, según una ecuación similar a la que relaciona radio y densidad en el universo estático de Einstein. Este es, en efecto, un caso límite de universo de Lemaître y, como tal, es inherentemente inestable, es decir, pierde el carácter estático a la menor variación en la densidad de la materia (Eddington 1930).³³

El artículo de Lemaître fue el vehículo que trajo a la comunidad astronómica la explicación relativista de la fuga de las galaxias como consecuencia de la expansión del universo. Pero la idea misma de una cosmología dinámica ya había sido presentada antes, de una manera más clara y elegante, por el matemático y meteorólogo ruso Alexander Friedmann (1922, 1924) en dos artículos publicados en la *Zeitschrift für Physik*. Friedmann no hace la menor alusión al fenómeno observado por los astrónomos americanos, sino que procede simplemente a la derivación matemática de una familia de soluciones exactas de las ECE, a la cual pertenecen, como casos límite, las soluciones de

³² En otras palabras, el corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales en la luz proveniente de las galaxias no se debe, como supusieron Slipher y Hubble, a la velocidad con que las galaxias se mueven relativamente a nosotros en el espacio eterno, sino a que, mientras la luz viajaba entre la galaxia y nosotros, el espacio mismo se ha dilatado, con lo cual ha ido creciendo la distancia entre las crestas consecutivas de las ondas de luz. Ello permite dar cuenta inmediatamente de la proporcionalidad entre corrimiento al rojo y distancia, puesto que, debido a la constancia de la velocidad de la luz, la distancia que la luz que recorre entre una galaxia y la Tierra es proporcional al tiempo que demora en recorrerla. Advuértase cómo en este caso la explicación teórica del fenómeno rectifica el concepto bajo el cual los observadores inicialmente lo entendían.

³³ Por esta razón, el universo estático de Einstein es inadmisibile como hipótesis científica, ya que en la ciencias empíricas las cantidades continuas no pueden determinarse exactamente, sino solo dentro de un margen finito de error.

Einstein (1917) y de Sitter (1917). No abundaré en ello aquí.³⁴ Básteme señalar que Friedmann, como Lemaître, supone que la materia está distribuida en todo el espacio, pero en aras de la simplicidad, postula que consiste en polvo inconexo (Lemaître en cambio supone que es un fluido perfecto, una condición un poco más realista que la anterior). Bajo este supuesto, genera soluciones correspondientes a varias clases de modelos cosmológicos. Algunos universos de Friedmann se expanden indefinidamente a partir de un instante pretérito separado del presente por un lapso finito de tiempo, en el cual, si el universo hubiera existido en ese instante, la densidad de la materia superaría cualquier magnitud asignable. Otros se contraen desde toda la eternidad hasta un instante futuro separado del presente por un lapso finito de tiempo, en el cual, si el universo existiere en ese instante, la densidad de la materia superaría cualquier magnitud asignable. Otros, por último, se expanden durante un lapso de tiempo finito como los universos de la primera clase, para luego contraerse durante un lapso de tiempo finito como los de la segunda. En los universos de esta última clase el espacio tiene curvatura positiva uniforme como en el universo estático de Einstein, pero ella disminuye continuamente en la primera fase y aumenta continuamente en la segunda. Los universos de las otras dos clases tienen espacios de curvatura uniforme negativa, que varía con el tiempo, o es siempre igual a cero y por tanto constante.³⁵

Como ya anuncié, mi último ejemplo concierne a la explicación relativista de la radiación térmica de fondo. Penzias y Wilson la descubrieron durante la fase preparatoria de un proyecto de investigación radiotelescópica en que se estaban embarcando. Emprendieron mediciones para calibrar bien el equipo utilizado y maximizar su precisión. La pieza principal del mismo era una antena reflectora con forma de cuerno de 20 pies de diámetro, diseñada para captar de preferencia las señales provenientes de la dirección en que apuntara la antena y excluir las provenientes del suelo. Penzias y Wilson quisieron “hacer mediciones exactas de las temperaturas de la antena” (Wilson 1978, p. 467). Desde un comienzo les sorprendió registrar en todas direcciones una temperatura total de unos 7,5 K, cuando no esperaban más de 3,3 K (2,3 K procedente de la atmósfera, 1 K del suelo y las paredes de la antena). En vano buscaron una fuente del exceso, pues este se manifestaba en cualquier dirección que apuntasen la antena. La única alternativa admisible era que el exceso procediera del aparato mismo. Calcularon que este contribuiría 0.9 K

³⁴ Lo hice en el capítulo 5 de Torretti 2003.

³⁵ Después de la aparición del primer artículo de Friedmann, la *Zeitschrift für Physik* publicó una brevísima nota de Einstein (1922), en la que este dice que aquel reposa en un error matemático. Al año siguiente, en otra nota muy breve, Einstein (1923) se retractó.

por calentamiento resistivo (efecto Joule). Una pequeña reducción adicional de la temperatura de la antena se obtuvo cuando desalojaron a dos palomas que anidaban en ella y lavaron sus excrementos. Durante casi un año hicieron caso omiso del problema, que persistió sin cambios, a pesar de que al cabo de ese tiempo cualquier fuente situada dentro del sistema solar habría cambiado mucho de dirección, lo cual debería afectar la temperatura de la antena. El enigma solo pudo descifrarse después que Penzias, en una conversación casual con un colega de M.I.T., se enteró de que en Princeton, R.H. Dicke y su grupo estudiaban la radiación cósmica emitida durante la fase inicial, sumamente densa y caliente, de un universo en expansión. Entraron en contacto con ellos y finalmente acordaron publicar dos cartas en el *Astrophysical Journal*, una sobre la teoría desarrollada en Princeton (Dicke *et al.* 1965), otra sobre la medición de un exceso de temperatura en la antena de los Laboratorios Bell (Penzias y Wilson 1965).

La carta de Dicke y sus asociados va por delante. En ella, adoptan tentativamente como hipótesis de trabajo una interpretación de la cosmología relativista que gozó de bastante favor justamente hasta 1965.³⁶ Ella da por descontado que el modelo cosmológico que mejor se ajusta a la realidad es el universo de Friedmann que sucesivamente se expande y se contrae, y supone que la singularidad que este modelo sitúa al comienzo de la expansión del universo es una representación idealizada del tránsito entre una fase anterior de contracción y la actual fase expansiva, durante el cual la densidad y temperatura de la materia alcanzarían valores elevadísimos, pero sin exceder toda magnitud asignable como implica el razonamiento de Friedmann. Bajo esta hipótesis, es forzoso admitir “que en el momento de máximo colapso la temperatura del universo sería superior a 10^{10} K,” para que las cenizas de la fase anterior se conviertan nuevamente en el hidrógeno necesario para las estrellas de la nueva fase (Dicke *et al.* 1965, p. 415). “Pero aunque el universo tuviera un origen singular hubiera sido extremadamente caliente en sus etapas más tempranas” (Ibid.). En ambos casos cabe esperar que subsistan hasta hoy vestigios de la radiación térmica generada por esa bola de fuego, enfriados por la expansión del universo. Peebles y Wilkinson (que con Dicke y Roll firman la carta) habían iniciado una investigación encaminada a hallar esos vestigios cuando se enteraron de que Penzias y Wilson habían observado radiación

³⁶ Dicha interpretación trataba la singularidad (o “agujero blanco”) inicial del universo en expansión como mero artefacto matemático. En trabajos publicados a partir de ese año, Penrose (1965), Hawking (1965, 1966, 1966/67), Geroch (1966) y Hawking y Penrose (1970) demostraron que es prácticamente inevitable que un espaciotiempo relativista exhiba singularidades. El artículo **singularidad** de Mosterín y Torretti (2010) explica someramente este concepto.

de fondo con longitud de onda de 0,073 m. Descontadas todas las fuentes conocidas de la radiación observada, quedaba sin explicar una temperatura de $3,5 \pm 1$ K.

Para identificar la inexplicable radiación isotrópica registrada en la antena de los Laboratorios Bell con la radiación cósmica de fondo buscada por el grupo de Princeton era indispensable efectuar mediciones a muchas otras longitudes de onda, pues solo conociendo el espectro completo podría determinarse si era o no radiación térmica (cf. la nota 19). Debido a que la atmósfera opaca las señales de radio de longitud inferior a 0,03 m (lo que incluye precisamente aquellas a las que corresponde la máxima intensidad de una radiación térmica a la temperatura indicada, y por tanto el característico punto de inflexión de la curva predicha por la Ley de Planck), esta comprobación solo pudo completarse en la década de 1990, gracias a las observaciones registradas con el satélite COBE lanzado en 1989 con este propósito. Pero estas observaciones confirmaron todas las expectativas con una precisión realmente abrumadora.³⁷

En su carta paralela, Penzias y Wilkins se limitan a explicar el equipo utilizado y los resultados obtenidos, omitiendo toda interpretación cosmológica, aunque agradecen expresamente a Dicke y sus socios “la fecunda discusión de estos resultados, previa a su publicación” (1965, p. 420). En una “nota agregada a las pruebas” mencionan una medición anterior de la radiación del fondo del cielo, la cual, “combinada con nuestro resultado... elimina la posibilidad de que la radiación que observamos se deba a fuentes emisoras de un tipo conocido, pues en tal caso el espectro sería mucho más empinado” (p. 421). No hacen la menor alusión a que pudiera tratarse de radiación térmica. En la conferencia que Wilson dictó en 1978, cuando le otorgaron el premio Nobel, dedica la sección XII a este asunto. Menciona múltiples mediciones efectuadas después de 1965 a gran altura, aunque dentro de la atmósfera, las cuales “establecen que la radiación de fondo tiene un espectro de cuerpo negro que sería muy difícil de reproducir con una fuente cósmica de otro tipo; la fuente tiene que haber sido ópticamente gruesa y por tanto tiene que haber existido antes que cualquier otra de las fuentes que se pueden observar”

³⁷ Recomiendo vivamente examinar la gráfica de intensidad vs. longitud de onda de la radiación de fondo que figura el n° 3 del artículo “¿Por qué me creo... el Big Bang?” publicado por José Luis Blanco en <http://www.ciencia-explicada.com/2009/08/por-que-me-creo-el-big-bang.html>. Téngase en cuenta que los intervalos de error indicados en esta gráfica han sido multiplicados por 400 para hacerlos visibles sobre el papel.

(Wilson 1978, p. 482). Reproduce una gráfica de las mediciones, la cuales no se extienden más allá de la cúspide del espectro, y en la vecindad de esta son mucho menos precisas que las mediciones del COBE.

La doble publicación de Dicke *et al.* y de Penzias y Wilson en el *Astrophysical Journal* de 1965 parece calculada para ilustrar la tradicional dualidad filosófica de razón y empirie, conceptos y datos. Por un lado el fenómeno inesperado y desconcertante; por otro la teoría preexistente, desconocida para los descubridores del mismo, presta para dar cuenta de él. Pero basta leer atenta y reflexivamente la extensa y luminosa conferencia Nobel de Wilson para convencerse de que también la llamada empirie está empapada de razón y de que el encuentro con la teoría reconstituye el fenómeno. La descripción del complejo equipo utilizado despliega un arsenal de conceptos sin los cuales es imposible apreciar el significado y la relevancia de los números registrados en las observaciones. Por su parte, la aplicación de la teoría reconcibe el fenómeno, y lo integra en nuevos procesos de búsqueda inteligente, como el que llevó en este caso a reconstruir el espectro completo de la radiación de fondo, ajustado a la ley de Planck.

Referencias bibliográficas

- ACUÑA Luongo, Pablo (2014). *Empirical Equivalence and Underdetermination of Theory Choice: A Philosophical Appraisal and Two Case-Studies*. Utrecht University. Institute for History and Foundations of Science. Ph.D. thesis.
- BENVENISTE, Émile (1969). *Le vocabulaire des institutions indo-européennes*. 1. Économie, parenté, société. 2. Pouvoir, droit, religion. Paris: Éditions de Minuit. 2 vols.
- BIRKHOFF, George David (1923). *Relativity and Modern Physics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- BOHR, Niels (1913). "On the Constitution of Atoms and Molecules". *Philosophical Magazine* 26: 1-24, 476-502, 857-875.
- BUCHWALD, Jed Z. (1995). *The Creation of Scientific Effects: Heinrich Hertz and Electric Waves*. Chicago: University of Chicago Press.
- CHAPIN, Seymour L. (1985). "A Legendary Bon Mot?: Franklin's «What Is The Good of a Newborn Baby?»." *Proceedings of the American Philosophical Society*. 129: 278-290.

- COHEN, I. Bernard (1987). "Faraday and Franklin's «Newborn Baby»". *Proceedings of the American Philosophical Society*. 131: 177-182.
- COULOMB, Charles-Augustin de (1784). "Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de metal," *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, pp. 229-269.
- DICKE, R. H., et al. (1965). "Cosmic black-body radiation". *Astrophysical Journal*. 142: 414-419.
- EDDINGTON, Arthur S. (1930). "On the instability of Einstein's spherical world". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 90: 668-678.
- EINSTEIN, Albert (1905). "Zur Elektrodynamik bewegter Körper". *Annalen der Physik*. (4) 17: 891-921.
- EINSTEIN, Albert (1915). "Die Feldgleichungen der Gravitation". *K. Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte*. 1915: 844-847.
- EINSTEIN, Albert (1917). "Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie". *Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte*. 1917: 142-152.
- EINSTEIN, Albert (1922). "Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann, 'Über die Krümmung des Raumes'". *Zeitschrift für Physik*. 11: 326.
- EINSTEIN, Albert (1923). "Notiz zu der Arbeit von A. Friedmann, 'Über die Krümmung des Raumes'". *Zeitschrift für Physik*. 16: 228.
- EINSTEIN, Albert & DE SITTER, Willem (1932). "On the relation between the expansion and the mean density of the universe". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 18: 213-214.
- EINSTEIN, Albert & BORN, Hanna & BORN, Max (1969). *Briefwechsel 1916-1955*. München: Nymphenburger Verlagshandlung.
- FIZEAU, A. H. L. (1851). "Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux, et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 33: 349-355.
- FRENCH, A.P. (1968). *Special Relativity*. New York: Norton.
- FRIEDMANN, Alexander (1922). "Über die Krümmung des Raumes". *Zeitschrift für Physik*. 10: 377-386.

- FRIEDMANN, Alexander (1924). “Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes”. *Zeitschrift für Physik*. 21: 326-332.
- GALILEI, Galileo (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti Locali*. Leida: appresso gli Elsevirii.
- GALILEI, Galileo (1964). *Le opere*. Firenze: G. Barbera.
- GEIGER, Hans (1908). “On the Scattering of α -Particles by Matter”. *Proceedings of the Royal Society of London*. A 81: 174–177.
- GEIGER, Hans (1910). “The Scattering of the α -Particles by Matter”. *Proceedings of the Royal Society of London*. A 83: 492–504.
- GEIGER, Hans & MARSDEN, Ernest (1909). “On a Diffuse Reflection of the α -Particles” *Proceedings of the Royal Society of London*. A82: 495–500.
- GEROCH, R. P. (1966). “Singularities in closed universes”. *Physical Review Letters*. 17: 445-447.
- HALL, A. Rupert & HALL, Marie Boas (1962). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HAMUY, Mario *et al.* (1996). “The Absolute Luminosities of the Calan/Tololo Type Ia Supernovae”. *Astronomical Journal*. 112: 2391-2397.
- HAWKING, Stephen W. (1965). “Occurrence of singularities in open universes”. *Physical Review Letters*. 15: 689-690.
- HAWKING, Stephen W. (1966). “Singularities in the universe”. *Physical Review Letters*. 17: 444-445.
- HAWKING, Stephen W. (1966/67). “The occurrence of singularities in cosmology”. *Royal Society of London Proceedings*. A 294: 511-521; A 295: 490-493; A 300: 187-201.
- HAWKING, Stephen W. & PENROSE, Roger (1970). “The singularities of gravitational collapse and cosmology”. *Royal Society of London Proceedings*. A 314: 529-548.
- HEISENBERG, Werner (1925). “Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen”. *Zeitschrift für Physik*. 33: 879-893.

- HERTZ, Heinrich (1887). “Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen”. *Annalen der Physik*. 31: 421-448.
- HERTZ, Heinrich (1892). *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der elektrischen Kraft*. Leipzig: Barth.
- HERTZ, Heinrich (1893). *Electric Waves, being researches on the propagation of electric action with finite velocity through space*. Authorized English translation by D.E. Jones, with a Preface by Lord Kelvin. London: Macmillan. (Reeditado por Dover Publications).
- HUBBLE, Edwin P. (1925). “Cepheids in spiral nebulae”. *Publications of the American Astronomical Society*. 48: 139–142.
- HUBBLE, Edwin P. (1926). “Extra-Galactic Nebulae”. *Astrophysical Journal*. 64: 321-369.
- HUBBLE, Edwin P. (1929). “A relation between distance and radial velocity among extragalactic nebulae”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 15: 168-173.
- HUBBLE, Edwin P. & HUMASON, M. L. (1931). “The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae”. *Astrophysical Journal*. 74: 43–80.
- KLEIN, Felix (1872). *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen*. Erlangen: A. Duchert.
- KLEIN, Felix (1911). “Über die geometrischen Grundlagen der Lorentz-Gruppe”. *Physikalische Zeitschrift*. 12: 17-27.
- LEAVITT, Henrietta (1908). “1777 Variables in the Magellanic Clouds”. *Annals of Harvard College Observatory*. 70: (4) 87-108.
- LEMAÎTRE, Georges (1927). “Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiales des nébuleuses extra-galactiques”. *Annales de la Société des Sciences de Bruxelles*. A 47: 49-59.
- LORENTZ, H.A. (1887). “De l’influence du mouvement de la terre sur les phénomènes lumineux”. *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles*. 21 (1887): 103–176. [Traducción francesa de H.A. Lorentz, “Over den invloed, dien de beweging der aarde op de lichtverschijnselen uitoefent”. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen (Amsterdam). Afdeling Natuurkunde. Verslagen en Mededeelingen*. 2 (1885–86): 297–372.]

- LUMMER, Otto & PRINGSHEIM, Ernst (1900). “Über die Strahlung des schwarzen Körpers für lange Wellen”. *Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft*. 2: 163-180.
- MAXWELL, James Clerk (1861/62). “On physical lines of force”. *Philosophical Magazine*. 21: 161–175, 281–291, 338–345 (1861); 23: 12–24, 85–95 (1862).
- MAXWELL, James Clerk (1864). “A dynamical theory of the electromagnetic field”. *Royal Society of London Philosophical Transactions*. 155: 459-512.
- MICHELSON, A. A. (1881). “The relative motion of the earth and the luminiferous ether”. *American Journal of Science*. 22: 120–129.
- MICHELSON, A. A. & MORLEY, E. W. (1887). “On the relative motion of the earth and the luminiferous aether”. *Philosophical Magazine*. (5) 24: 449–463.
- MINKOWSKI, Hermann (1909). “Raum und Zeit”. *Physikalische Zeitschrift*. 10: 104–111.
- MOSTERÍN, Jesús & TORRETTI, Roberto (2010). *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia*. 2ª edición. Madrid: Alianza Editorial. [La primera edición fue publicada por Alianza Editorial en 2002].
- NEWTON, Isaac (1687). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater.
- NEWTON, Isaac (1726). *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Editio tertia aucta & emendata. Londini: Apud Guil. & Joh. Innys, Regiæ Societatis typographos.
- ONIAN, Richard Broxton (1951). *The Origins of European Thought about the Body, the Mind, the Soul, the World, Time and Fate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PENROSE, Roger (1965). “Gravitational collapse and space-time singularities”. *Physical Review Letters*. 14: 57-59.
- PENZIAS, Arno A. & WILSON, Robert W. (1965). “A measurement of excess antenna temperature at 4080 MHz”. *Astrophysical Journal*. 142: 419-421.
- PERLMUTTER, S. et al. (1998). “Discovery of a supernova explosion at half the age of the Universe”. *Nature*. 391: 51-54.

- PICKERING, Edward C. (1912). "Periods of 25 variable stars in the small Magellanic cloud". *Harvard College Observatory Circular* 173. pp. 1-3.
- PLANCK, Max (1900). "Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum". *Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft*. 2: 237-245.
- PLANCK, Max (1901). "Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum". *Annalen der Physik*, 4: 553-563.
- POINCARÉ, Henri (1898). "La mesure du temps". *Revue de métaphysique et de morale*. 6: 1-13.
- POINCARÉ, Henri (1900). *Sur les rapports de la physique expérimentale et de la physique mathématique*. Rapport présenté au Congrès International de Physique, réuni à Paris en 1900, sous les auspices de la Société Française de Physique. Paris: Gauthier-Villars, 1900. (Reproducido en Poincaré 1968: 158-190).
- POINCARÉ, Henri (1906). "Sur la dynamique de l'électron". *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*. 21: 129-175.
- POINCARÉ, Henri (1968). *La science et l'hypothèse*. Paris: Flammarion.
- POPE, Alexander (1963). *The Poems*. A one-volume edition of the Twickenham text with selected annotations, edited by John Butt. London: Methuen & Co.
- RUBENS, Heinrich & KURLBAUM, F. (1900). "Über die Emission langwelliger Wärmestrahlen durch den schwarzen Körper bei verschiedenen Temperaturen". *Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte*. pp. 929-941.
- RUTHERFORD, Ernest (1911). "The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom". *Philosophical Magazine*. (6) 21: 669-688.
- RUTHERFORD, Ernest (1914). "The Structure of the Atom". *Philosophical Magazine*. (6) 27 (159): 488-498.
- SCHMIDT, B.F. *et al.* (1998). "The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type Ia Supernovae". *Astrophysical Journal*. 507: 46-63.
- SCHRÖDINGER, Erwin (1926a). "Quantisierung als Eigenwertproblem". *Annalen der Physik*. 79: 361-376, 489-527; 80: 457-490; 81: 109-139.

- SCHRÖDINGER, Erwin (1926b). “Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen”. *Annalen der Physik*. (4) 79: 734-756.
- SCHWARZSCHILD, Karl (1916). “Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinsche Theorie”. *K. Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte*. 1916: 189–196.
- SITTER, Willem de (1917). “On Einstein’s theory of gravitation, and its astronomical consequences. Third Paper”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 76: 78: 3-28.
- SLIPHER, Vesto M. (1913). “The radial velocity of the Andromeda Nebula”. *Lowell Observatory Bulletin*. N° 58.
- SLIPHER, Vesto M. (1915). “Spectrographic observations of nebulae”. *Popular Astronomy*. 23: 21-24.
- SLIPHER, Vesto M. (1917). “Nebulæ”. *American Philosophical Society Proceedings*. 56: 403-409.
- STRÖMBERG, Gustaf (1925). “Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae”. *Astrophysical Journal*. 61: 353-362.
- THOMSON, James (1884). “On the law of inertia, the principle of chronometry and the principle of absolute clinural rest, and of absolute rotation”. *Royal Society of Edinburgh Proceedings*. 12: 568–578.
- TOLMAN, Richard C. (1934). *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*. Oxford: Clarendon Press.
- TORRETTI, Roberto (1983). *Relativity and Geometry*. Oxford: Pergamon Press. (Second, corrected edition: New York, Dover, 1996).
- TORRETTI, Roberto (1994). *La geometría del universo y otros ensayos de filosofía natural*. Mérida: Comisión de Publicaciones de la Universidad de los Andes.
- TORRETTI, Roberto (2003). *Relatividad y espaciotiempo*. Santiago de Chile: RIL editores. 2003.
- TORRETTI, Roberto (2007). “‘Rod contraction’ and ‘clock retardation’: Two harmless misnomers?”. En F. Minazzi, *Filosofía, ciencia e bioética nel dibattito contemporaneo: Studi internazionali in onore di Evandro Agazzi*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. pp. 1029-1039.
- TORRETTI, Roberto (2008). *Crítica filosófica y progreso científico: Cuatro ejemplos*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales

- TORRETTI, Roberto (2011). “Fenomenotecnia y conceptualización en la epistemología de Gastón Bachelard”. *Theoria*, 72: 97–114.
- TORRETTI, Roberto (2013). *Estudios filosóficos: 2010-2011*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales.
- TUCÍDIDES (1942). *Thucydides historiae*, 2 vols. Ed. H.S. Jones & J.E. Powell. Oxford Clarendon Press, 1942.
- VON NEUMANN, John (1927). “Mathematische Begründung der Quantenmechanik”. *Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*. 1927: 1-57.
- WIEN, Willy (1893). “Eine neue Beziehung der Strahlung schwarzer Körper zum zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie”. *Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte*. pp. 55-62.
- WILSON, Robert M. (1978). “The Cosmic Microwave Background Radiation”. Nobel Lecture, 8 December, 1978. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1978/wilson-lecture.pdf. (Consultado el 26-03-2016).

Publicaciones de / Publications of

ROBERTO TORRETTI

LIBROS / BOOKS

- [1] *Manuel Kant: Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*. Santiago de Chile: Ediciones de la Universidad de Chile, 1967. 603 pp.
- [2] *Filosofía de la Naturaleza: Textos Antiguos y Modernos*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1971. 178 pp.
- [3] *Problemas de la filosofía: Textos filosóficos clásicos y contemporáneos*. Río Piedras: Editorial Universitaria, Universidad de Puerto Rico, 1975. 768 pp. (En colaboración con LUIS O. GÓMEZ).
- [4] *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1978. xiii + 458 pp.
- [5] *Manuel Kant: Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*. Segunda Edición. Buenos Aires: Editorial Charcas, 1980. 605 pp.
- [6] *Relativity and Geometry*. Oxford: Pergamon Press, 1983. xi + 395 pp.
- [7] *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*. Corrected reprint. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1984. xiii + 458 pp.
- [8] *Creative Understanding: Philosophical Reflections on Physics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1990. xvi + 369 pp.
- [9] *Variedad en la Razón: Ensayos sobre Kant*. Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico, 1992. x + 248 pp. (En colaboración con CARLA CORDUA)
- [10] *La geometría del universo y otros ensayos de filosofía natural*. Mérida: Comisión de Publicaciones de la Universidad de los Andes, 1994. x + 296 pp.
- [11] *Relativity and Geometry*. Second, corrected edition. New York: Dover, 1996. xiv + 395 pp.
- [12] *Sophocles' Philoctetes*. Text and Commentary. Bryn Mawr, PA: Thomas Library, Bryn Mawr College, 1997. 94 pp. (Bryn Mawr Greek Commentaries).

- [13] *Filosofía de la Naturaleza. Textos Antiguos y Modernos*. Segunda edición, corregida y aumentada. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1998. 178 pp.
- [14] *El Paraíso de Cantor: La tradición conjuntista en la filosofía matemática*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1998. xiv + 589 pp.
- [15] *The Philosophy of Physics*. New York: Cambridge University Press, 1999. xv + 512 pp.
- [16] *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Alianza Editorial. 2002. 670 pp. (En colaboración con JESÚS MOSTERÍN).
- [17] *Relatividad y espaciotiempo*. Santiago de Chile: RIL editores. 2003. 276 pp.
- [18] *Pensar la ciencia: Estudios críticos sobre obras filosóficas (1950-2000)*. Madrid: Tecnos. 2004. 394 pp. (En colaboración con MIGUEL ESPINOZA).
- [19] *Manuel Kant: Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*. Tercera edición. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2005. 1010 pp.
- [20] *Estudios filosóficos: 1957-1987*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2006. 344 pp.
- [21] *Estudios filosóficos: 1986-2006*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2007. 255 pp.
- [22] *De Eudoxo a Newton: Modelos matemáticos en la filosofía natural*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2007. 386 pp.
- [23] *Crítica filosófica y progreso científico: Cuatro ejemplos*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2008. 160 pp.
- [24] *Conceptos de gen*. Compilador y traductor: Roberto Torretti. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2009. 306 pp.
- [25] *Estudios filosóficos: 2007-2009*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2010. 313 pp.
- [26] *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia*. Segunda edición. Madrid: Alianza Editorial. 2010. 692 pp. (En colaboración con JESÚS MOSTERÍN).
- [27] *Filoctetes de SÓFOCLES*. Texto griego compuesto, anotado y traducido por Roberto Torretti. Santiago de Chile: Ediciones Táchitas, 2011. 207 pp.

- [28] *Inventar para entender*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2012. 745 pp.
- [29] *Manuel Kant: Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica*. Cuarta edición. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2013. 792 pp.
- [30] *Estudios filosóficos: 2010-2011*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2013. 290 pp.
- [31] *Estudios filosóficos: 2011-2014*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Diego Portales, 2014. 279 pp.

ARTÍCULOS ENCARGADOS PARA ENCICLOPEDIAS O MANUALES

ARTICLES FOR ENCYCLOPEDIAS OR MANUALS

- [32] “Spazio”. Artículo en *Dizionario delle Scienze Fisiche*. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana. Vol. 5, pp. 427–433.
- [33] “Space”. Artículo en *The Routledge Encyclopedia of Philosophy*. London: Routledge, 1998.
- [34] “Spacetime”. Artículo en *The Routledge Encyclopedia of Philosophy*. London: Routledge, 1998.
- [35] “Geometry”. Artículo en Hans Burkhardt and Barry Smith, eds., *Handbook of Metaphysics and Ontology*. Munich: Philosophia Verlag, 1991.
- [36] “El método axiomático”. En *La ciencia: estructura y desarrollo*. Edición de C.U. Moulines. Madrid: Trotta, 1993, pp. 89–110.
- [37] “Geometry”. En: Donald Borchert, ed., *Encyclopedia of Philosophy*, Second Edition. Detroit: Macmillan Reference USA, 2006.
- [38] “Geometry, Nineteenth Century”. Artículo en *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu>. (1999/revisado 2010).
- [39] “Callippus of Cyzikus” – “Eratosthenes of Cyrene” – “Friedmann, Alexander Alexandrovich” – “Menaechmus” – “Philolaus of Croton”. Artículos en Thomas Hockey, ed., *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Berlin: Springer, 2007.
- [40] “Philosophy of Relativity”, en el tomo *History and Philosophy of Science and Technology (History of Knowledge: Evolution and De-*

velopment), que es parte de la *Encyclopedia of Life Support Systems* (EOLSS) patrocinada por UNESCO. Una traducción castellana figura en el libro [30], pp. 79-132.

ARTÍCULOS EN REVISTAS O LIBROS COLECTIVOS

ARTICLES IN JOURNALS OR COLLECTIVE BOOKS

- [41] “Aspectos de la doctrina de Kelsen”. *Anales de la Universidad de Chile*, 100: 85–108 (1955).
- [42] “Medio geográfico y medio de la conducta en la psicología moderna”. *Atenea*, 361-362: 105–119 (1955).
- [43] “¿Ha habido progreso de la filosofía en su historia?” *Revista de Filosofía* (Chile), IV/1: 49–56 (1957).
- [44] “Causalidad y evolución. Consideraciones sobre el presunto dilema que estas ideas plantearían a la ciencia”. *Revista de Filosofía* (Chile), IV/2-3: 38–51 (1957).
- [45] “Socialidad del individuo”. *Revista de Ciencias Sociales* (Puerto Rico), V/1: 21–29 (1961).
- [46] “Kant, filósofo del más acá”. *La Torre*, 34: 161–179 (1961).
- [47] “Reflexiones sugeridas por el *Tractatus* de Wittgenstein”. *Revista de Ciencias Sociales* (Puerto Rico), V/4: 479–490 (1961).
- [48] *Hume y la religión*. Concepción: Ediciones Atenea, s/f (1962), 36 pp.
- [49] “Poder político y opresión”. *Revista de Filosofía* (Chile), IX/1-2: 35–48 (1962).
- [50] “Lecciones sobre el empirismo inglés”. *Revista de Filosofía* (Chile), IX/3: 113–155 (1962).
- [51] “Para introducir a Heidegger”. *La Torre*, 39: 87–102 (1962).
- [52] “El pensamiento de José Echeverría”. *Diario El Sur* (Concepción, Chile), 22 de enero de 1963.
- [53] “Sobre el significado del imperativo categórico”. *Revista de Filosofía* (Chile), X/1: 45–66 (1963).
- [54] “Finitud del hombre y límites del conocimiento en Descartes y Leibniz”. *Anales de la Universidad de Chile*, 128: 33–58 (1963).

- [55] “Contrato social y economía dirigida en el pensamiento político de Fichte”. *Revista de Ciencias Sociales* (Puerto Rico), VIII/4: 357–375 (1964).
- [56] “Unamuno, pensador cristiano”. En: *Unamuno*, Santiago: Ediciones de la Universidad de Chile, 1964, pp. 95–112.
- [57] “Introducción a un estudio de la deducción trascendental de las categorías en la primera *Crítica* de Kant”. *Revista de Filosofía* (Chile), XII: 19–61 (1965).
- [58] “Las contrapartidas incongruentes en la gestación de la filosofía crítica de Kant”. *Diálogos*, 3: 7–24 (1965).
- [59] “Las *Investigaciones* de Wittgenstein y la posibilidad de la filosofía”. *Diálogos*, 10: 35–59 (1968).
- [60] “Tercer Congreso Internacional de Kant”. *Diálogos*, 17: 113–117 (1969).
- [61] “Die Frage nach der Einheit der Welt bei Kant”. *Kantstudien*, 62: 77–97 (1972).
- [62] “On the subjectivity of objective space”. En: L. W. Beck, ed., *Proceedings of the Third International Kant Congress*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1972, pp. 535–540.
- [63] “Remarks on Salmon’s Paradox of Primes”. *Philosophy of Science*, 39: 260–262 (1972).
- [64] “La filosofía de la aritmética de Husserl”. *Studi internazionali di Filosofia*, 4: 183–206 (1972).
- [65] “Lógica formal y forma lógica”. En: *Überlieferung und Auftrag. Festschrift für Michael de Ferdinandy*, Wiesbaden: Pressler, 1972, pp. 624–633.
- [66] “Juicios sintéticos a priori”. *Cuadernos de Filosofía* (Buenos Aires), XI/20: 297–320 (1973).
- [67] “On the subjectivity of objective space”. En: L. W. Beck, ed., *Kant’s Theory of Knowledge*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1974, pp. 111–116. (Reimpresión de [62]).
- [68] “On Mr. Kielkopf’s not so sober understanding of standard elementary logic”. *Mind*, 83: 575–577 (1974).
- [69] “La geometría en el pensamiento de Kant”. *Anales del Seminario de Metafísica* (Madrid), 9: 9–60 (1974).

- [70] “El debate sobre el individualismo metodológico”. *Diálogos*, 26: 95–117 (1974).
- [71] “Problemas filosóficos del espacio y el tiempo. A propósito de la nueva edición de la obra de Adolf Grünbaum”. *Diálogos*, 27: 89–117 (1974).
- [72] “Espacio y tiempo: algunos libros recientes”. *Diálogos*, 29-30: 255–294 (1977).
- [73] “Bedingtes und Unbedingtes in der Mathematik”. En: *Transzendenz und Immanenz, Philosophie und Theologie in der veränderten Welt*, hrsg. von D. Papenfuss und J. Söring, Stuttgart: Kohlhammer, 1977, pp. 303–308.
- [74] “Tres filósofos de la geometría”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 3: 3–21 (1977).
- [75] “Hugo Dingler’s philosophy of geometry”. *Diálogos*, 32: 85–128 (1978).
- [76] “Presencia e idea del mundo”. *Cuadernos de la Facultad de Humanidades*, 1: 3–21 (1978).
- [77] “Jackson and Pargetter’s criterion of distant simultaneity”. *Philosophy of Science*, 46: 302–306 (1979).
- [78] “Indole y función de los principios de la Teoría General de la Relatividad”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 5: 209–233 (1979).
- [79] “Mathematical theories and philosophical insights in cosmology”. En: H. Nelkowski *et al.*, eds., *Einstein Symposion Berlin*, Berlin: Springer, 1979, pp. 320–335 (*Springer Lecture Notes in Physics*, 100).
- [80] “Three kinds of mathematical fictionalism”. En: J. Agassi and R. S. Cohen, eds., *Scientific Philosophy Today*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1981, pp. 399–414.
- [81] (Con John Stachel) “Einstein’s first derivation of mass-energy equivalence”, *American Journal of Physics*, 50: 760–763 (1982).
- [82] “»Lo que hay«”, *Diálogos*, 41: 89–93 (1983).
- [83] “Causality and spacetime structure in Relativity”. En: R. S. Cohen and L. Laudan, eds., *Physics, Philosophy and Psychoanalysis*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1983, pp. 273–293.
- [84] “Kosmologie als ein Zweig der Physik”. En: Bernulf Kanitscheider, ed., *Moderne Naturphilosophie*, Würzburg: Königshausen & Neumann, 1984, pp. 183–200.

- [85] “La crítica de conceptos en las revoluciones de la física básica”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 10: 25–41 (1984).
- [86] “Space-time physics and the philosophy of science”. *British Journal for the Philosophy of Science*, 35: 280–292 (1984).
- [87] “Las *Investigaciones* de Wittgenstein y la posibilidad de la filosofía”. En: Jorge J.E. Gracia, Eduardo Rabossi, Enrique Villanueva and Marcelo Dascal, eds. *El análisis filosófico en América Latina*, México: Fondo de Cultura Económica, 1985, pp. 536–556. (Reimpresión de [59]).
- [88] “Observation”. *British Journal for the Philosophy of Science*, 37: 1–23 (1986).
- [89] “Conceptual reform in scientific revolutions”. En: Ruth Barcan Marcus *et al.*, eds., *Logic, Methodology and Philosophy of Science VIII*, Amsterdam: North-Holland, 1986, pp. 413–431.
- [90] “Physical theories”. Part I, *Diálogos*, 48: 183–212 (1986); Part II, *Diálogos*, 49: 147–188 (1987).
- [91] “La determinación omnímoda de las cosas y el fenomenismo de Kant”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 13: 132–141 (1987).
- [92] “Do conjunctive forks always point to a common cause?” *British Journal for the Philosophy of Science*, 38: 384–387 (1987).
- [93] “Probabilidad y determinismo”. *Congreso Internacional Extraordinario de Filosofía del 20 al 26 de Setiembre de 1987*. Universidad Nacional de Córdoba, República Argentina. Tomo iii, pp. 1201–1207.
- [94] “Extractos de una correspondencia” (con C. Ulises Moulines). *Diálogos*, 53: 123–137 (1989).
- [95] “The geometric structure of the universe”. En: Evandro Agazzi and Alberto Cordero, eds., *Philosophy and the Origin and Evolution of the Universe*, Proceedings of the Conference on the Origin and Evolution of the Universe, held by the International Academy of Philosophy of Science in Lima, Perú, in August 1989. Dordrecht: Kluwer, 1991, pp. 53–73.
- [96] “»Y se hizo la luz«... Newton y la Ilustración”. *La Torre* n.é., 5 [núm. ext.]: 169–178 (1991).
- [97] “Mathematical structures and physical necessity”. En: Javier Echeverría, Andoni Ibarra y Thomas Mormann, eds., *The Space of Mathematics: Philosophical, Epistemological, and Historical Explorations*. Berlin: Walter de Gruyter, 1992, pp. 132–140.

- [98] “La tradición semántica”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 18: 333–340 (1993).
- [99] “Una idea feliz”. *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 19: 289–301 (1993).
- [100] “Kitcher on the advancement of science”. *Diálogos*, 64: 201–215 (1994).
- [101] “El ‘observador’ en la física del siglo XX”. En: Francisco José Ramos, ed., *Hacer: Pensar. Colección de escritos filosóficos*, Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico, 1994, pp. 581–610.
- [102] “Einstein’s luckiest thought”. En: Jarrett Leplin, ed. *The Creation of Ideas in Physics*. Dordrecht: Kluwer, 1995, pp. 89–96.
- [103] “Realismo científico y ciencia real”. *Theoria*, XI/26: 29–43 (1996).
- [104] “Las analogías de la experiencia de Kant y la filosofía de la física”. *Anales de la Universidad de Chile*, Sexta Serie, 4: 77–96 (1996).
- [105] “Ruptura y continuidad en la historia de la física”. *Revista de Filosofía* (Chile), XLIX-L: 29–44 (1997).
- [106] “From Physics to Metaphysics”. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*. 28: 291–298 (1997).
- [107] “On Relativity, Time-Reckoning, and the Topology of Time Series”, en Jeremy Butterfield, ed., *The Arguments of Time*. Oxford: Published for the British Academy by Oxford University Press, 1999. Pp. 66–82.
- [108] Respuestas a la Encuesta mundial sobre la situación de la filosofía al final del siglo XX, en R. Fornet-Betancourt, ed., *Quo vadis, Philosophie? Antworten der Philosophen. Dokumentation einer Weltumfrage*. Aachen: Wissenschaftsverlag Mainz, 1999. Pp. 314–316.
- [109] “Spacetime Models for the World”. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 31: 171–186 (2000).
- [110] “Gravity as Spacetime Curvature”. *Physics in Perspective*, 2: 118–134 (2000).
- [111] “»Scientific Realism« and Scientific Practice”. En: Evandro Agazzi and Massimo Pauri, eds., *The Reality of the Unobservable: Observability, Unobservability and their Impact on the Issue of Scientific Realism*, Dordrecht: Kluwer, 2000. Pp. 113–122.
- [112] “A Model for Smarandache’s Anti-Geometry”. En: Leonardo Motta y Gheorghe Niculescu, eds., *Proceedings of the Second International Conference of Smarandache Type Notions in Mathematics and Quan-*

- tum Physics*, Rehoboth, NM: American Research Press, 2001, pp. 5–18. Publicado también en *Smarandache Notions Journal*, 12: 5–18 (2001).
- [113] “The Friedmann Worlds: Deriving the geometry”. Repartido como *preprint* a los partícipes en el curso “¿Se acelera la expansión del Universo? Cosmología y Filosofía”, ofrecido por la Universidad Internacional Meléndez Pelayo (Santander, España) en julio de 2000.
- [114] “El concepto de probabilidad”. *Diálogos*, 81: 407–447 (2003).
- [115] “Intuición pura”. En César Ojeda y Alejandro Ramírez, eds., *El sentimiento de lo humano en la ciencia, la filosofía y las artes: Homenaje al Profesor Félix Schwartzmann Turkenich*. Santiago: Editorial Universitaria, 2004. Pp. 111–134.
- [116] “Conocimiento discursivo”. En: *Doctor honoris causa Roberto Torretti*, Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2005. Pp. 13–27.
- [117] “Conocimiento discursivo”. *RevistaUDP*, 2: 67–72 (2005). (Reimpresión de [116]).
- [118] “Can science advance effectively through philosophical criticism and reflection?”, <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002875/> (2006).
- [119] “Causalidad, intervención y determinismo”. *Diálogos*, 87: 217–222 (2006).
- [120] “The problem of time’s arrow historico-critically reexamined”. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 38: 732–756 (2007).
- [121] “‘Rod contraction’ and ‘clock retardation’: Two harmless misnomers?” En: Fabio Minazzi, ed., *Filosofia, scienza e bioetica nel dibattito contemporaneo: Studi internazionali in onore di Evandro Agazzi*, Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2007. Pp. 1029–1039.
- [122] “Getting rid of the Ether: Could Physics have achieved it sooner, with better assistance from Philosophy?”. *Theoria*, 60: 353–374 (2007).
- [123] “Nuevos ensayos de filosofía de la biología”. *Revista de Filosofía* (Chile), LXIV: 215–229 (2008).
- [124] “Objectivity: A Kantian Perspective”. En: Michela Massimi, ed., *Kant and Philosophy of Science Today*. Royal Institute of Philosophy Supplement 63. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. Pp. 81–94.
- [125] “Diseños y designios”. *Estudios Públicos*, 115: 49–74 (2009).
- [126] “Respuestas a mis críticos”, en “Simposio: La filosofía de la ciencia de Roberto Torretti”. *Teorema*, XXIX/1: 147–151 (2010).

- [127] “La proliferación de los conceptos de especie en la biología evolucionista”. *Theoria*, 69: 325–377 (2010).
- [128] “How Percepts and Concepts Engage the Future”. *Foundations of Physics*. 41: 1717-1728 (2011).
- [129] “Fenomenotecnia y conceptualización en la epistemología de Gastón Bachelard”. *Theoria*, 72: 97–114 (2011).
- [130] “Comienzos de la astroteología en la Antigua Academia”. En Marcelo D. Boeri y Nicole Ooms, eds., *El espíritu y la letra: un homenaje a Alfonso Gómez-Lobo*. Buenos Aires: Colihue, 2011. Pp. 199-214.
- [131] “El transformismo de Lamarck y sus adversarios”. *Diálogos*, 93: 189-244 (2012).
- [132] “Nicolás Gómez Dávila, pensador reaccionario”. *Estudios públicos*, 131: 159-177 (2013).
- [133] “Sobre la conferencia de Jesús Mosterín »Naturaleza humana, biología y convención«”. *Estudios públicos*, 131: 137-141 (2013).
- [134] “Cómo entiendo el pragmatismo”. *Estudios públicos*, 132: 1-37 (2013).
- [135] “Fichte y Kant”. *Anuario 2013 – Universidad Diego Portales*, pp. 263-268.
- [136] “La metáfora del ojo del alma”. *Scripta Philosophiae Naturalis*, 9: 1-23 (2016).

RESEÑAS DE LIBROS / BOOK REVIEWS

Salvo indicación contraria, todas las reseñas están en castellano.

All reviews are in Spanish unless otherwise indicated.

- [137] Bogumil Jasinowski, *Saber y dialéctica*, Santiago 1957 (*La Torre*, 21: 197–201 (1958)).
- [138] Georg Lukacz, *El asalto a la razón*, trad. por Wenceslao Roces, México 1959 (*Revista de Ciencias Sociales* (Puerto Rico), IV/2: 390–395 (1960)).
- [139] Hans Freyer, *Teoría de la época actual*, trad. por Luis Villoro, México 1959 (*Revista de Ciencias Sociales* (Puerto Rico), V/1: 85–87 (1961)).

- [140] Willard van Orman Quine, *From a Logical Point of View*, 2nd ed., Cambridge MA 1961 (*Revista de Filosofía* (Chile), IX/1-2: 151–154 (1962)).
- [141] Alfred J. Ayer, ed., *Logical Positivism*, Glencoe IL 1959 (*Revista de Filosofía* (Chile), IX/3: 157–164 (1962)).
- [142] *Jornadas de Filosofía: Posibilidad de la metafísica*, Tucumán 1961 (*Interamerican Review of Bibliography*, XIII/1: 82–83 (1963)).
- [143] Maine de Biran, *De l'apperception immédiate*, Paris 1963 (*Anales de la Universidad de Chile*, 128: 202–207 (1963)).
- [144] Richard B. Braithwaite, *La explicación científica*, trad. por V. Sánchez de Zavala, Madrid 1965 (*Anales de la Universidad de Chile*, 137: 228–236 (1966)).
- [145] Mario Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs 1963 (*Anales de la Universidad de Chile*, 138: 250–256 (1966)).
- [146] Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago 1962 (*Anales de la Universidad de Chile*, 139: 257–261 (1966)).
- [147] Mario Bunge, *Scientific Research*, 2 vols., Berlin 1967 (*Anales de la Universidad de Chile*, 141-144: 346–350 (1967)).
- [148] *The Collected Papers of Gerhard Gentzen*, Amsterdam 1969 (*Diálogos*, 21: 104–108 (1970)).
- [149] Jaakko Hintikka, ed., *The Philosophy of Mathematics*, New York 1969 (*Diálogos*, 21: 109–114 (1970)).
- [150] Robert G. Colodny, ed., *The Nature and Function of Scientific Theories, essays in contemporary science and philosophy*, Pittsburgh 1970 (*Diálogos*, 21: 115–121 (1970)).
- [151] Istvan Deak, *Weimar Germany's left-wing intellectuals, A political history of the WELTBUEHNE and its circle*, Berkeley 1968. (*Revista de Ciencias Sociales* XV.2: 273–276 (1971)).
- [152] *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Band I, hrsg. von Joachim Ritter, Basel 1971 (*Diálogos*, 22: 171–175 (1972)).
- [153] Giorgio Tonelli, *A Short-title List of Subject Dictionaries of the 16th, 17th and 18th Centuries as Aids to the History of Ideas*, London 1971 (*Diálogos*, 22: 175–176 (1972)).
- [154] Henry E. Kyburg Jr., *Probability and Inductive Logic*, New York 1970 (*Diálogos*, 22: 180–184 (1972)).

- [155] Nicholas Rescher, *Scientific Explanation*, New York 1970 (*Diálogos*, 22: 184–188 (1972)).
- [156] Wesley Salmon, *Statistical Explanation and Statistical Relevance*, Pittsburgh 1971 (*Diálogos*, 22: 188–192 (1972)).
- [157] John R. Searle, ed., *The Philosophy of Language*, New York 1971; Leonard Linsky, ed., *Reference and Modality*, New York 1971 (*Diálogos*, 22: 213–214 (1972)).
- [158] Patrick Suppes, *A Probabilistic Theory of Causality*, Amsterdam 1970 (*Diálogos*, 22: 215–216 (1972)).
- [159] S. W. P. Steen, *Mathematical Logic with Special Reference to the Natural Numbers*, Cambridge 1972 (*Diálogos*, 23: 219–221 (1972)).
- [160] Karel Lambert and Bas C. van Fraassen, *Derivation and Counterexample, an introduction to philosophical logic*, Encino 1972 (*Diálogos*, 23: 221–224 (1972)).
- [161] Robert Rogers, *Mathematical Logic and Formalized Theories, a survey of basic concepts and results*, Amsterdam 1971 (*Diálogos*, 23: 224–227 (1972)).
- [162] Peter Achinstein, *Law and Explanation, an essay in the philosophy of science*, Oxford 1971 (*Diálogos*, 23: 227–229 (1972)).
- [163] *Proceedings of the Third International Kant Congress*, ed. by L.W. Beck, Dordrecht 1972 (*Diálogos*, 23: 229–236 (1972)).
- [164] Hilary Putnam, *Philosophy of Logic*, New York 1971; Norwood Russell Hanson, *Observation and Interpretation, a guide to the philosophy of science*, New York 1971; Norman Malcolm, *Problems of Mind, Descartes to Wittgenstein*, New York 1971 (*Diálogos*, 23: 236–239 (1972)).
- [165] Bas C. van Fraassen, *Formal Semantics and Logic*, New York 1971 (*Diálogos*, 23: 240 (1972)).
- [166] M. Bunge, F. Halbwachs, T.S. Kuhn, J. Piaget et L. Rosenfeld, *Les Théories de la Causalité*, Paris 1971 (*Diálogos*, 23: 241–242 (1972)).
- [167] Carlo Borromeo Giannoni, *Conventionalism in Logic, a study in the linguistic foundation of logical reasoning*, The Hague 1971 (*Diálogos*, 24: 167–174 (1973)).
- [168] Georg Henrik von Wright, *Explanation and Understanding*, Ithaca 1971 (*Diálogos*, 24: 174–179 (1973)).

- [169] Robert G. Colodny, ed., *Paradigms and Paradoxes: The Philosophical Challenge of the Quantum Domain*, Pittsburgh 1972 (*Diálogos*, 24: 196–199, (1973)).
- [170] Robert Borger and Frank Cioffi, eds., *Explanation in the Behavioural Sciences*, Cambridge 1970 (*Diálogos*, 24: 200–203 (1973)).
- [171] Herbert Meschkowski, ed., *Grundlagen der modernen Mathematik*, Darmstadt 1972; Karl Strubecker, ed., *Geometrie*, Darmstadt 1972 (*Diálogos*, 24: 205–207 (1973)).
- [172] Mario Bunge, *Method, Model and Matter*, Dordrecht 1973; *Teoría y realidad*, Barcelona 1972 (*Diálogos*, 25: 156–167 (1973)).
- [173] Karl R. Popper, *Objective Knowledge, an evolutionary approach*, Oxford 1972 (*Diálogos*, 25: 168–174 (1973)).
- [174] J.M. Jauch, *Are Quanta Real? A Galilean dialogue*, Bloomington 1973 (*Diálogos*, 25: 179–181 (1973)).
- [175] Mario Bunge, *Philosophy of Physics*, Dordrecht 1973 (*Diálogos*, 26: 176–181 (1974)).
- [176] Ulises Moulines, *La estructura del mundo sensible (sistemas fenomenalistas)*, Barcelona 1973 (*Diálogos*, 26: 181–183 (1974)).
- [177] Herbert Feigl, Wilfrid Sellars and Keith Lehrer, eds., *New Readings in Philosophical Analysis*, New York 1972 (*Diálogos*, 26: 183–186 (1974)).
- [178] Jürgen Klüver, *Operationalismus: Kritik und Geschichte einer Philosophie der exakten Wissenschaften*, Stuttgart-Bad Cannstatt 1971 (*Diálogos*, 27: 159–165 (1974)).
- [179] William A. Wallace, *Causality and Scientific Explanation*, 2 vols., Ann Arbor 1972–1974 (*Diálogos*, 27: 179–181 (1973)).
- [180] Fernando Montero Moliner, *El empirismo kantiano*, Valencia 1973 (*Diálogos*, 27: 177–178 (1974)).
- [181] José Ferrater Mora, *Cambio de marcha en filosofía*, Madrid 1974 (*Diálogos*, 28: 153–157 (1975)).
- [182] Imre Lakatos, *Proofs and Refutations, the logic of mathematical discovery*, Cambridge 1976 (*Diálogos*, 31: 182–186 (1978)).
- [183] Jane Bridge, *Beginning Model Theory, the Completeness Theorem and some consequences*, Oxford 1977 (*Diálogos*, 31: 188–192 (1978)).
- [184] Farhang Zabeeh, E.D. Klemke and Arthur Jacobson, eds., *Readings in Semantics*, Urbana 1974 (*Diálogos*, 31: 192–193 (1978)).

- [185] Bernulf Kanitscheider, *Vom absoluten Raum zur dynamischen Geometrie*, Mannheim 1976 (*Diálogos*, 31: 193–195 (1978)).
- [186] Roberto Escobar, *La filosofía en Chile*, Santiago 1976 (*Interamerican Review of Bibliography*, 28: 93–94 (1978)).
- [187] Karl R. Popper and John C. Eccles, *The Self and its Brain*, Berlin 1977 (*Diálogos*, 32: 202–206 (1978)).
- [188] John Winnie, ed., *Symposium on Space and Time* [special issue of *Noûs*, vol. xi, n° 3, September 1977], (*Diálogos*, 32: 207–211 (1978)).
- [189] Stephen P. Schwartz, ed., *Naming, Necessity and Natural Kinds*, Ithaca 1977 (*Diálogos*, 32: 211–212 (1978)).
- [190] Nelson Goodman, *Ways of Worldmaking*, Indianapolis 1978 (*Diálogos*, 33: 173–174 (1979)).
- [191] Arthur W. Burks, *Chance, Cause and Reason, an Inquiry into the Nature of Scientific Evidence*, Chicago 1977 (*Diálogos*, 33: 174–175 (1979)).
- [192] George S. Pappas and Marshall Swain, eds., *Essays on Knowledge and Justification*, Ithaca 1978 (*Diálogos*, 33: 175–176 (1979)).
- [193] Mario Bunge, *Treatise on Basic Philosophy, Volume 3, Ontology I: The Furniture of the Universe*, Dordrecht 1977 (*Diálogos*, 33: 151–156 (1979)).
- [194] John S. Earman, Clark N. Glymour and John J. Stachel, eds., *Foundations of Space-Time Theories*, Minneapolis 1977 [Minnesota Studies in the Philosophy of Science, viii] (*Diálogos*, 33: 165–171 (1979)).
- [195] Robert Geroch, *General Relativity from A to B*, Chicago 1978 (*Diálogos*, 33: 171–173 (1979)).
- [196] Wladyslaw Krajewski, *Correspondence Principle and Growth of Science*, Dordrecht 1977 (*Diálogos*, 34: 182–186 (1979)).
- [197] George Boolos, *The Unprovability of Consistency, an Essay in Modal Logic*, Cambridge 1979 (*Diálogos*, 35: 183–184 (1980)).
- [198] Angel Jorge Casares, *Sobre la esencia del hombre*, Río Piedras 1979 (*Diálogos*, 35: 208–209 (1980)).
- [199] José Ferrater Mora, *Diccionario de filosofía*, Sexta Edición, Madrid 1979, 4 vols. (*Diálogos*, 38: 151–152 (1981)).
- [200] Ricardo J. Gómez, *Las teorías científicas – desarrollo – estructura – fundamentación*, Tomo I, Buenos Aires 1977 (*Noûs*, 15: 244–246 (1981)). Reseña en inglés.

- [201] Nicholas Rescher, *Leibniz's Metaphysics of Nature, a group of essays*, Dordrecht 1981 (*Diálogos*, 39: 160–163 (1982)).
- [202] Jill Vance Buroker, *Space and Incongruence: The Origin of Kant's Idealism*, Dordrecht 1981 (*Diálogos*, 39: 163–167 (1982)).
- [203] Hartry Field, *Science without Numbers, a Defence of Nominalism*, Princeton 1980 (*Diálogos*, 40: 159–162 (1982)).
- [204] Jerzy Giedymin, *Science and Convention, essays on Henri Poincaré's philosophy of science and the conventionalist tradition*, Oxford 1981 (*Diálogos*, 40: 162–167 (1982)).
- [205] Richard Swinburne, ed., *Space, Time and Causality*, Dordrecht 1983; D. Mayr and G. Süßmann, eds., *Space, Time and Mechanics: Basic Structures of a Physical Theory*, Dordrecht 1983 (*Diálogos*, 43: 131–136 (1984)).
- [206] John R. Searle, *Intentionality, an essay in the philosophy of mind*, Cambridge 1983 (*Diálogos*, 44: 194–200 (1984)).
- [207] Dudley Shapere, *Reason and the Search for Knowledge, Investigations in the Philosophy of Science*, Dordrecht 1984 (*Diálogos*, 45: 166–171 (1985)).
- [208] Andrew Pickering, *Constructing Quarks, a Sociological History of Particle Physics*, Chicago 1984 (*Diálogos*, 47: 177–183 (1986)).
- [209] Isaac Levi, *Decisions and Revisions: Philosophical Essays on Knowledge and Value*, Cambridge 1984 (*Diálogos*, 49: 189–196 (1987)).
- [210] Wolfgang Balzer, David A. Pearce and Heinz-Jürgen Schmidt, eds., *Reduction in Science: Structure, Examples, Philosophical Problems*, Dordrecht 1984 (*Diálogos*, 49: 207–213 (1987)).
- [211] Arthur Fine, *The Shaky Game. Einstein Realism and the Quantum Theory*, Chicago 1986 (*Diálogos*, 50: 155–160 (1987)).
- [212] Joseph Agassi, *Science and Society. Studies in the Sociology of Science*, Dordrecht 1981 (*Philosophia*, 17: 223–223 (1987)). Reseña en inglés.
- [213] Asim O. Barut, Alwyn van der Merwe and Jean-Pierre Vigiér, eds., *Quantum, Space and Time—The Quest Continues. Studies and Essays in Honour of Louis de Broglie, Paul Dirac and Eugene Wigner*, Cambridge 1984. (*Noûs*, 21: 442–444 (1987)). Reseña en inglés.
- [214] Nicanor Ursua Lezaun et al., *Filosofía de la ciencia y metodología crítica*, Bilbao 1981. (*Noûs*, 22: 327–329 (1988)). Reseña en inglés.
- [215] *Los filósofos presocráticos*. I. Introducción general por Conrado Eggers Lan. Introducciones, traducciones y notas por Conrado Eggers Lan y

- Victoria E. Juliá. II. Introducciones, traducciones y notas por Néstor Luis Cordero, Francisco José Olivieri, Ernesto La Croce y Conrado Eggers Lan. III. Introducciones, traducciones y notas por Armando Porratti, Conrado Eggers Lan, María Isabel Santa Cruz de Prunes y Néstor Luis Cordero. Madrid 1978–1980. (*Diálogos*, 51: 221–225 (1988)).
- [216] Giovanni Reale, *A History of Ancient Philosophy. I. From the Origins to Socrates. III. The Systems of the Hellenistic Age*. Edited and translated [by] John R. Catan. Albany 1985–1987. (*Diálogos*, 51: 226–229 (1988)).
- [217] G. S. Kirk, J. E. Raven, M. Schofield, *The Presocratic Philosophers. A Critical History with a Selection of Texts*. Second edition. Cambridge 1983. (*Diálogos*, 51: 230–232 (1988)).
- [218] Peter Galison, *How Experiments End*. Chicago 1987. (*Diálogos*, 52: 155–163 (1988)).
- [219] J. V. Field, *Kepler's Geometrical Cosmology*. Chicago 1988. (*Diálogos*, 53: 155–163 (1988)).
- [220] B. A. Rosenfeld, *A History of Non-Euclidean Geometry: Evolution of the Concept of a Geometric Space*. Translated [from the Russian] by Abe Shenitzer. New York 1988. (*Diálogos*, 54: 250–254 (1989)).
- [221] Igal Kvar, *A Theory of Counterfactuals*. Indianapolis 1986. (*Diálogos*, 54: 254–260 (1989)).
- [222] Pietro Redondi, *Galileo Heretic (Galileo Eretico)*. English translation by Raymond Rosenthal. Princeton 1987. (*Revista Latinoamericana de Filosofía*, 15: 359–361 (1989)).
- [223] Ronald Giere, *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago 1988. (*Diálogos*, 55: 199–203 (1990)).
- [224] Raúl Fornet Betancourt, *Introducción a Sartre*. México 1989. (*Diálogos*, 55: 211 (1990)).
- [225] Aristóteles, *Las Categorías*. Edición bilingüe. Introducción, traducción y notas de Humberto Giannini y María Isabel Flisfisch. Santiago de Chile 1988. (*Diálogos*, 55: 212–213 (1990)).
- [226] Gottfried Wilhelm Leibniz, *Investigaciones Generales sobre el análisis de las nociones y las verdades*. Introducción, traducción y notas de Mauricio Beuchot y Alejandro Herrera-Ibáñez. México 1986. (*Diálogos*, 55: 213 (1990)).
- [227] Immanuel Kant, *Pensamientos sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas*. Traducción y comentario de Juan Arana Cañedo-Argüelles. Berna 1988. (*Diálogos*, 55: 213–214 (1990)).

- [228] F. W. J. Schelling, *Sistema del idealismo trascendental*. Traducción, prólogo y notas de Jacinto Rivera Rosales y Virginia López Domínguez. Barcelona 1988. (*Diálogos*, 55: 214 (1990)).
- [229] Kurt Gödel, *Obras completas*. Introducción y traducción de Jesús Mosterín. Segunda edición. Madrid 1989. (*Diálogos*, 55: 214–216 (1990)).
- [230] Ian Hacking, *The Taming of Chance*. (*Diálogos*, 58: 185–187 (1991)).
- [231] Lawrence Sklar, *Philosophy and Spacetime Physics*. (*Noús*, 25: 574–578 (1991)).
- [232] L. T. F. Gamut, *Logic, Language, and Meaning*. (*Diálogos*, 59: 191–193 (1992)).
- [233] Hans Joachim Krämer, *Plato and the Foundations of Metaphysics: A Work on the Theory of the Principles and Unwritten Doctrines of Plato with a Collection of the Fundamental Documents*. (*Diálogos*, 59: 194–200 (1992)).
- [234] John Bigelow and Robert Pargetter, *Science and Necessity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. (*Diálogos*, 60: 219–227 (1992)). Reseña en inglés.
- [235] John Earman, *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time* (*Philosophical Review*, 101: 723–725 (1992)). Reseña en inglés.
- [236] Jon Barwise y John Etchemendy, *The Language of First-Order Logic*. Including the Macintosh™ program *Tarski's World*. Second Edition, revised and expanded. Center for the Study of Language and Information, 1991. (*Diálogos*, 61: 203–208 (1993)).
- [237] Ana María Vicuña N., *Filosofía, poesía y mito a la luz de Eros en el Symposio de Platón*. [Santiago de Chile]: Pontificia Universidad Católica de Chile, 1993. (*Diálogos*, 65: 221–224 (1995)).
- [238] Lawrence Sklar, *Physics and Chance: Philosophical Issues in the Foundations of Statistical Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. (*Diálogos*, 65: 243–249 (1995)). Reseña en inglés.
- [239] Kurt Gödel, *Ensayos inéditos*. Edición a cargo de Francisco Rodríguez Consuegra. Prólogo de W. V. Quine. Barcelona: Mondadori, 1994. (*Diálogos*, 66: 185–190 (1995)).
- [240] Richard Dedekind, *¿Qué son y para qué sirven los números? y otros escritos sobre los fundamentos de la matemática*. Edición e introducción a cargo de José Ferreirós. Madrid: Alianza, 1998. (*Revista Latinoamericana de Filosofía*, 25: 320–322 (1999)).

- [241] Bertrand Russell, *Análisis filosófico*. Introducción y traducción de Francisco Rodríguez Consuegra. Barcelona: Ediciones Paidós, 1999. (*Revista Latinoamericana de Filosofía*, 26: 181–184 (2000)).
- [242] Mara Beller, *Quantum Dialogue: The Making of a Revolution*, Chicago: University of Chicago Press, 1999. (*Revista de Filosofía* (Chile), LV-LVI: 213–216 (2000)).
- [243] Miguel Espinoza, *Philosophie de la nature*, Paris: Ellipses, 2000. (*Revista de Filosofía* (Chile), LVII: 183–185 (2001)).
- [244] Max Jammer, *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy*, Princeton NJ: Princeton University Press, 2000. (*Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 33B: 730–735 (2002)). Reseña en inglés.
- [245] Steve Fuller, *Thomas Kuhn: A Philosophical History for Our Times*, Chicago: University of Chicago Press, 2000. (*Physics in Perspective*, 4: 120–123 (2002)). Reseña en inglés.
- [246] Lorenzo Magnani, *Philosophy and geometry: Theoretical and historical issues*. Dordrecht: Kluwer, 2001. (*Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 34B: 158–160 (2003)). Reseña en inglés.
- [247] I. Bernard Cohen y George E. Smith, eds., *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. (*Revista de Filosofía* (Chile), LIX: 168–172 (2003)).
- [248] Manuel Correia, *La lógica de Aristóteles: Lecciones sobre el origen del pensamiento lógico en la antigüedad*, Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile, 2003. (*Revista de Filosofía* (Chile), LX: 165–169 (2004)).
- [249] Kurt Gödel, *Collected Works*, vols. IV-V, Oxford: Clarendon Press, 2003. (*Revista de Filosofía* (Chile), LX: 169–172 (2004)).
- [250] Simon Blackburn, *Truth: A Guide*. Oxford: Oxford University Press, 2005. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXI: 229–233 (2005)).
- [251] *Vocabulaire européen des philosophies: Dictionnaire des intraduisibles*, sous la direction de Barbara Cassin. Paris: Éditions du Seuil/Dictionnaires Le Robert, 2004. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXI: 233–234 (2005)).
- [252] William James, *Psicología para profesores*. Traducción de Paulina Dittborn. Santiago de Chile: Editorial Biblioteca Americana, 2005. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXI: 235–236 (2005)).

- [253] Paul Guyer, ed., *The Cambridge Companion to Kant and Modern Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXII: 181-185 (2006)).
- [254] Michel Onfray, *Traité d'athéologie: Physique de la métaphysique*, Paris: Bernard Grasset, 2005. (*RevistaUDP*, 3: 83-84 (2006)).
- [255] Thomas Ryckman, *The Reign of Relativity: Philosophy in Physics 1915–1925*, Oxford: Oxford University Press, 2005. (*Mind*, 115 (459): 808-811 (2006)).
- [256] Talal A. Debs y Michael L.G. Redhead, *Objectivity, Invariance, and Convention: Symmetry in Physical Science*. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXIII: 206-209 (2007)).
- [257] Pseudo Longino, *De lo sublime*. Traducción de Eduardo Molina C. y Pablo Oyarzún R. (*Revista de Filosofía* (Chile), LXIV: 264-265 (2008)).
- [258] Hasok Chang, *Is Water H₂O? Evidence, Realism and Pluralism*. Dordrecht: Springer. (*Theoria*, 76: 115-118 (2013)).

TRADUCCIONES / TRANSLATIONS

- [259] *Cinco escritos de Leibniz*. Introducción, versión española y notas de Roberto Torretti. *Revista de Filosofía* (Chile), IX, 3: 51–81 (1962).
Traducción al castellano de cinco textos latinos publicados por Couturat en *Opusculs et fragments inédits de Leibniz*, Paris 1903, pp. 533–535, 11–16, 518–523, 401–403, 16–24.
- [260] Immanuel Kant, *La falsa sutileza de las cuatro figuras del silogismo*. Versión española por Roberto Torretti. *Diálogos*, 19: 7–22 (1970). Traducción al castellano de *Die falsche Spitzfindigkeit der vier syllogistischen Figuren erwiesen von M. Immanuel Kant*, Königsberg 1762.
- [261] Immanuel Kant, *Sobre el fundamento primero de la diferencia entre las regiones del espacio*. Traducción de Roberto Torretti. *Diálogos*, 22: 139–146 (1972). Traducción al castellano de “Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume”, publicado en el semanario *Wochentliche Königsbergsche Frag- und Anzeigungsnachrichten*, el 6, 13 y 20 de febrero de 1768.
- [262] Gottfried Wilhelm Leibniz, *Ensayos filosóficos alemanes*. Versión española de Roberto Torretti. *Diálogos*, 23: 139–159 (1972). Traducción

- al castellano de cuatro textos alemanes publicados por Guhrauer en *Deutsche Schriften*, Berlin 1838–40, vol. II, pp. 48–55, vol. I, pp. 410–413, 420–426, 414–419.
- [263] Gottfried Wilhelm Leibniz, *Principios metafísicos de las matemáticas*. Traducción de Roberto Torretti. *Diálogos*, 24: 131–149 (1973). Traducción al castellano de *Initia rerum mathematicarum metaphysica*, publicado por Gerhardt en G. W. Leibniz, *Mathematische Schriften*, Berlin and Halle 1849–63, t. VII, pp. 17–29.
- [264] Immanuel Kant, *Sobre la nitidez de los principios de la teología natural y de la moral*. Traducción y notas de Roberto Torretti. *Diálogos*, 27: 57–87 (1974). Traducción al castellano de *Untersuchung über die Deutlichkeit der Grundsätze der natürlichen Theologie und der Moral*. Berlin 1764.
- [265] Bernhard Riemann, *Sobre las hipótesis que están en la base de la geometría*. Traducción de Roberto Torretti. *Diálogos*, 31: 151–168 (1978). Traducción al castellano de *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen*, publicado póstumamente en 1867 por Dedekind en *Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, vol.13.
- [266] Immanuel Kant, *Monadología física*. Traducción del latín por Roberto Torretti. *Diálogos*, 32: 173–190 (1978). Traducción al castellano de *Metaphysicae cum geometria junctae usus in philosophia naturalis cuius Specimen I continet Monadologiam Physicam*, Königsberg 1756.
- [267] George Berkeley, *Sobre el movimiento o sobre el principio y la naturaleza del movimiento y sobre al causa de la trasmisión de los movimientos*. Traducción del latín por Roberto Torretti. *Diálogos*, 34: 119–141 (1979). Traducción al castellano de *De Motu*, London 1721.
- [268] Immanuel Kant, *Nuevo concepto del movimiento y el reposo*. Traducción del alemán por Roberto Torretti. *Diálogos*, 34: 143–152 (1979). Traducción al castellano de *Neuer Lehrbegriff der Bewegung und Ruhe und der damit verknüpften Folgerungen in den ersten Gründen der Naturwissenschaft*, Königsberg 1758.
- [269] Ludwig Lange, *Sobre la ley de la inercia*. Traducción del alemán por Roberto Torretti. *Diálogos*, 34: 153–170 (1979). Traducción al castellano de “Über das Beharrungsgesetz”, *Leipziger Berichte*, 37: 333–351 (1885).
- [270] Leibniz, *Escritos filosóficos*. Edición de Ezequiel de Olaso. Notas de Ezequiel de Olaso y Roberto Torretti. Traducciones de Roberto To-

- retti, Tomás E. Zwanck y Ezequiel de Olaso. Buenos Aires: Editorial Charcas, 1982. 666 pp. Incluye todas las traducciones de Leibniz arriba mencionadas y una parte de las notas que las acompañaban.
- [271] Gottfried Wilhelm Leibniz, *Seis escritos de lógica*. Traducción y notas de Roberto Torretti. *Diálogos*, 51: 163–215 (1988). Traducción al castellano de seis textos latinos publicados por Couturat en *Opusculs et fragments inédits de Leibniz*, Paris 1903, pp. 49–47, 77–84, 235–237, 421–423, 193–202 y 410–416.
- [272] Hilary Putnam, “Los modelos y la realidad”. Traducido del inglés por Francisco Rodríguez Consuegra y Roberto Torretti. *Diálogos*, 63: 7–45 (1994). Traducción anotada de “Models and Reality”, publicado originalmente en *Journal of Symbolic Logic*, 45: 464–482 (1980). La traducción incluye la nota “Afterthoughts on ‘Models and Reality’”, redactada por Putnam especialmente para este número de *Diálogos* y reproducida, con la traducción al frente, en las pp. 41–45.
- [273] Bruno de Finetti, “Sobre el significado subjetivo de la probabilidad”. Traducido del italiano por Roberto Torretti. *Revista de Filosofía* (Chile), 58: 171–198 (2002). Traducción al castellano de “Sul significato soggettivo della probabilità”, *Fundamenta Mathematicae*, 17: 298–329 (1931).

Propuesta editorial

La *Revista de Humanidades de Valparaíso* (RHV) es editada por el Instituto de Filosofía de la Facultad de Humanidades de la Universidad de Valparaíso desde el año 2013. Su periodicidad de publicación es semestral y está destinada a la divulgación de trabajos inéditos, propios del ámbito de las humanidades: la filosofía, las artes y la literatura.

Los trabajos que se envíen a la RHV deben ser inéditos y que no hayan sido remitidos simultáneamente para su publicación a otra revista impresa o electrónica.

Los trabajos se someterán al arbitraje de dos pares externos bajo la modalidad “doble ciego”, velando de este modo la plena confidencialidad tanto de los evaluadores como de los autores de los trabajos enviados. En caso de dictámenes opuestas de los árbitros (uno a favor y otro en contra de publicar el trabajo), los editores someterán el trabajo al dictamen definitivo de un miembro del Consejo Editorial.

La RHV recibe trabajos en castellano, portugués, francés e inglés.

Los trabajos pueden ser enviados en cualquier época del año y serán publicados por orden de aceptación y de acuerdo al número de artículos previsto para la publicación de cada número.

Los derechos de los trabajos publicados pertenecen a sus autores.

Los autores que publiquen en RHV recibirán un ejemplar de la revista.

Mayor información en: <http://www.revistafilosofiauv.cl> y <http://revistas.uv.cl/index.php/RHV/index>

Preparación del manuscrito

Formato: los trabajos deben estar escritos en letra Times New Roman 10, espaciado simple o sencillo, hoja tamaño carta, con un máximo de 25 páginas en total. Título en negrita Times New Roman 14. Nombre del autor: Times New Roman 12. Todos los subtítulos en negrita 10 y en el margen izquierdo. Si el trabajo presentado es más extenso, los editores se reservan el derecho de aceptarlo o no para someterlo al proceso de arbitraje. Los trabajos deben incluir un resumen (*abstract*) en castellano e inglés.

La estructura y orden del trabajo debe respetarse rigurosamente y es el siguiente: desde la primera página del trabajo debe constar: el título, nombre y apellido del autor, consignando filiación institucional y correo electrónico, todo ello alineado a la derecha; resumen en castellano, centrado; palabras clave, 5 en total; *abstract* y *key words* (ídem anterior); introducción; desarrollo del trabajo (capítulos y subcapítulos); conclusión y bibliografía.

Si el trabajo lleva imágenes, éstas deben adjuntarse además en un archivo independiente en formato JPG. Si las imágenes no son lo suficientemente nítidas, los editores se reservan el derecho de no incluirlas en la edición.

Referencias bibliográficas

Las referencias bibliográficas se tienen que insertar en el texto indicando entre paréntesis solo el apellido del autor, año de publicación y la(s) página(s). Ejemplo:

(Frege, 1879: 44); (Heidegger, 1939: 31-45)

Si es más de un trabajo en la misma cita:

(Frege, 1879; 1901).

Si el autor posee más de una publicación por año, se diferencian con letras minúsculas de acuerdo a su orden de aparición. Ejemplo:

(Frege, 1879a; 1879b); (Frege, 1879b: 34)

Cuando el libro citado posee más de un autor:

Dos autores: (Frege y Dedekind, 1879: 44);

Tres autores: (Frege, Dedekind y Peano, 1879: 44);

Más de tres: (Frege et al., 2006).

La bibliografía debe venir al final del artículo en orden alfabético, repitiendo los apellidos cuando sea el caso de varios libros de un mismo autor y seguidos por el año de publicación que corresponde a la referencia bibliográfica que se indicó en el artículo. Los textos de un mismo autor deben ordenarse de acuerdo a su orden de aparición. Ejemplos:

Libros y autores: Apellido(s), Nombre(s) (año): *Título libro*. Lugar: Editorial.

Un autor: Carnap, Rudolf (1947): *Meaning and Necessity*. Chicago: Chicago University Press.

Dos autores: Redmond, Juan y Fontaine, Matthieu (2011): *How to Play Dialogues. An Introduction to Dialogical Logic*. London: College Publications.

Tres autores: Lorenzen, Paul; Lorenz, Kuno y Rahman, Shahid (1978): *Dialogische Logik*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Libro con editor(es). Ejemplo:

Verdugo, Carlos, ed. (2013): *An Essay Concerning Human Understanding*. Oxford: Clarendon Press.

Capítulos en libros. Ejemplo:

Apellido(s), Nombre(s) (año): “Título del capítulo”. En Nombre Apellido (ed.), *Título libro*. Lugar: Editorial.

Un autor: Carnap, Rudolf (1947): “Sinn und Bedeutung”. En John Smith (ed.), *Meaning and Necessity*. Chicago: Chicago University Press.

Dos autores: Redmond, Juan y Fontaine, Matthieu (2011): “Rules of Dialogical logic”. En Shahid Rahman (ed.), *How to be a Dialogician*. London: College Publications.

Artículos en revistas. Ejemplo:

Apellido(s), Nombre(s) (año): “Título del artículo” en *Nombre Revista*, año, N°. Lugar: Editorial.

Un autor: Carnap, Rudolf (1947): “Sinn und Bedeutung” en *Journal of Philosophy*, Año 3, N°2. Londres: King’s College University Press.

Dos autores: Carnap, Rudolf y Frege, Gottlob (1901): “Der Gedanke” en *Journal of Philosophy*, Año 2, N°4. Berlin: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Referencias en internet. Ejemplo:

Valladares, Diego (2011): “Modelos y Ficciones” en *Revista de Epistemología*. Consulta 12 de enero de 1965: www.revistadeepistemologia-oit.org/sdf/17.htm

Notas a pie de página:

Las notas a pie de página solo se aceptarán en la medida que aporten a la comprensión del texto: Times New Roman 8.

Editorial proposal

The Journal of Humanities of Valparaíso (RHV, for its acronym in Spanish) is edited by the Institute of Philosophy of the Faculty of Humanities of the University of Valparaíso since 2013. Its periodicity is biannual for unpublished works in the field of humanities (philosophy, arts and literature). The RHV published in four languages, Spanish, Portuguese, English and French; and does not subscribe to any particular doctrine and is open to articles from different perspectives and with an international scope.

1. Section Policies

Articles:

- Open Submissions
- Indexed
- Peer Reviewed

Book Reviews:

- Open Submissions
- Indexed

2. Peer Review Process

The Journal of Humanities of Valparaíso (RHV, for its acronym in Spanish) is a peer-reviewed journal. According to the topics of philosophy, arts and literature; each paper is assigned by the Editors to the competent area editor. This latter will choose two external referees. They will provide a report on a blind version of the paper and, on this basis, the area editor will make the final decision about publication. We will try to make a decision on every paper within eight or nine weeks.

3. Open Access Policy

RHV provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge.

4. Author Guidelines

Articles:

Please submit your original paper through our online system following the links above.

The OJS works best with web browsers other than Internet Explorer. If you need help at any point, email us: editores@revistafilosofiauv.cl

Once you obtain your username and password, log in and click "Author". Then "Start a new submission".

The submission must be in Microsoft Word file. Send a PDF file especially if you make a significant use of mathematical or logical notation in your paper.

Submissions should be simple-spaced, use 11-point Times, and defer to the APA Manual of Style for questions of formatting.

Book Reviews:

A full book review may concern only one book or monograph or several works. Its length is about 750-1000 words (use 11-point Times, and defer to the APA Manual of Style for questions of formatting). It should give readers an engaging, informative, and critical discussion of the work.

The most important point in developing a book review is to address the Journal's readership: international and interdisciplinary. The review should consider:

- The intended audience for the book and who would find it useful;
- The background of the author;
- The main ideas and major objectives of the book and how effectively these are accomplished;
- The soundness of methods and information sources used;
- A comparison with other works on this subject;
- Constructive comments about the strength and weaknesses of the book;
- For edited books: dominant themes with reference to specific chapters as appropriate; and implications of the book for research, policy, practice, or theory.

The header of your review should include:

- Author(s) or editor(s) first and last name(s) (please indicate if it is an edited book)
- Title of book
- Year of publication
- Place of publication

- Publisher
- Number of pages
- Price (please indicate paperback or hard cover) if available
- ISBN

At the end of your review, please include:

- Your first and last name
- Email
- Institution affiliation
- A brief biographical

5. Submission Preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

1. Duplicate publication: We have a strict policy of avoiding duplicate publication. ALL ARTICLES MUST BE ORIGINALS.
2. Wordcount: Papers do not exceed 10,000 words including abstract, footnotes, and references.
3. Abstract: Up to 100 words. If your paper is in Spanish, you will have to submit an English summary.
4. Keywords: A brief list of keywords (5 or 6). If your paper is in Spanish, you will have to submit English keywords.
5. Notes: Use only footnotes. Include as many in-text citations as possible.
6. References: Must use the APA citation format and style.

6. Copyright Notice

Authors who publish with this journal agree to the following terms:

1. Authors retain copyright and grant the journal right of first publication, with the work after publication simultaneously licensed under a Creative Commons Attribution License that allows others to share the work with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal.
2. Authors are able to enter into separate, additional contractual arrangements for the non-exclusive distribution of the journal's published version of the work (e.g., post it to an institutional repository or publish it in a book), with an acknowledgement of its initial publication in this journal.

3. Authors are permitted and encouraged to post their work online (e.g., in institutional repositories or on their website) prior to and during the submission process, as it can lead to productive exchanges, as well as earlier and greater citation of published work (See The Effect of Open Access).

7. Privacy Statement

The names and email addresses entered in this journal site will be used exclusively for the stated purposes of this journal and will not be made available for any other purpose.

La Revista de Humanidades de Valparaíso (RHV) es editada por el Instituto de Filosofía de la Facultad de Humanidades de la Universidad de Valparaíso desde el año 2013. Su periodicidad de publicación es semestral y está destinada a la divulgación de trabajos inéditos propios del ámbito de las humanidades (la filosofía, las artes y la literatura).