

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*, Universidad de Munich.

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 $M_{\text{electrostática}} \subset M_{\text{electrodinámica}}$.

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.