

LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES KUHNIANAS*

María Caamaño Alegre[†]

RESUMEN

En el presente trabajo se explicitan de forma sistemática las contribuciones más significativas del estructuralismo a la comprensión de las revoluciones científicas, tomando como punto de referencia inicial la caracterización kuhniana de éstas. Se elucidará, con ayuda del caso ilustrativo de la revolución geológica, un segundo sentido kuhniano de revolución científica, apenas discutido por el propio Kuhn y a menudo obviado por sus críticos. Esta forma de desarrollo teórico denominada “incrustación teórica”, aunque muy diferente de aquel característico de la ciencia normal (o evolución teórica), es, no obstante, marcadamente continuo y acumulativo, en el sentido de que no conlleva el rechazo de la teoría precedente, sino su subsunción en la sucesora. Se analizará, por otra parte, el problema del alcance del holismo semántico a la luz del criterio de *T*-teoricidad estructuralista, e, igualmente, la cuestión del alcance de la inconmensurabilidad, atendiendo al espectro del cambio teórico revolucionario según las posibilidades de reducción ontológica aplicativa entre teorías inconmensurables.

PALABRAS CLAVE: revolución científica - inconmensurabilidad - estructuralismo - reducción ontológica

RESUMO

No presente trabalho, as contribuições mais significativas do estruturalismo para a compreensão das revoluções científicas são explicadas de forma sistemática, tomando como ponto de referência inicial a caracterização kuhniana dessas revoluções. Um segundo sentido kuhniano de revolução científica, pouco discutido pelo próprio Kuhn e muitas vezes ignorado pelos seus críticos, será elucidado com a ajuda do caso ilustrativo da revolução geológica. Esta forma de desenvolvimento teórico chamada “incrustação teórica”, embora muito diferente daquela característica da ciência normal (ou evolução teórica), é, no entanto, marcadamente contínua e cumulativa, no sentido de que não implica a rejeição da teoria precedente, mas sua subsunção na sucessora. Por outro lado, o problema do alcance do holismo semântico será analisado à luz do critério estruturalista da *T*-teoricidade e, igualmente, da questão do alcance da incomensurabilidade, considerando o espectro da mudança teórica revolucionária de acordo com as possibilidades de redução ontológica entre teorias incomensuráveis.

PALAVRAS-CHAVE: revolução científica - incomensurabilidade - estruturalismo - redução ontológica

* Este trabajo ha sido subvencionado por el Proyecto ‘Models and Theories in Physical, Biological, and Social Sciences’ (PICT-2014-1741, ANPCyT, Argentina).

[†] Universidad de Valladolid. mariac@fyl.uva.es. ORCID: 0000-0002-7005-9257

Introducción: la visión kuhniana de las revoluciones científicas

Como pone de relieve el historiador de la ciencia Jerome Bernard Cohen (1976), el concepto de ‘revolución científica’ se ha formado a partir de un doble uso metafórico del término ‘revolución’. En su significado original, como término científico proveniente de la astronomía y la geometría, significaba ciclo constante, flujo y reflujo, movimiento uniforme que vuelve a un mismo punto. Muy posteriormente, concretamente a partir de la Revolución Francesa (1789), el término ‘revolución’ pasa a aplicarse a un ámbito muy amplio y general de actividades sociales, políticas, económicas, intelectuales y culturales, adquiriendo un nuevo significado que pasa a ser predominante. A partir de entonces, las revoluciones se entendieron como cambios radicales y desviaciones con respecto a los modos tradicionales y aceptados de organización política o pensamiento. Las revoluciones ya no son ciclos regulares en los que siempre se retorna a un mismo punto, sino rupturas drásticas con el pasado. En un segundo giro metafórico, y en torno a esa misma época, el término ‘revolución’ pasa de aplicarse a fenómenos políticos a utilizarse para caracterizar el cambio científico. Se empieza a hablar de la revolución copernicana, de las figuras revolucionarias de Kepler y Galileo, y, especialmente, de La Revolución Científica (con mayúsculas) como algo esencialmente ligado al desarrollo de la física newtoniana. Se entiende que la física newtoniana es revolucionaria porque establece un nuevo orden, uno en el que se unifican los avances revolucionarios, rupturistas previos.

Hasta Kuhn, predominaba un uso de la expresión ‘Revolución Científica’ con mayúsculas, como nombre propio para denotar el episodio histórico de establecimiento de la física newtoniana. Kuhn, por tanto, hace un uso metafórico del término revolución heredado del siglo XVIII, un uso avivado también por el contexto de revoluciones políticas y culturales de los años 60 del siglo XX, como han comentado también muchos intérpretes de la obra de Kuhn. Con este autor, la expresión ‘revolución científica’ con minúsculas se establece definitivamente como término de clase, para referirse a un tipo de cambio científico caracterizado por el rupturismo con el orden previamente aceptado.

Aunque el término ‘estructura’ figura en el título de la obra más emblemática de Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, lo cierto es que, en esa misma obra, como ha puesto de relieve recientemente la historiadora Lorriane Daston (2016), apenas se aborda la cuestión de cuál es la estructura de las revoluciones científicas. En lugar de ello, Kuhn habría enfatizado en esa obra, a juicio de Daston, los aspectos menos estructurales de

las revoluciones científicas, conectados con los ejemplares como elementos fundamentales de consenso dentro de un paradigma, y la importancia del aprendizaje práctico y el conocimiento tácito vinculados a ellos.

Veamos cómo Kuhn caracteriza el concepto fundamental de *La Estructura de las Revoluciones Científicas*:

(...) scientific revolutions are here taken to be those non-cumulative developmental episodes in which an older paradigm is replaced in whole or in part by an incompatible new one. (KUHN, 1962/1970, p. 92)

Es interesante que, en realidad, Kuhn no niega de manera tajante la posibilidad de que existan revoluciones que supongan un desarrollo acumulativo, es decir, reconoce que son en principio posibles (no hay nada en la estructura lógica del conocimiento científico que excluya esta posibilidad), pero entiende que hay razones históricas de peso para descartar esta posibilidad como irrelevante.

But if new theories are called forth to resolve anomalies in the relation of an existing theory to nature, then the successful new theory must somewhere permit predictions that are different from those derived from its predecessor. That difference could not occur if the two were logically compatible. In the process of being assimilated, the second must displace the first (...). Though logical inclusiveness remains a permissible view of the relation between successive scientific theories, it is a historical implausibility. (KUHN, 1962/1970, pp. 97-98)

Aquí claramente Kuhn conecta la necesidad histórica de suplantación de teorías con la posibilidad efectiva de resolución de anomalías y, por tanto, la resolución de predicciones fallidas recalcitrantes. En principio, como él mismo reconoce, incluso esas anomalías recalcitrantes podrían llegar a solventarse sin abandonar la teoría vigente, sino añadiendo o corrigiendo elementos exógenos a la teoría (determinación de condiciones iniciales) o integrando la teoría en un marco teórico más amplio. Obviamente Kuhn piensa que históricamente esto constituye, dicho en sus propias palabras, “una excepción casi inexistente a la regla del desarrollo científico” (KUHN, 1962/1970, pp. 95-96).

Otras citas más de *La estructura* inciden ya muy directamente en lo que Kuhn va a mantener en sus obras posteriores como el rasgo esencial de las revoluciones científicas, que sería el de incompatibilidad conceptual entre las teorías rivales, es decir, el problema del cambio radical de significado o de la inconmensurabilidad de las teorías científicas. En

lo que respecta a la inconmensurabilidad, y prescindiendo de la vertiente relativa a los estándares del proceder científico por estar más desligada de las cuestiones estructurales de tipo conceptual, Kuhn se pronuncia, en el 1962, en los siguientes términos:

This need to change the meaning of established and familiar concepts is central to the revolutionary impact of Einstein's theory. Though subtler than the changes from geocentrism to heliocentrism, from phlogiston to oxygen, or from corpuscles to waves, the resulting conceptual transformation is no less decisively destructive of a previously established paradigm. We may even come to see it as a prototype for revolutionary reorientations in the sciences. Just because it did not involve the introduction of additional objects or concepts, the transition from Newtonian to Einsteinian mechanics illustrates with particular clarity the scientific revolution as a displacement of the conceptual network through which scientists view the world. (KUHN, 1962/1970, pp. 101-102)

Como es bien sabido, Kuhn, sí detalló en sus obras posteriores algunos de los aspectos semánticos implicados en los cambios teóricos revolucionarios (KUHN, 1993, pp. 316-318). Gradualmente se abandona el discurso acerca de los cambios en los estándares del proceder científico y en la percepción, para centrarse en los cambios en la estructura taxonómica de las teorías y en la violación del principio de no-solapamiento entre las principales clases de cosas que se reconocen desde cada teoría. Los cambios taxonómicos afectarían a un grupúsculo de términos que se interdefinen conforme a lo que establecen las leyes fundamentales de cada teoría. Tras una revolución científica, cambiarían las relaciones de similitud entre entidades definitorias de las categorías que establecen la ontología de las teorías. La consecuencia de ello sería la intraducibilidad local entre teorías rivales (en realidad, algo todavía más radical que eso, como es la no incorporabilidad de ciertos conceptos de la teoría antecesora), resultante de una determinación localmente holista del significado de las expresiones científicas con respecto a ciertas categorías léxicas interrelacionadas a partir de una misma ley fundamental.

A pesar de que en la última etapa kuhniana, la intraducibilidad local se introduce explícitamente como rasgo definitorio de la inconmensurabilidad (y, por tanto, de las revoluciones científicas), Kuhn manifiesta dudas, tanto teóricas, como metateóricas, acerca de la posibilidad de restringir el alcance del cambio semántico, es decir, duda tanto de la posibilidad de excluir que las variaciones semánticas de ciertos términos centrales en una

teoría infecten o contagien al resto de términos, como de la posibilidad de delimitar metateóricamente el alcance de los cambios semánticos.

De hecho, a pesar de hacer comentarios elogiosos acerca de la propuesta metateórica de Sneed (en un artículo de 1976), se muestra escéptico con respecto a su utilidad para resolver los interrogantes que plantean el holismo semántico y la inconmensurabilidad. Y lo cierto es que, si no se resuelven esos interrogantes, nos podríamos ver abocados a una incomparabilidad empírica entre teorías rivales y al consiguiente florecimiento de visiones relativistas del progreso científico.

It is not clear, however, that incommensurability can be restricted to a local region. (...) It is simply implausible that some terms should change meaning when transferred to a new theory without infecting the terms transferred with them. (KUHN, 1982, p. 672)

El primer y más sistemático intento de aplicar el enfoque estructuralista para evaluar y perfeccionar la caracterización historicista de la ciencia fue realizado por W. Stegmüller, en su obra *Structure and Dynamics of Theories* (1976), y posteriormente desarrollado por W. Balzer, U. Moulines y J. Sneed en *An Architectonic for Science* (1987). La distinción entre distintos niveles de teoriedad y de composición conceptual redundante en una versión acotada de la tesis de la carga teórica, a la vez que en una visión más rica de las posibilidades de reducción ontológica entre teorías rivales. Todo ello brinda la posibilidad de elaborar una versión coherente y más fina de la tesis de la inconmensurabilidad.

Las diversas aportaciones realizadas desde el enfoque estructuralista han permitido dar respuesta a las siguientes cuestiones relativas a los cambios teóricos revolucionarios:

- 1) ¿Existen cambios revolucionarios de carácter acumulativo?
- 2) ¿Se “contagia” el cambio semántico más allá de los términos teóricos a los términos empíricos debido al holismo semántico?
- 3) ¿Existen relaciones de inconmensurabilidad de alcance global? Y si es así, ¿cómo se puede explicar la rivalidad entre teorías globalmente inconmensurables?

Por otra parte, si bien en Kuhn y Feyerabend el segundo interrogante conducía al tercero, desde el tratamiento estructuralista, sin embargo, ambos problemas son independientes. El segundo problema se disuelve, como veremos, apelando a la distinción *T*-teórico/*T*-no teórico, mientras que la respuesta al problema del alcance se entiende que radica en la

posibilidad de comparación empírica incluso si se da inconmensurabilidad empírica. Las posibilidades de dicha comparación se establecen a partir de las siguientes condiciones: *a*) reducción aplicativa y vínculo ontológico homogéneo débil entre teorías (en casos de conmensurabilidad empírica), *b*) reducción aplicativa y conectabilidad empírica entre teorías rivales por medio de vínculos reductivos ontológicos heterogéneos débiles (no identidad entre elementos de dominios básicos sino relación biunívoca entre ellos), subestructuras parciales escalonadas y conceptos no-característicos (en casos de inconmensurabilidad empírica). En lo que sigue se explicarán algunas de estas contribuciones estructuralistas al esclarecimiento del problema de las revoluciones científicas.

1 Plausibilidad histórica de la revolución con acumulación

Aduciendo razones históricas, Kuhn parece excluir la existencia de cambios revolucionarios acumulativos. Las revoluciones implicarían suplantación teórica y excluirían la incorporación teórica. Desde el estructuralismo, por el contrario, se reconoce la compatibilidad entre el establecimiento de un nuevo sistema de leyes fundamentales y la incorporación de leyes fundamentales de teorías previas en el nuevo sistema teórico. Para referirse a tales casos, en los que además las teorías sucesivas en cuestión se solapan en sus aplicaciones intencionales, Moulines (2010 y 2011) introduce el rótulo ‘incrustación teórica’. En tales casos, el cambio de núcleo teórico puede darse sin que el nuevo núcleo incluya necesariamente conceptos inconmensurables con el anterior, pudiendo en cambio incorporar éste. Según apunta el autor, a los ejemplos ya reconstruidos como la incorporación de la mecánica cartesiana del choque en la mecánica newtoniana y la incorporación de la teoría planetaria de Kepler en la mecánica newtoniana (BALZER; MOULINES & SNEED, 1987, capítulos VI y VII, respectivamente), podrían añadirse los siguientes ejemplos plausibles todavía no reconstruidos de esta forma de desarrollo teórico:

[1] la incorporación de la óptica ondulatoria en la electrodinámica de Maxwell y de esta última en la teoría especial de la relatividad; la incorporación de esta última en la teoría generalizada de la relatividad; la incorporación de la mecánica cuántica (versión Schrödinger o Heisenberg) en la electrodinámica cuántica (de Dirac), y la de esta última en el “modelo estándar” de la física de partículas; la incorporación de la teoría darwiniana de la evolución en la teoría “sintética”; la incorporación de la genética

“mendeliana” (en realidad, “morganiana”) en la genética molecular. (MOULINES, 2011, p. 16)

La aplicación de desarrollos recientes estructuralistas a nuevos casos históricos, como el de la revolución geológica, arroja resultados en cierto modo inesperados. A finales de la década de los setenta, Rachel Laudan (1978), tras refutar convincentemente la interpretación kuhniana y lakatosiana de la revolución geológica, reconocía que todavía no había llegado a desarrollarse una explicación adecuada de ésta. Al estudiar este caso bajo una nueva luz, recurriendo a la noción de subestructura parcial escalonada (MOULINES, 2010 y 2011), resulta evidente que todos los modelos de la teoría de la deriva continental son parte de los modelos de la tectónica de placas, dándose una relación de incrustación de la primera teoría en la segunda (CAAMAÑO, 2018). Bajo el rótulo de “revolución en geología”, encontramos, por tanto, un caso llamativo de progreso acumulativo a través del cambio teórico. Tomando en consideración este resultado, cobra interés la posibilidad de explorar un segundo sentido kuhniano de revolución científica, apenas discutido por el propio Kuhn (1962/1970, pp. 95-97) y a menudo obviado por sus críticos, que se correspondería con casos de incrustación teórica. Esta forma de desarrollo teórico, aunque muy diferente de aquel característico de la ciencia normal (o evolución teórica), donde distintas redes teóricas con un núcleo teórico estable se suceden a medida que las especializaciones van refinándose y reproduciéndose de forma arbórea, es, no obstante, marcadamente continuo y acumulativo, en el sentido de que no conlleva el rechazo de la teoría precedente, sino su subsunción en la sucesora. Veamos este ejemplo histórico más en detalle.

Anomalías geológicas como el encaje entre las líneas costeras de los continentes permanecieron inexplicadas por las teorías contraccionistas y sólo se pudieron resolver una vez que dichas teorías fueron rechazadas y reemplazadas por la teoría de las placas tectónicas, que incorpora la teoría de la deriva continental (CAAMAÑO, 2018). El surgimiento de la teoría de las placas tectónicas (desarrollada entre 1962 y 1968), que se produjo principalmente a partir de los avances oceanográficos en el conocimiento del lecho marino y de los datos obtenidos en la seismografía, logró suscitar una aceptación científica que nunca había obtenido, por sí sola, la teoría deriva continental, previamente afectada por toda una serie de fenómenos sin explicar, entre ellos, precisamente, los fenómenos sísmicos y las características del lecho marino. De acuerdo con la literatura de referencia

sobre el tema (LAUDAN, 1978, COHEN 1985/2001, THAGARD, 1992, MARVIN, 2001 y ORESKES, 2003), algunas de las consecuencias más relevantes que entraña dicho cambio teórico tienen que ver con la definición del lecho marino y el supuesto de la distribución no azarosa de los terremotos. En ninguna de estas transiciones entre teorías geológicas se llegó a producir una refutación de lo establecido por las respectivas leyes de las teorías precedentes. El motor del cambio teórico lo constituyeron, principalmente, las anomalías para las que las teorías disponibles carecían de recursos explicativos suficientes, aunque sí de recursos descriptivos adecuados para describirlas como *explananda*.

Examinemos brevemente la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener ('DRIFT' en lo que sigue), comenzando por su marco conceptual. Los dominios básicos de DRIFT están representados por L , que es un conjunto de volúmenes de litosfera, T , que se interpreta como un conjunto de instantes temporales, y S , que representa un conjunto de regiones espaciales laterales. Estos tres dominios son conjuntos finitos, no vacíos, y $T = \{t_1, t_2\}$. En cuanto a los dominios no básicos o subconjuntos de L , tenemos U , que es un conjunto de volúmenes de la corteza terrestre, C , que se interpreta como un conjunto de volúmenes correspondientes a continentes, M , interpretado como un conjunto de volúmenes correspondientes a las montañas, y F , equiparado con un conjunto de volúmenes correspondientes a los fondos marinos. Todos ellos son subconjuntos no vacíos de U y $F \cap C = \emptyset$.

Pasando ahora a los conceptos relacionales de DRIFT, encontramos P , que es la relación mereológica de "ser parte de" entre volúmenes de corteza, y no tiene un carácter funcional. $P \subseteq U \times U$, y determina un orden parcial, no estricto. El movimiento de los continentes se representa por medio de la función d , en virtud de la cual cada volumen correspondiente a un continente y una determinada región espacial en t_1 tiene asignado un volumen de un continente y una región espacial diferente en t_2 :

$$d: (C \times S \times \{t_1\}) \rightarrow (C \times S \times \{t_2\}).$$

La función k determina la fricción cinética entre volúmenes de continentes y volúmenes de fondos marinos, asignando a cada par formado por un continente y un fondo marino en un momento dado un coeficiente de fricción:

$$k: C \times F \times T \rightarrow \mathbb{R}^+.$$

I es la relación de ajuste entre los volúmenes de los continentes y su carácter no es funcional:

$$I \subseteq C \times C.$$

Las estructuras contenidas en la clase de modelos potenciales de DRIFT son tuplas del siguiente tipo:

$$\langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, k, P, I \rangle,$$

las cuales satisfacen las tipificaciones y caracterizaciones anteriores.

A fin de favorecer la simplicidad y brevedad de la exposición, enunciaré sólo de manera informal las leyes de DRIFT. Además del axioma (1) que establece que la clase de modelos actuales de DRIFT es un subconjunto propio de su clase de modelos potenciales, existen cuatro leyes fundamentales que desarrollan el contenido específico de DRIFT. El axioma (2) establece que todos los continentes que existen en la actualidad eran parte del mismo continente en cierto momento temporal pasado t_1 . En el axioma (3), el encaje actual del contorno de los continentes se explica a partir de una separación previa de ellos. El axioma (4) establece que la ubicación de los continentes cambia a lo largo del tiempo, moviéndose los continentes unos con respecto a otros. Finalmente, la última ley (5) afirma que la formación de montañas depende de que se dé cierta fricción cinética entre los continentes y los fondos marinos.

Pasando ahora a la clase de modelos potenciales parciales de DRIFT, veamos qué elementos de la tupla que representa los modelos potenciales deberían eliminarse, dado que su determinación implica necesariamente las leyes fundamentales de DRIFT. Tal eliminación conduce al siguiente tipo de estructura:

Definición: y es un *modelo potencial parcial de la teoría de deriva continental* ($y \in M_{pp}(\text{DRIF})$) si y sólo si existe algún x tal que $x = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, k, P, I \rangle \in M_p(\text{DRIFT})$ e $y = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, P, I \rangle$.

Como puede verse, los tres conjuntos básicos, junto con los cuatro dominios no básicos, y las relaciones (no funcionales) P e I son DRIFT-no teóricos, ya que todos pueden ser determinados sin asumir las leyes fundamentales de DRIFT. d y k , por el contrario, deben considerarse DRIFT-teóricos dada su dependencia de estas leyes, más específicamente de los axiomas (4) y (5). Las nociones de movimiento continental y fricción cinética entre continentes y fondos marinos sólo se pueden definir sobre la base de la postulación de tales funciones en los términos que establece DRIFT.

Atendamos ahora a los criterios para determinar las funciones y/o nociones expresadas por términos DRIFT-no teóricos. La noción de litosfera (L) fue introducida por primera vez por Joseph Barrell en 1914, con la publicación de su artículo “The Strength of the Earth’s Crust”, y desarrollada más de dos décadas después por Reginald Aldworth Daly en su *Strength and Structure of the Earth* (1940). El término “litosfera” se refería a la capa externa fuerte de la Tierra, que se pensaba que rodeaba una capa flotante más débil llamada “astenosfera”. La determinación de T y S requiere sendas teorías cronométrica y topológica. En cuanto a U , C , M y F , durante el período histórico en el que DRIFT prevaleció, se determinaron principalmente mediante la aplicación de nociones precientíficas, que pertenecen a la esfera del conocimiento ordinario. Las nociones de corteza, continente, montaña y fondo marino se introdujeron en las teorías geológicas como términos primitivos y, por lo tanto, no se definieron en estas teorías. Cada una de estas nociones sólo podía determinarse sobre la base de una disyunción de descripciones o predicados que expresan diferentes propiedades: ubicación, entorno, constitución del material, forma, etc. La determinación de los conceptos empíricos de región espacial lateral y ajuste entre los volúmenes de los continentes requiere, respectivamente, cierta teoría topológica y cartográfica. Además de la relación de ajuste entre los volúmenes de los continentes (I), C y M son los principales dominios DRIFT-no teóricos cuya formación constituía el principal *explanandum* de la teoría.

La teoría de las placas tectónicas (‘TEC’, a partir de ahora), desarrollada principalmente entre 1962 y 1968, se formula a partir de hipótesis introducidas, de manera independiente por varios geólogos, como J. Tuzo Wilson, Daniel P. McKenzie junto con Robert L. Parker, y Jason Morgan, proporcionando finalmente una visión sintética en términos de movimientos de la corteza como rotaciones de cuerpos rígidos sobre una

esfera (ORESQUES, 2003, pp. 25-27). Las montañas, por otra parte, pasaron a entenderse como formaciones geológicas resultantes, en algunos de casos, de la presión y fricción entre placas tectónicas y, en otros, de la colisión entre continentes y arcos de islas, mesetas oceánicas y microcontinentes (FRISCH; MESCHÉDE & BLAKEY, 2011, pp. 149-158). En todos estos casos, un proceso muy gradual de subducción de corteza continental u oceánica originaba las posteriores colisiones. La visión de conjunto ofrecida por la nueva teoría es descrita por Oreskes como sigue:

A global picture now emerged. Oceans split apart at their centers, where new ocean floor is created by submarine volcanic eruptions. The crust then moves laterally across the ocean basins. Ultimately, it collides with continents along their margins (edges), where the ocean crust sinks underneath, back into Earth's mantle. As it does, it compresses the continental margins, generating folded mountain belts and magmas that rise to the surface as volcanoes, and deep earthquakes as the cold, dense ocean slab sinks farther and farther back into the earth. (2003, pp. 26-27)

Por lo que respecta al marco teórico de TEC, éste incluye todos los dominios básicos y no básicos de DRIFT, por lo que L , U , T , S , C , M y F se interpretan de la misma manera que en DRIFT. Hay un nuevo dominio no básico que se añade en TEC, a saber, O , que es un subconjunto de L y se interpreta como un conjunto de placas tectónicas. Todos los conceptos relacionales de DRIFT también se incluyen en TEC, con la adición de seis más, a saber, la propagación del fondo marino, la destrucción del fondo marino, la actividad sísmica, el movimiento de las placas tectónicas, la fricción cinética entre continentes y la que existe entre las placas tectónicas. Más concretamente, e es una función que determina la propagación del fondo marino asignando a cada volumen de fondo marino f en t_1 un mayor volumen de fondo marino f' en t_2 :

$$e: (F \times \{t_1\}) \rightarrow (F \times \{t_2\}).$$

La función r determina la destrucción del fondo marino, asignando a cada volumen del fondo marino f en t_1 un menor volumen de fondo marino f' en t_2 :

$$r: (F \times \{t_1\}) \rightarrow (F \times \{t_2\}).$$

La actividad sísmica está representada por la función h , que asigna a un cierto volumen de litosfera una frecuencia de vibración como un elemento de \mathbb{R}^+ :

$$h: U \rightarrow \mathbb{R}^+.$$

El movimiento de las placas tectónicas se representa mediante la función m . Bajo ella, a cada volumen correspondiente a una placa tectónica y a una determinada región espacial en t_1 se les asigna el mismo volumen de placas tectónicas y una región espacial diferente en t_2 .

$$m: (O \times S \times \{t_1\}) \rightarrow (O \times S \times \{t_2\})$$

La función q determina la fricción cinética entre volúmenes de continentes, asignando a cada par de volúmenes contiguos un coeficiente de fricción:

$$q: C \times C \rightarrow \mathbb{R}^+.$$

De manera similar, bajo la función n , a cada par de volúmenes contiguos correspondientes a las placas tectónicas se les asigna un coeficiente de fricción:

$$n: O \times O \rightarrow \mathbb{R}^+.$$

Las estructuras contenidas en la clase de modelos potenciales de TEC deben satisfacer las tipificaciones y caracterizaciones mencionadas anteriormente, formando así tuplas como la siguiente:

$$\langle L, U, T, S, O, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, P, I, e, r, h, m, k, q, n \rangle.$$

Como he hecho arriba, formularé sólo informalmente las leyes de TEC. Como es habitual, el primer axioma (1) simplemente establece que la clase de modelos actuales de TEC es un subconjunto de su clase de modelos potenciales. Los axiomas (2) y (3), relacionados con la separación continental y el ajuste del contorno de los continentes, son compartidos con

DRIFT. El axioma (4) establece que la expansión del fondo marino y la destrucción del fondo marino son responsables del movimiento de las placas tectónicas, y también que la distribución del fondo marino es aproximadamente la misma que la destrucción del fondo marino. En el axioma (5), el movimiento continental se explica a partir del movimiento de las placas tectónicas, la cual provoca una variación en las posiciones de los continentes. El axioma (6) afirma que las montañas se forman debido a la fricción cinética entre los continentes o entre los continentes y los fondos marinos. En el axioma (7), se establece la condición de que cada parte de un continente y de un fondo marino sean parte de alguna placa tectónica, aunque no todas ellas sean parte de la misma. Finalmente, en el axioma (8), la actividad sísmica se explica por la fricción cinética entre placas tectónicas.

Los conceptos empíricos de TEC, es decir, aquellos que determinan su clase de modelos potenciales parciales e independientes de sus leyes fundamentales, se pueden representar de la siguiente manera:

Definición: $M_{pp}(\text{TEC})$: y es un *modelo de potencial parcial de la teoría de las placas tectónicas* ($y \in M_{pp}(\text{TEC})$) si y sólo si existe algún x tal que $x = \langle L, U, T, S, O, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, P, I, e, r, h, m, k, q, n \rangle \in M_p(\text{TEC})$ e $y = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, P, I, h \rangle$.

TEC incluye todos los conceptos DRIFT-no teóricos, a saber: $L, U, T, S, C, M, F, P, I$. Además de ellos, TEC incluye un nuevo concepto TEC-no teórico, el de la actividad sísmica (h), cuya determinación no involucra las leyes de TEC, sino que simplemente se basa en observaciones obtenidas mediante el uso de instrumentos como sismógrafos o sismómetros.

En cuanto a los conceptos teóricos de TEC, vale la pena señalar que d , que es el principal concepto teórico de DRIFT, también se incluye en TEC como un concepto teórico ya que, conforme a los defensores de TEC, determinar d requiere el supuesto de que algunas placas tectónicas móviles subyacen a los continentes (axioma 5). Algo similar ocurre con k (el concepto de fricción cinética entre continentes y fondos marinos), que es tanto DRIFT-teórico como TEC-teórico. Mientras que determinar k dentro de DRIFT siempre presupone aplicar los axiomas (4) y (5) de esta teoría, determinar k dentro de TEC siempre requiere asumir los axiomas (5) y (6ii) de TEC. Por lo tanto, incluso si el concepto de fricción cinética entre continentes y fondos marinos se incluye en ambas teorías, su

determinación implica el supuesto de diferentes axiomas según la teoría que apliquemos. Si aplicamos DRIFT, un supuesto necesario es el movimiento de los continentes, mientras que, si aplicamos TEC, un supuesto necesario es el movimiento de las placas tectónicas, ya que de lo contrario no se aceptaría la existencia del fenómeno de la deriva continental. Sin embargo, la deriva continental es una presuposición compartida en ambas teorías cuando se necesita determinar k . Más concretamente, al determinar k , la deriva continental es la presuposición principal mantenida por los defensores de DRIFT, y es sólo una parte de la presuposición principal mantenida por los proponentes de TEC.

Entre los otros conceptos TEC-teóricos, e , r , O , m , q y n , ninguno es compartido con teorías geológicas anteriores. La noción de placa tectónica y la de movimiento de placa tectónica son específicas de TEC y se refieren respectivamente a un tipo de entidad y propiedad cuya determinación siempre depende de los axiomas (4) y (5). Por otro lado, no se puede definir la expansión del fondo marino (e) ni la destrucción del fondo marino (r) a menos que se asuma el axioma (4). Definir la noción de fricción cinética, ya sea entre continentes, fondos marinos y continentes o entre placas tectónicas, requiere aplicar los axiomas (6) y (8) respectivamente.

Tanto TEC como DRIFT apelan al concepto de movimiento continental y ambos comparten algunas (partes) de sus leyes fundamentales. En particular, los axiomas 2 y 3 son compartidos por ambos, y los axiomas 4 y 5 de DRIFT son parte de los axiomas 5 y 6 en TEC. Los recursos explicativos de DRIFT se mantienen o incorporan en TEC también como recursos explicativos. Por lo tanto, como se sugiere más arriba y se argumenta a continuación, la relación entre ambas teorías se refleja mejor en términos de incrustación.

Al ilustrar cómo la definición de incrustación se aplica a este caso, la noción de red teórica se reemplazará por la de elemento-teórico, ya que, como se señaló anteriormente, no se han distinguido especializaciones en las reconstrucciones anteriores, que se limitaron a los respectivos elementos básicos DRIFT y TEC. Dada la naturaleza de las condiciones especificadas en la definición de incrustación, no se pierde nada esencial al optar por esta posibilidad. Según dicha definición, para que DRIFT esté incrustado en TEC, se deben cumplir dos condiciones, a saber:

- (1) que a cada modelo exitoso en DRIFT corresponda un constructo teórico-conjuntista en TEC que resulte de realizar la operación Θ sobre los componentes de dicho modelo y constituya un modelo exitoso en TEC;
- (2) que para cada aplicación exitosa en DRIFT haya un constructo teórico-conjuntista en TEC que resulte de realizar la operación Θ sobre los componentes de dicha aplicación y constituya una aplicación exitosa en TEC.

Intuitivamente, la incrustación en el nivel teórico es capturada por la primera condición, y el requisito para la incrustación en el nivel empírico es expresado por la segunda condición. Podemos parafrasear las condiciones diciendo que cada modelo exitoso en DRIFT debe ser una subestructura parcial escalonada (aproximativa) de algún modelo exitoso en TEC, y cada aplicación exitosa en DRIFT debe ser una subestructura parcial escalonada (aproximada) de alguna aplicación intencional exitosa en TEC.

En aras de la simplicidad, el ajuste de los bordes continentales y la formación de montañas se considerarán como las aplicaciones intencionales principales (paradigmáticas) de DRIFT, y éstas junto con la actividad sísmica como las principales (paradigmáticas) de TEC. Ahora, como sabemos por las secciones anteriores, los modelos exitosos de DRIFT x_D son tuplas del siguiente tipo: $\langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, k, P, I \rangle$, que satisfacen las tipificaciones, caracterizaciones y leyes explicadas anteriormente, y cuyas subestructuras empíricas corresponden a las aplicaciones paradigmáticas de DRIFT. De manera similar, los modelos exitosos de TEC x_T son estructuras que representables como: $\langle L, U, T, S, O, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, P, I, e, r, h, m, k, q, n \rangle$, que cumplen todas las condiciones correspondientes y cuyas subestructuras empíricas corresponden a las aplicaciones intencionales paradigmáticas de TEC. Teniendo en cuenta que todas las aplicaciones exitosas de los modelos de DRIFT, en relación con el ajuste de las costas continentales y la formación de montañas, también son aplicaciones exitosas de los modelos de TEC, parece obvio que se cumple el lado empírico de la condición (1), es decir, hay un modelo exitoso en TEC para cada modelo exitoso en DRIFT.

Centrémonos ahora en el lado formal de la primera condición (1). Para ver si esta condición se cumple en su totalidad, debemos verificar si cada x_D es una subestructura parcial escalonada (aproximativa) de alguna x_T . Sin embargo, en el presente caso no es necesario operar con subestructuras parciales (x_{Di}) de los modelos exitosos de DRIFT (x_D),

dado que las estructuras completas de DRIFT se conservan en TEC. Por otro lado, la subestructura parcial relevante de x_T se parece a lo siguiente:¹

$$x_{Tk} = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, k, P, I \rangle$$

Cabe señalar que x_{Tk} es simplemente el resultado de eliminar algunos de los componentes teóricos de TEC de x_{Tk} . Esta operación proporciona una subestructura parcial de x_T que es idéntica a $x_D = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, d, k, P, I \rangle$. Por lo que se obtiene el siguiente resultado:

Para todo x_D hay algún $x_{Tk} \hat{=} x_T$ tal que $x_D = x_{Tk}$, y, por definición 1.2., $x_D \hat{=} x_T$.

Es decir, cada modelo exitoso en DRIFT es una subestructura parcial de un modelo exitoso en TEC, ya que cada componente de aquél también es un componente del éste, mientras que lo contrario no se cumple. Este resultado es aún más estricto en términos de conservación que lo que se requería en la definición de incrustación, ya que lo que se conserva de la teoría anterior no son sólo subestructuras parciales escalonadas, ni siquiera subestructuras parciales, sino estructuras enteras.

Consideraciones similares se aplican a la condición (2) de incrustación. Como se señaló anteriormente, todas las aplicaciones exitosas de DRIFT (y_D) también son aplicaciones exitosas de TEC (y_T). Nuevamente, en el nivel de aplicaciones exitosas, no es necesario operar con las subestructuras parciales de DRIFT (y_{Di}), ya que todas las estructuras de la clase de aplicaciones exitosas de DRIFT, así como las interpretaciones específicas de dichas estructuras, se conservan en TEC. Aquí la subestructura parcial relevante de y_D sería la siguiente:

$$y_{Tk} = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, P, I \rangle$$

Esta subestructura parcial resulta simplemente de eliminar el componente h (es decir, la función para la actividad sísmica) de los componentes TEC-no teóricos. Como sucede en el nivel teórico, esta operación proporciona una subestructura parcial de y_T que es idéntica a

¹ En ' x_{Di} ', ' i ' es un subíndice para un subíndice (' T '). Lo mismo se aplica a ' x_{Tk} ', ' y_{Di} ', ' y_{Tk} '.

$y_D = \langle L, U, T, S, C, M, F, \mathbb{R}^+, P, I \rangle$. En consecuencia, obtenemos un resultado análogo en el nivel no teórico:

Para todo y_D hay algún $y_{Tk} \hat{\in} y_T$ tal que $y_D = y_{Tk}$, por tanto, por definición 1.2., $y_D \hat{\in} y_T$.

Esto significa que cada aplicación exitosa en DRIFT es una subestructura parcial de una aplicación exitosa en TEC, dado que cada componente de la primera es también un componente de la última, y no al revés. En lo que respecta a la preservación, este resultado va más allá de lo contemplado en la definición de incrustación, puesto que en TEC se preservan las estructuras empíricas completas de DRIFT, así como las interpretaciones específicas de dichas estructuras, en lugar de meramente subestructuras parciales escalonadas o las subestructuras parciales.

Teniendo en cuenta la notable cantidad y variedad de casos de incrustaciones teóricas (en algunos casos ya reconstruidos), resulta difícil mantener la consideración kuhniana de que constituyen excepciones casi inexistentes de desarrollo científico a la vez acumulativo y revolucionario, mereciendo ser reconocidos, más bien, como instancias de una clase genuina e importante de revolución científica.

2 El problema del “contagio” del cambio semántico

En la caracterización más extendida del holismo, deudora de la realizada por los principales autores de referencia, Duhem (1908/1991), Quine (1960), Hanson (1958), Kuhn (1962/1970) y Feyerabend (1962/1981), suelen mezclarse dos cuestiones de alcance distinto, por una parte, la imposibilidad de contrastar empíricamente leyes científicas de forma aislada, esto es, sin asumir otras leyes en la determinación de su base de contrastación, y, por otra parte, la imposibilidad de identificar las leyes y los conceptos que en ellas intervienen al margen de su conexiones con otras leyes (MOULINES, 1986, pp. 322-323). Lo primero guarda relación con el llamado “holismo de confirmación”, el cual, si bien en última instancia remite también a cuestiones semánticas relativas al contenido empírico de las leyes, no apunta directamente a la cuestión más fundamental y de más alcance: ¿cómo identificar una ley y los conceptos puestos en relación en ella? La respuesta holista Duhem nos remite, de manera explícita, a la física en su conjunto, la de

Quine a la ciencia en su conjunto, y la de Hanson, Kuhn y Feyerabend a construcciones teóricas de alcance muy variable, según los ejemplos que empleen.

En todos estos casos, la falta de claridad y precisión sobre lo que se entiende por “teoría” acrecienta las dificultades para poder abordar adecuadamente la cuestión del alcance del holismo semántico y, consiguientemente, del alcance de las posibles variaciones semánticas del vocabulario científico, de lo que depende a su vez el alcance de la inconmensurabilidad interteórica.² Si bien los autores historicistas nunca defendieron que todo cambio en una teoría suponga un cambio de teoría, la vaga caracterización del holismo semántico que manejaron (a excepción del Kuhn tardío) contribuyó a propagar lo que podríamos denominar “el mito del contagio del cambio semántico”.

En “The Ways of Holism” (1986) Moulines señala que el holismo se asocia al hecho de que determinados tipos de totalidades conceptuales de la ciencia poseen una primacía a la vez epistémica y semántica. En sus propias palabras:

Therefore, the central claim of holism may be rendered as a claim fitting into the following scheme:

(H) The (proper) working of scientific construct *A* in context *C* presupposes the (proper) working of scientific construct *B* in *C*, and *B* is an integrating whole with respect to *A*. (MOULINES, 1986, p. 314).

El autor se plantea, pues, el interrogante acerca de los tipos de constructos científicos a los que se referirían las distintas expresiones posibles por las que las letras esquemáticas “A” y “B” podrían sustituirse. Como explica Moulines, el holismo se puede dar al menos en tres niveles distintos (que corresponderían a tres tipos de sustitutos para *A*), cada uno de los cuales vinculado, por una relación de presuposición, con tres niveles también distintos (correspondientes a tres posibles tipos de sustitutos para *B*). En particular, el holismo puede darse en el nivel de los conceptos y su relación con las leyes, en el nivel de las leyes y su relación con las teorías e, igualmente, en el nivel de las teorías y la relación entre su dominio de aplicación y otras teorías (MOULINES, 1986, pp. 322, 327, 329). La identificación de cualquier constructo teórico, ya se trate de un concepto, una ley o una teoría, depende, en última instancia, de una red de leyes jerárquicamente estructuradas.

² Tanto A. Bird (1998, pp. 175-176), como A. N. Perovich (1991, pp. 317-319) y J. Worrall (2003, pp. 72-82), subrayan la estrecha relación entre la tesis de la inconmensurabilidad y la llamada “tesis Duhem-Quine”.

Teniendo en cuenta que tanto Kuhn (1976) como Feyerabend (1977) aceptan la propuesta estructuralista de representación de teorías tal y como la desarrolla W. Stegmüller en *The Structure and Dynamics of Theories* (1976), parece plausible suponer que aceptan también la correspondiente versión del holismo según la cual el término holista *B*, es decir, la totalidad integradora presupuesta, es una teoría. Moulines se refiere, por tanto, a dicha versión como el holismo “Kuhn-Stegmüller” (1986, p. 318).³

Para identificar el concepto métrico de masa, por ejemplo, no es suficiente con recurrir al empleo de una balanza de brazos iguales y simplemente suponer que con ella estamos midiendo la masa, ya que sólo podríamos suponer esto si presupusiésemos alguna ley de la mecánica explicativa del funcionamiento de la balanza, en particular, la ley de conservación del momento angular (MOULINES, 1986, p. 321). De la misma manera, toda aplicación de la ley de la gravitación universal a un dominio empírico sólo tiene sentido bajo el supuesto de que la segunda y tercera ley de Newton pueden aplicarse igualmente al mismo dominio empírico. Asimismo, la identificación de la mecánica clásica de partículas requiere la determinación de su dominio de aplicación, lo cual presupone asumir alguna teoría cinemática que permita identificar, clasificar y sistematizar los movimientos de las partículas (MOULINES, 1986, pp. 323-324, 328).

La versión holista radical del cambio semántico, asociada a una versión igualmente radical de la tesis de la inconmensurabilidad, presenta serias dificultades, pues parece conducir irremediamente a toda una serie de paradojas, o a lo que se ha denominado, de forma genérica, ‘*the rationality gap*’ (STEGMÜLLER, 1976, p. 12). Si todos los términos descriptivos empleados en una teoría fuesen teóricos, en el sentido de dependientes de dicha teoría, un cambio de teoría con preservación de vocabulario supondría un cambio en el significado de todos sus términos descriptivos. Luego no existiría una experiencia o base empírica compartida determinable desde ambas teorías, ni los correspondientes enunciados compartidos para referirse a ella, a los que recurrir en la contrastación de y decisión entre teorías inconmensurables. Tampoco existirían observaciones o enunciados observacionales externos a las teorías que sirviesen para determinar una base empírica común, ya que observaciones y enunciados observacionales, de haberlos, resultarían insuficientes para caracterizar dicha base empírica.

³ Una presentación del estructuralismo como enfoque comprometido con un holismo moderado puede encontrarse asimismo en Falguera (1994).

En particular, conllevaría la ausencia de una base empírica común que asegure la comparabilidad objetiva, contrastativa entre dichas teorías y que elimine la posibilidad de autoconfirmación de la aserción empírica de una teoría. El siguiente par de recursos característicos del estructuralismo resultan de ayuda para evitar las citadas quiebras de la racionalidad en la representación de las teorías científicas:

- la formulación conjuntista de las teorías, y
- la consideración de los procedimientos de determinación de la extensión de los conjuntos que constituyen las teorías.

Lo primero constituye una vía para evitar la primera consecuencia, al ofrecer un medio de representación, no de expresión, del aparato conceptual de las teorías, excluyéndose así la intervención de elementos convencionales o arbitrarios propios de la relación de expresión y no de la de representación. El segundo recurso sirve para evitar la segunda consecuencia, dado que permite reconocer los distintos conceptos representados por un mismo conjunto, imposibilitando la ambigüedad que supondría la representación de dos conceptos distintos mediante un mismo conjunto. A través de la explicitación de los distintos modos de determinar la extensión de un conjunto, se esclarecen las distintas condiciones de aplicación que determinan los diferentes conceptos representados por un mismo conjunto. Se hace posible, pues, la discriminación entre diferentes modos de determinar la extensión de un mismo conjunto, logrando esquivar, de esta forma, las limitaciones de un enfoque puramente extensional.

Para algunos fines, como el análisis de teorías, conviene sustituir el tratamiento de los conceptos mismos (o de los predicados que los expresan) por el de las extensiones de estos, por el de los conjuntos de objetos que caen bajo cada concepto. La extensión de un concepto cualquiera se considerará, desde el estructuralismo, como un conjunto. La representación de conceptos mediante conjuntos, complementada con la consideración de los diversos modos de determinación de la extensión de cada conjunto, permiten fundamentar y caracterizar con precisión la variación del significado asociada a los episodios de transición entre teorías inconmensurables.

El criterio de *T*-teoricidad estructuralista, llamado de esta forma justamente para enfatizar el carácter contextual de la teoricidad de los conceptos científicos o, lo que es lo

mismo, la relatividad de la teoriedad o no teoriedad de un concepto con respecto a la teoría en la que opere hace posible dar plausibilidad a la noción de inconmensurabilidad local defendida por el último Kuhn. El criterio de *T*-teoriedad establece el carácter *T*-teórico de aquellos conceptos cuya determinación requiera necesariamente asumir (las leyes de) *T*, y el carácter *T*-no teórico de aquellos conceptos cuya determinación no requiera necesariamente asumir (las leyes de) *T*. Desde el estructuralismo se admite la posibilidad de que un término *T*-no teórico sea *T'*-teórico (presuponiendo las leyes de una teoría *T'* de menor nivel que *T*). Como ha señalado Stegmüller, el criterio permite discriminar entre distintos niveles de teoriedad y, por tanto, restringir la tesis de la carga teórica y el holismo semántico, tan radicalmente concebidos por los teóricos de la inconmensurabilidad. La citada restricción se lleva a cabo mediante la relativización de ciertos conceptos (o del significado de ciertos términos) que conforman una teoría *T* a otra u otras teorías *T'*, *T''*, ..., *Tⁿ*. En palabras del propio autor:

Talk of the *theory-ladenness of all observations* (Hanson, Toulmin, Kuhn, Feyerabend) can be made precise. This phrase, however, proves to be ambiguous—a point which appears to be overlooked most of the time. On the one hand, describing the partial possible models of one theory requires the use of *some other theory*. (STEGMÜLLER, 1976, p. 12)

Lo dicho conduciría a la fundamentación de una posible versión local de la tesis de la inconmensurabilidad, como la presentada por el último Kuhn, pues la relación de intraducibilidad entre los lenguajes de teorías rivales se restringiría en la misma medida en que se restrinja el fenómeno del holismo semántico. Por otra parte, como ya se anticipa en la cita, el criterio de *T*-teoriedad brinda la opción de distinguir entre la clase de modelos potenciales y la clase de modelos potenciales parciales de una teoría, resultando estos últimos de “recortar” de los modelos potenciales todos los conceptos *T*-teóricos que los determinan. La determinación de los modelos potenciales parciales posibilita, a su vez, la determinación de la base empírica de las teorías en términos *T*-no teóricos conmensurables, sin verse necesariamente afectada por la versión radical de la tesis de la carga teórica.

Por otra parte, la distinción estructural entre elementos teóricos básicos y especializaciones de una teoría puede entenderse como una distinción entre lo ontológico y lo doxástico, incidiendo la inconmensurabilidad directamente en lo primero e indirectamente en lo segundo. Recordemos que desde los enfoques holistas *à la* Duhem-

Quine, entre ellos los historicistas, no se llega a dar una respuesta a la dificultad de delimitar los cambios ontológicos frente a los meramente doxásticos. Como apuntaba antes, Kuhn y Feyerabend se rechazan, no obstante, la idea de que todo cambio de creencia comporte un cambio de compromisos ontológicos. La diferencia entre el plano ontológico y el meramente doxástico resulta más clara atendiendo a la relación de especialización definitoria de las redes teóricas, esto es, del tipo de constructo científico que se corresponde con lo que habitualmente llamamos “teorías”. Dos elementos teóricos relacionados mediante una relación de especialización compartirán su aparato conceptual, mientras que divergirán en cuanto al alcance de sus leyes y, consecuentemente, en cuanto a la extensión de sus clases de aplicaciones intencionales, ya que el elemento teórico que especializa restringe las leyes y el alcance empírico del elemento teórico especializado. Gähde y Stegmüller (1986, pp. 117-118) llaman la atención sobre el hecho de que, si bien las teorías se someten a contrastación empírica como un todo y no a partir de la contrastación de hipótesis aisladamente consideradas, las predicciones fallidas no conducen habitualmente, ni a una revisión de las leyes fundamentales de la teoría, ni a una revisión de los enunciados empíricos que describen las aplicaciones intencionales, sino a una modificación de parámetros o componentes teóricos intermedios. Es decir, se modifican justamente aquellos componentes que, si bien son holísticamente dependientes, tienen menor trascendencia holista.

La diferenciación entre el elemento teórico básico de una teoría y sus especializaciones ofrece una vía para discernir entre el cambio ontológico (estructural o, en términos kuhnianos, taxonómico) en que consiste un cambio de teoría, y el cambio doxástico (o de creencia) en el que consisten los cambios dentro de una teoría. Teniendo en cuenta que la inconmensurabilidad va asociada a un cambio de teoría, y que todo cambio de teoría comporta un cambio de creencia, sin que todo cambio de creencia comporte un cambio de teoría, la inconmensurabilidad no conllevará un mero cambio de creencias. Ella dará lugar a cambios de teoría, esto es, del aparato conceptual y las leyes fundamentales presupuestos en toda aplicación de dicha teoría, y no a meros cambios en una misma teoría, es decir, a alteraciones de las especializaciones, cuyos aparatos conceptuales y leyes no son fundamentales, ni se hallan presupuestos en toda aplicación de la teoría.⁴

⁴ En “Changing Patterns of Reconstruction”, *cit.*, pp. 359-360, Feyerabend insiste en la necesidad de mantener separada la creencia de la teoría, reconociéndole al enfoque estructuralista el mérito de esclarecer
Perspectivas - Revista do Programa de Pós-Graduação em Filosofia da UFT - n. 2 – 2018

3 El problema del alcance de la inconmensurabilidad y la determinación del espectro revolucionario

Acabamos de ver cómo el alcance de la variación semántica puede determinarse y, en particular, cómo deslindar las variaciones semánticas que afectan a los términos teóricos de cierta teoría. No obstante, incluso si descartamos esta forma de “contagio” en la variación semántica, los correspondientes conceptos no teóricos de los pares de teorías inconmensurables podrían ser dispares por su respectiva dependencia con respecto a teorías inconmensurables, lo que generaría una inconmensurabilidad de alcance global. Nuevamente, cabe señalar que, debido a la falta de un análisis suficientemente preciso de las unidades teóricas de la ciencia y al modo en que esto afectó en su visión del holismo semántico, los historicistas no llegaron a diferenciar analíticamente ambas posibilidades en el surgimiento de la inconmensurabilidad empírica, ni, por lo tanto, a elucidar de manera diferenciada la plausibilidad de su respectivo reconocimiento como fenómeno real.

De acuerdo con las aportaciones estructuralistas, la posibilidad de comparación empírica, incluso si se da inconmensurabilidad empírica, resultaría en principio posible mediante:

- a) vínculos reductivos ontológicos heterogéneos débiles (no identidad entre elementos de dominios básicos sino función biunívoca de conjuntos básicos reducidos a tipificaciones sobre conjuntos básicos reductores);
- b) aplicaciones intencionales de N reconstruibles como subestructuras parciales escalonadas de las aplicaciones intencionales de N^* (Moulines 2011).

Se dirá que $\rho \subseteq M_p' \times M_p$ es un vínculo reductivo ontológico débil entre T' y T si, además de satisfacer la definición formal de reducción aplicativa, está compuesto en parte al menos de una conexión entre algunos de los dominios básicos de las respectivas redes teóricas (MOULINES, 1984 y 2000). La reducción ontológica homogénea y la heterogénea corresponden a dos formas generales en las que pueden relacionarse los dominios de

la función de los elementos *a priori* en nuestro conocimiento: “An even more important example [of the advantages of the Sneed-Stegmueller reconstruction] is the role of *a priori* elements in our knowledge. Categories, forms of perceptions, are structures which again give rise to statements (Kant’s synthetic *a priori* statements) without being statements themselves” (p. 359).

teorías distintas vinculadas reductivamente. Si los conjuntos básicos de la teoría reducida se relacionan por medio de una identidad total o parcial (inclusión propia) con los de la teoría reductora, las teorías se considerarán conectadas mediante una relación de reducción ontológica homogénea. Mientras que, si alguno de los conjuntos básicos de la teoría reducida se relaciona con alguno/s de la teoría reductora de modo tal que no implica identificación de elementos sino correspondencia biunívoca entre dominios, las teorías se estimarán relacionadas por medio de una reducción ontológica heterogénea.

Si las teorías inconmensurables se solapan al nivel de las aplicaciones intencionales, resultará posible reconstruir una relación de reducción ontológica entre tales teorías, manteniéndose así una de las intuiciones acerca de la vinculación entre el progreso científico y la reducción interteórica. Si no se solapan, podemos todavía rastrear la conexión empírica a partir de la presencia de dominios básicos de N como subestructuras parciales escalonadas en N^* . Por ejemplo, la estructura espaciotemporal newtoniana puede ser reconstruible como una subestructura parcial escalonada de la estructura espaciotemporal relativista. El espacio-tiempo tetradimensional relativista podría entenderse que contiene, como subestructura parcial escalonada, el espacio euclidiano tridimensional y el tiempo unidimensional de la mecánica newtoniana (Moulines 2011).

A partir de las contribuciones estructuralistas ya destacadas y de diversos estudios de caso, es posible delimitar el siguiente espectro revolucionario (de menos a más):

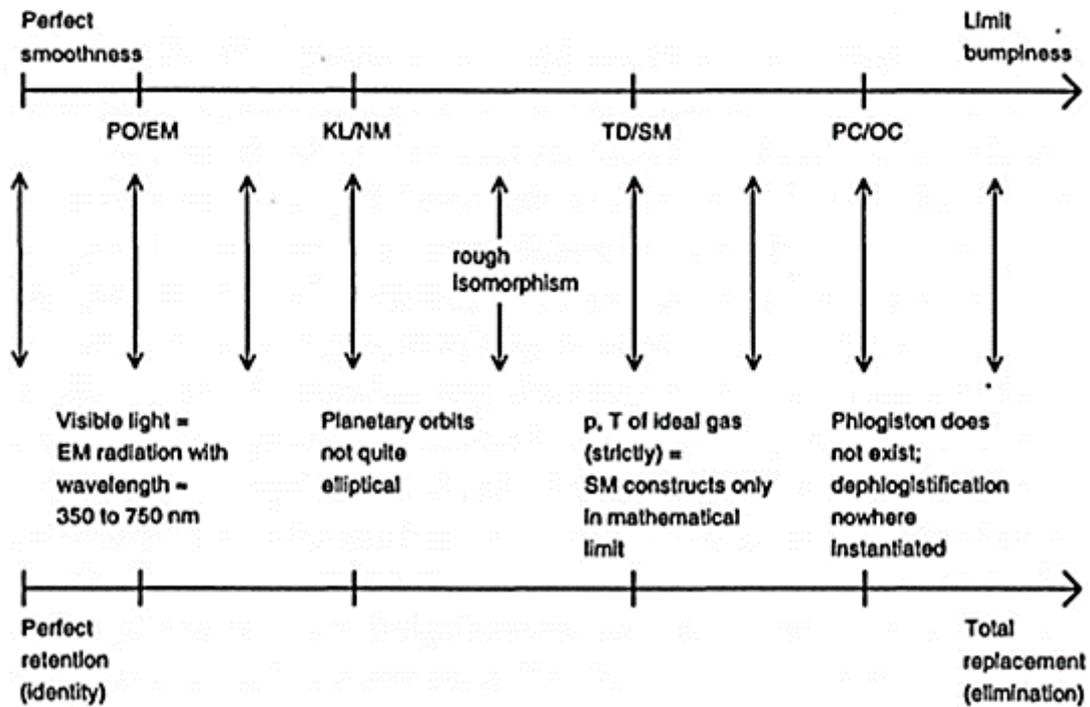
- Revolución con suplantación del núcleo teórico, pero sin inconmensurabilidad (progreso acumulativo con incrustación teórica). La revolución geológica, ya analizada en detalle, constituiría un caso ilustrativo, al igual que la reducción de la teoría planetaria de Kepler a la mecánica newtoniana.
- Revolución con inconmensurabilidad sólo teórica (conmensurabilidad empírica). Casos históricos como la revolución química o en biología permitieron mostrar, entre otras cosas, la existencia de una modalidad exclusivamente teórica de inconmensurabilidad (CAAMAÑO, 2009 y LORENZANO, 2008). En el caso del paso de la teoría del flogisto a la del oxígeno, las subestructuras empíricas de los modelos potenciales son compartidas por ambas teorías, ya que resulta posible determinar la existencia de las sustancias, los agregados, la combustión y el peso sin presuponer ninguna de las dos teorías. Por ello, la inconmensurabilidad entre

ambas es compatible con la comparación entre sus respectivos éxitos y fracasos, en particular, a partir de las aplicaciones intencionales compartidas que constituyen anomalías en la teoría del flogisto (consistentes en el aumento de peso de ciertas substancias al ser quemadas) y no así en la del oxígeno. De forma similar, la teoría mendeliana de la herencia y la genética clásica, a pesar de su inconmensurabilidad teórica, compartirían sus modelos potenciales parciales, determinables a partir de los conceptos como los de individuo, característica y frecuencia relativa de características en descendencia.

- Revolución con inconmensurabilidad teórica total e inconmensurabilidad empírica parcial. Un ejemplo posible todavía no reconstruido podría ser el del concepto de planeta en Ptolomeo y Copérnico respectivamente (FALGUERA & DE DONATO, 2016). Recordemos que, en Ptolomeo, los planetas, o estrellas errantes, se identificaban como aquellos astros que cambiaban su posición con respecto a las estrellas fijas de forma más o menos errática, por lo que la clase de los planetas incluía el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. En Copérnico, sin embargo, los planetas se identifican sólo con los son astros con trayectorias erráticas, pero no con aquellos que exhiben trayectorias regulares al ser observados desde la Tierra, como ocurre en el caso de la Luna y el Sol. En ambos casos los planetas se identifican en el plano empírico como astros errantes con trayectorias observables características con respecto a las estrellas fijas, sin embargo, a consecuencia de las divergencias en los supuestos teóricos asumidos, ciertos rasgos empíricos como la regularidad en la trayectoria pasan a tener importancia en la determinación de lo que se incluye en la clase de los planetas cambiando la constitución previa de dicha clase.
- Revolución con inconmensurabilidad teórica y empírica total. La relación entre la mecánica clásica y la relativista, todavía pendiente de reconstrucción formal, sería un posible ejemplo de este tipo de cambio revolucionario. Un caso polémico e ilustrativo es el de la relación entre la teoría del diseño inteligente de la teología natural y la teoría de la selección natural de Darwin (GINNOBILI, 2014). Como señala Ginnobili, las adaptaciones constituyen, para Darwin, rasgos que cumplen una función de manera efectiva. Ahora bien, dicha función la entiende esencialmente en relación con beneficios reproductivos de individuo o, en última

instancia, del grupo al que el individuo pertenece. En consecuencia, no tendrían cabida rasgos altruistas en beneficio de otra especie o aquellos que contribuyesen a la mejora de un sistema general de economía natural, que son precisamente los que tratan de explicarse como adaptaciones desde la teoría del diseño inteligente de la teología natural. Por ello, el autor concluye que la revolución darwiniana fue más radical que otras revoluciones, al conllevar un cambio revolucionario, no sólo en la biología filogenética, sino también en la biología funcional, es decir, aquella que determina la base empírica de las principales teorizaciones en biología.

De modo análogo a cómo John Bickle despliega el espectro de la reducción interteórica en correspondencia con el espectro de la continuidad ontológica (figura 1, BICKLE, 1998, p. 30), es posible plasmar el espectro revolucionario con suplantación e inconmensurabilidad interteórica en correspondencia con el espectro de la discontinuidad ontológica (figura 2).



Top arrow: the intertheoretic reduction spectrum. Some historical cases are ranked (ordinally) according to the amount of correction to the reduced theory. Bottom arrow: the ontology spectrum. Cross-theoretic ontological consequences affiliated with these historical cases are ranked (ordinally) from retentive to eliminative. PO: physical optics (wave theory of light); EM: Maxwell's electromagnetic theory; KL: Kepler's laws of planetary motion; NM: Newtonian mechanics; TD: classical equilibrium thermodynamics; SM: statistical mechanics (kinetic/corpuscular theory of heat); PC: phlogiston chemistry; OC: oxygen chemistry. (From Bickle 1996.)

Figura 1. El espectro de la reducción interteórica en correspondencia con el espectro de la continuidad ontológica según Bickle.

Como puede verse a continuación, el espectro revolucionario con suplantación e inconmensurabilidad comienza justo en el límite en el que termina el espectro de la reducción en Bickle (1998).

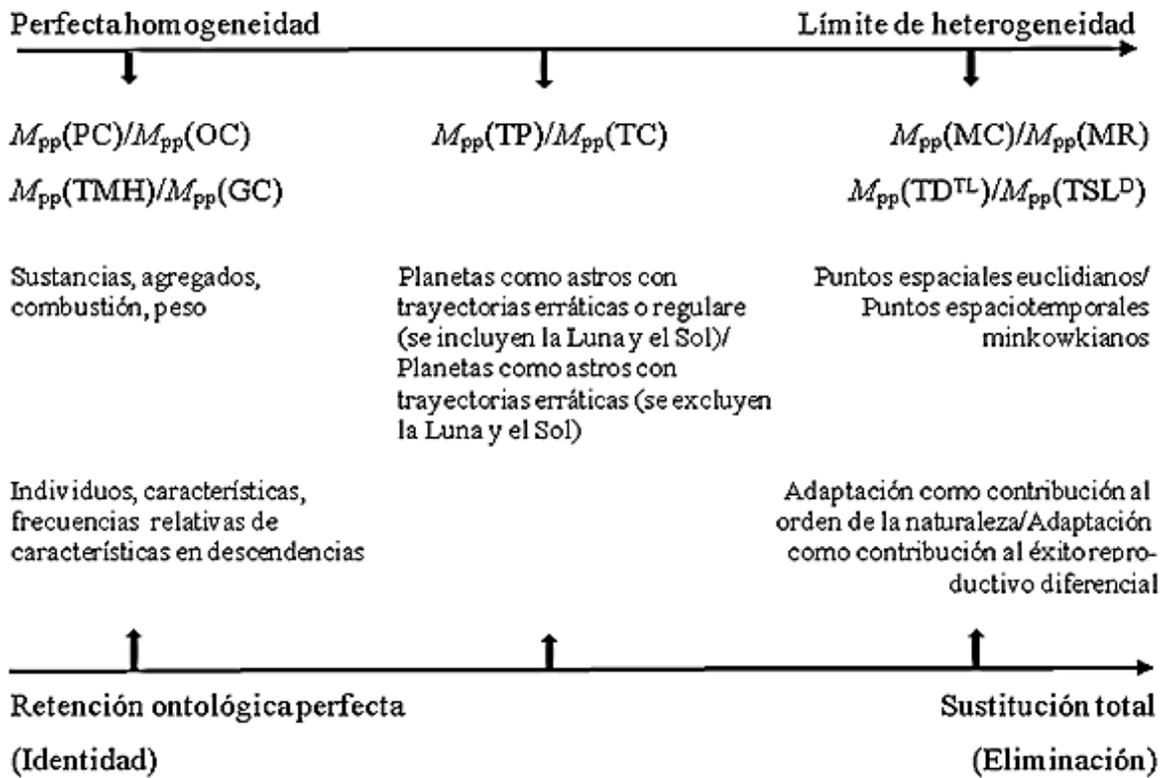


Figura 2. Flecha superior: el espectro de la inconmensurabilidad (grado de calculabilidad de la reducción aplicativa). Flecha inferior: el espectro de la discontinuidad ontológica (grado de discontinuidad ontológica). $M_{pp}(PC)$: clase de los modelos potenciales parciales de la teoría del flogisto; OC : teoría del oxígeno; TMH : teoría mendeliana de la herencia; GC : teoría de la genética clásica; TP : teoría ptolemaica; TC : teoría copernicana; MC : mecánica clásica; MR : mecánica relativista; TD^{TL} : teoría del diseño inteligente de la teología natural; TSL^D : teoría de la selección natural de Darwin.

Conclusiones

La noción kuhniana de revolución científica es más abarcadora y compleja de lo que el propio Kuhn parecía sospechar. No sólo es posible que se produzcan cambios de teoría a la vez revolucionarios y acumulativos, en forma de incrustación teórica, sino que el espectro revolucionario incluye toda una gradación de casos donde tienen cabida conexiones más o menos estrechas entre teorías inconmensurables, desde los casos en que ambas teorías comparten el mismo dominio de aplicación, hasta aquellos en los que la relación entre sus respectivos dominios de aplicación se limita a la presencia de dominios básicos empíricos de la teoría antecesora como subestructuras parciales escalonadas de la teoría sucesora.

Una consecuencia interesante de lo anterior es que el rasgo definitorio de la inconmensurabilidad, a saber, la incompatibilidad conceptual entre teorías y la consiguiente imposibilidad de traducir o ampliar el lenguaje de las teorías antecesoras a

partir del de las sucesoras, es compatible con la vinculación conceptual entre teorías, siendo la naturaleza de dicho vínculo precisable mediante el análisis estructural conjuntista. Aunque muchos de sus críticos no llegaron a explicitarlo suficientemente, era común a la posición de Feyerabend y Kuhn el aceptar la comparabilidad conceptual, metodológica y pragmática entre teorías inconmensurables, negando sólo su comparabilidad en términos de contenido de verdad. Ciertamente, ellos mismos no llegaron a desarrollar una propuesta articulada y precisa sobre las condiciones de posibilidad para la comparabilidad conceptual. La tesis de la inconmensurabilidad, en cuanto tesis acerca de la intraducibilidad entre los lenguajes objeto de distintas teorías científicas, sólo puede establecerse en un metalenguaje en el que se determine dicha intraducibilidad entre los respectivos lenguajes objeto. El lenguaje conjuntista en el que se reconstruyen estructuralmente las relaciones interteóricas sirve como metalenguaje en el que definir la relación semántica de inconmensurabilidad. La disposición de este metalenguaje evita los absurdos provocados por el intento de expresar una teoría en términos de otra inconmensurable con ella. Tanto la compatibilidad como la incompatibilidad conceptuales, necesarias para captar adecuadamente el espectro de la inconmensurabilidad, son determinables en dicho metalenguaje.

La imagen del desarrollo teórico en ciencia que emerge del anterior análisis mantiene, para los casos de inconmensurabilidad, el carácter conceptualmente discontinuo y veritativamente no acumulativo del progreso científico teórico ya enfatizado por los autores historicistas, si bien lo hace compatible con la conectabilidad conceptual mediante ciertas relaciones extensionales parciales de constitución entre conceptos pertenecientes a teorías sucesivas.

REFERENCIAS

BALZER, W.; MOULINES, C. U. & J. D. SNEED. **An architectonic for science. The structuralist program.** Dordrecht: Reidel, 1987.

BARRELL, J. The Strength of the Earth's Crust. **Journal of Geology**, v. 22, n. 4, p. 289–314, 1914.

BICKLE, J. **Psychoneural Reduction. The New Wave.** Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1998.

BIRD, A. **Philosophy of Science.** London: UCL Press, 1998.

CAAMAÑO ALEGRE, M. A Structural Analysis of the Phlogiston Case. **Erkenntnis**, v. 70, n. 3, p. 331-364, 2009.

_____. Drift Theory and Plate Tectonics: A Case of Embedding in Geology. **Foundations of Science**, v. 23, n. 1, p. 17–35, 2018.

COHEN, I. B. The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution. **Journal of the History of Ideas**, v. 37, n. 2, p. 257-288, 1976.

_____. Continental Drift and Plate Tectonics: A Revolution in the Earth Science. En COHEN, I. B. **Revolution in Science**. Cambridge: Harvard University Press, 1985/2001, pp. 446-466.

DALY, R. A. **Strength and Structure of the Earth**. New York: Prentice-Hall, 1940.

DASTON, L. History of Science without Structure. En RICHARDS, R. J. & L. DASTON (eds.). **Kuhn's Structure of Scientific Revolutions at Fifty: Reflections on a Science Classic**. Chicago: University of Chicago Press, 2016, pp. 115-132.

DUHEM, P. **The Aim and Structure of a Physical Theory**. Princeton: Princeton University Press, 1908/1991.

FALGUERA, J. L. Del holismo semántico moderado en la concepción estructuralista. **Ágora: Papeles de Filosofía**, v. 13, n. 2, p. 39-72, 1994.

FALGUERA, J. L., & X. DE DONATO. Incommensurability, Comparability, and Non-reductive Ontological Relations. **Journal for the General Philosophy of Science**, v. 47, n. 1, p. 37-58, 2016.

FEYERABEND, P. K. Explanation, Reduction, and Empiricism. En FEYERABEND, P. K. **Realism, Rationalism and Scientific Method. Philosophical Papers. Vol. I**, Cambridge: Cambridge University Press, 1962/1981, pp. 44-96.

_____. Changing Patterns of Reconstruction. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 28, n. 4, p. 351-369, 1977.

FRISCH, W.; MESCHEDE, M. & R. BLAKEY. **Plate Tectonics: Continental Drift and Mountain Building**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011.

GÄHDE, U. & W. STEGMÜLLER. An Argument in Favor of the Duhem-Quine Thesis: From the Structuralist Point of View. En HAHN, L. E. & P. A. SCHILPP (eds). **The Philosophy of W. V. O. Quine**. La Salle: Open Court, pp. 117-136, 1986.

GINNOBILI, S. La inconmensurabilidad empírica entre la teoría de la selección natural darwiniana y el diseño inteligente de la teología natural. **Theoria**. v. 29, n.3, p. 375-394, 2014.

HANSON, N. R. **Patterns of Discovery – An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: The University of Chicago Press, 1962/1970.

KUHN, T. S. Theory Change as Structure-Change: Comments on the Sneed Formalism. **Erkenntnis**, v. 10, n. 2, p. 179-199, 1976.

_____. What Are Scientific Revolutions? En CONAT, J. & J. HAUGELAND (eds.). **The Road since Structure: Philosophical Essays**. Chicago: The University of Chicago Press, 1981/2000, pp.13-32.

_____. Commensurability, Comparability, Communicability. **Philosophy of Science**, v. 1982, n. 2, p. 669-688, 1982.

_____. Afterwords. En HORWICH, P. (ed.). **World Changes: Thomas Kuhn and the nature of science**. Massachusetts: The MIT Press, 1993, pp. 311-341.

LAUDAN, R. The Recent Revolution in Geology and Kuhn's Theory of Scientific Change. **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**, v. 2 (Symposia and Invited Papers), p. 227-239, 1978.

LORENZANO, P. Inconmensurabilidad teórica y comparabilidad empírica: el caso de la genética clásica. **Análisis Filosófico**, v. 28, n. 2, p. 239-279, 2008.

MOULINES, C. U. Ontological Reduction in the Natural Sciences. En BALZER, W.; PEARCE, D. & H-J. SCHMIDT (eds.). **Reduction in Science**. Dordrecht: Reidel, 1984, pp. 51-70.

_____. Is There Genuinely Scientific Progress? En JONKISZ, A. & L. KOI (eds.). **On Comparing and Evaluating Scientific Theories**. Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, 72, 2000, pp. 173-197.

_____. The Crystallization of Clausius's Phenomenological Thermodynamics. En HÜTTEMANN, A. & G. ERNST (eds.). **Time, Chance, and Reduction: Philosophical Aspects of Statistical Mechanics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, pp.139-158.

_____. Cuatro tipos de desarrollo teórico en las ciencias empíricas. **Metatheoria**, v. 1, n. 2, p. 11–27, 2011.

ORESQUES, N. From Continental Drift to Plate Tectonics. En ORESQUES, N. & H. LE GRAND (eds.). **Plate Tectonics: An Insiders' History of the Modern Theory of the Earth**. Boulder: Westview Press, 2003, pp. 3-27.

PEROVICH, A. N. Incommensurability, Its Varieties and Its Ontological Consequences. En MUNÉVAR, G. (ed.). **Beyond Reason. Essays on the Philosophy of Paul K. Feyerabend**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers: 1991, pp. 313-328.

QUINE, W. V. O. **Word and Object**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press, 1960.

STEGMÜLLER, W. **The Structure and Dynamics of Theories**. New York: Springer-Verlag, 1976.

WORRALL, J. Normal Science and Dogmatism, Paradigms and Progress: Kuhn ‘versus’ Popper and Lakatos. En NICKLES, T. (ed.). **Thomas Kuhn**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, pp. 65-100.