

# ¿PUEDE LA CIENCIA DECIDIR EL RESULTADO DEL DEBATE REALISMO-ANTIRREALISMO? EL PAPEL DE LOS MODELOS Y LAS TEORÍAS EN LA METODOLOGÍA DE LA FÍSICA\*

CAN SCIENCE DECIDE THE RESULT OF THE DEBATE REALISM-ANTIREALISM?  
THE ROLE OF MODELS AND THEORIES IN THE METHODOLOGY OF PHYSICS

ANDRÉS RIVADULLA RODRÍGUEZ

Universidad Complutense de Madrid, España. discufilo@ucaldas.edu.co

RECIBIDO EL 14 DE AGOSTO DE 2011 Y APROBADO EL 3 DE OCTUBRE DE 2011

## RESUMEN ABSTRACT

La pregunta que da título a este artículo puede resultar chocante. Sin embargo, la cuestión no resulta tan fácil, si nos percatamos que este debate es una controversia típica de la filosofía de la ciencia. Para llevar a cabo mi tarea, comenzaré con una referencia a Paul Thagard, procedente de su libro *Filosofía computacional de la ciencia*. De hecho Thagard, me permite acotar el debate entre el realismo científico típico y el realismo estructural, una nueva forma de realismo científico que procede de John Worrall a finales de los años 80, y de si éste es capaz de sobrevivir a los ataques desde posiciones antirrealistas. John Worrall se autoproclamó como una alternativa al realismo científico típico al tiempo que una forma viable de realismo. Pero, si las tesis fundamentales del realismo estructural son falsas, como trataré de mostrar en las siguientes páginas apoyándome en las teorías físicas, cabe concluir que el intento por parte del realismo estructural de resucitar al realismo, ha fracasado.

The question that gives title to this article can be shocking. However, it is not an easy question if we realize that this debate is a dispute typical of the philosophy of science. To carry out my task, I will begin with a reference to Paul Thagard, from his book *Computational philosophy of science*. In fact, this will allow me to focus in the debate between typical scientific realism and structural realism, a new form of scientific realism that comes from John Worrall in the late 80's, and to explore whether it is able to survive the attacks from anti-realist positions. John Worrall proclaimed himself as an alternative to typical scientific realism while a viable form of realism. But if the basic tenets of structural realism are false, as I shall try to show based in the physical theories, we have to conclude that the attempts of structural realism to resurrect realism have failed.

## PALABRAS CLAVE KEY WORDS

Ciencia, física, modelos y teorías, realismo-antirrealismo, realismo típico, realismo estructural.

Science, physics, models and theories, realism-antirealism, typical realism, structural realism.

\* Proyecto FFI2009-10240 financiado por el MICINN del Reino de España. Grupo Complutense de Investigación 930174 y Acción Integrada AIB2010PT-00106.

## Introducción

La pregunta que da título a este artículo puede resultar chocante. En efecto, lo que a cada uno de nosotros le viene primero a la cabeza, es la idea que sería impensable que la ciencia no estuviese en condiciones de decidir el resultado del debate realismo-antirrealismo, gracias a que la ciencia sería precisamente la única instancia que debería poder hacerlo.

La cuestión no resulta tan fácil, si nos percatamos que el debate realismo antirrealismo es una controversia típica de la filosofía, eso sí, de la filosofía de la ciencia. Lo cual complica una cosa, que el debate en cuestión se entiende como la polémica entre realismo científico y antirrealismo, antirrealismos, instrumentalismo, empirismo constructivo, entre otros; que son junto al realismo científico, interpretaciones epistemológicas de la actividad científica. Dicho de otro modo: el pensar filosófico sobre la ciencia, ha dado lugar a interpretaciones enfrentadas -realistas y antirrealistas-, y lo que se plantea en la pregunta inicial, es si la ciencia es capaz de disolver un debate que ella misma ha suscitado. Obviamente, la solución sólo puede consistir en decantarse por una de las interpretaciones epistemológicas contrapuestas, la cual sería la 'verdadera' epistemología de la ciencia, mientras que la otra sería la errónea.

Ahora bien, tratándose el realismo y el (o los) antirrealismo(s) de posiciones metateóricas, la solución del debate sólo puede basarse en la fuerza de los argumentos presentados, debido a que una referencia directa a hechos o una base empírica no es posible. Para llevar a cabo mi tarea, comenzaré con una referencia a Paul Thagard, procedente de su libro *Filosofía computacional de la ciencia*. Esto también quiere ser chocante, aunque es una circunstancia anecdótica en la presentación del problema. Pero, además, tiene como segunda intención mostrar que el debate en torno al realismo impregna campos aparentemente alejados de la filosofía académica. De hecho Thagard, defendiendo una posición de realismo científico, presenta en forma espléndidamente resumida las opciones contemporáneas en torno al realismo: el realismo científico, el antirrealismo, y el semirrealismo o semiinstrumentalismo de Hacking y Cartwright. Permitiéndome acotar sobre aquello de lo que me quiero ocupar: el debate entre el realismo científico típico y el realismo estructural, una nueva forma de realismo científico que procede de John Worrall a finales de los años 80, y de si éste es capaz de sobrevivir a los ataques desde posiciones antirrealistas. Este *realismo estructural* no está

contemplado en el mapa que detalla Thagard, precisamente porque aún estaba por nacer.

No obstante, como el realismo estructural se postula como una alternativa viable al realismo científico típico, sería metodológicamente impropio tratar de presentar las tesis fundamentales del realismo estructural sin perfilarlas sobre el trasfondo del realismo científico típico, la forma de realismo científico por antonomasia, que tiene en su haber un buen número de filósofos prestigiosos, que han creado escuela, de la filosofía actual de la ciencia. De lo que se trata entonces es, primero, de caracterizar al realismo científico típico, defendiendo el punto de vista del sentido común, en el cual el realismo de teorías implica el de entidades, pero no al revés. O sea, que mientras se puede ser realista respecto a entidades, es posible también ser antirrealista respecto a teorías.

Por tal motivo, presento toda una serie de definiciones de realismo científico típico con el único objeto de mostrar diferentes enfoques del realismo por parte de realistas declarados. No están ordenadas cronológica ni sistemáticamente. Y por supuesto sería imperdonable no destacar la fuente de la que surge el realismo científico contemporáneo. Para ello, recorro en primer lugar al famoso *argumento metaabductivo del no milagro* de Hilary Putnam y Richard Boyd, y seguidamente al mismo argumento abductivo a favor del realismo científico que ofrece Thagard en su libro ya citado. Para mostrar que se trata de un argumento abductivo acompaño el argumento de Thagard con el esquema lógico de razonamiento abductivo que incluye Charles Peirce. Si se compara éste, punto por punto con el argumento de Thagard, se ve que el argumento de Thagard a favor del realismo es genuinamente abductivo. Por eso los realistas contemporáneos defienden el realismo científico en base al argumento metaabductivo o gran abductivo del no milagro. Todos lo hacen. Tal vez el último de ellos, por mencionar uno reciente, Stathis Psillos (2009).

Pero, como no puede haber un argumento sin contraargumento, debo plantear a continuación el contraargumento de Larry Laudan, conocido como *inducción pesimista*, que, para los antirrealistas resulta decisivo en su disputa con el realismo científico. De hecho, cuando Arthur Fine (1984), sentencia que el realismo ha muerto, lo hace basándose sobre todo en la metainducción pesimista de Laudan: si nuestras teorías precedentes han sido mostradas falsas, ¿por qué no pensar que nuestra teorías actuales también puedan ser demostradas falsas en un futuro?

Por tanto, aquí debe aparecer la necesaria referencia al realismo estructural de John Worrall, debido a que éste acepta la metainducción pesimista de Laudan, reconociendo la amenaza que supone para el realismo científico, y pretendiendo crear un nuevo realismo científico, el estructural, libre de dicha amenaza. Por eso, es necesario preguntarse si el realismo estructural es la tercera vía entre el realismo científico (muerto) y el instrumentalismo. Así, expongo lo que denomino *los dos dogmas del realismo estructural* (cfr. Rivadulla 2010a), y analizo ambas tesis o dogmas para ver si son viables. Escudriño con todo detalle la segunda tesis, centrándome en la pregunta acerca de si todas las situaciones en que constamos cambio teórico con preservación de estructuras se producen pasos al límite, debido a que ésta parece ser una tesis clave del realismo estructural de Worrall.

Enlazo seguidamente la idea de preservación de estructuras con la de 'explicación teórica', tal como he definido en otras partes (cfr. Rivadulla 2004); observando que Newton explica la leyes empíricas de Kepler, sin necesidad de tomar ningún paso al límite. O sea, que las leyes de Kepler se derivan de las de Newton sin la necesidad de tomar paso al límite. La segunda Ley de Kepler dice que la velocidad areolar de un planeta alrededor del Sol (área recorrida por un planeta alrededor del Sol) es constante, mientras que la primera ley, la del carácter elíptico de las órbitas planetarias, responde al hecho que la fuerza gravitatoria que actúa entre dos cuerpos celestes es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

La siguiente explicación teórica con la que me confronto, que también supone una recuperación o preservación de estructura, es decir, de ecuación, sin necesidad de tomar ningún paso al límite, es la derivación matemática de la ley de Stefan de la radiación del cuerpo negro: la energía total emitida por unidad de volumen por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. Esta ley empírica de Stefan es deducida (*preducida*)<sup>1</sup> matemáticamente por Boltzmann con posterioridad, y sin necesidad de tomar ningún paso al límite. Otro ejemplo es el de la recuperación de la fórmula empírica de Balmer del espectro del Hidrógeno en el contexto de la física atómica de Bohr, también sin necesidad de recurrir a ningún paso al límite. Todos estos ejemplos ponen de manifiesto que efectivamente hay mucha preservación o recuperación de estructuras en física teórica, pero, en

---

<sup>1</sup> Sobre el concepto de producción teórica, cfr. Rivadulla (2010b).

contra de lo que parece sugerir Worrall, no tiene que haber siempre pasos al límite o aplicación de principios de correspondencia.

Ahora bien, por supuesto que hay preservación de estructuras recurriendo a tomar límites. Así, por ejemplo, la fórmula de la energía cinética clásica se recupera de la fórmula de la energía cinética relativista, tomando el límite:  $v/c \rightarrow 0$ , es decir, cuando la velocidad de los objetos es muy pequeña comparada con la velocidad de la luz, así se muestra que la mecánica clásica se deriva de la cuántica cuando el número cuántico  $n$ , que denota niveles de energía, es muy alto, lo que corresponde a que la constante de Planck  $h \rightarrow 0$ . Sin embargo, esto plantea un problema muy serio desde mi punto de vista: primero, que  $c$  físicamente no es infinito, que es lo que implica  $v/c \rightarrow 0$ , debido a que ya sabemos que es finito, y además tiene un valor casi ridículo comparado con la edad y las dimensiones del universo. Por otra parte, si en una fórmula cuántica hacemos  $h \rightarrow 0$ , entonces la fórmula deja de ser cuántica. O sea, que estas estrategias de tomar  $c=\text{infinito}$  ó  $h=0$  son meras prácticas matemáticas para hacer entrar en relación a la física clásica con la física moderna. Pero, ciertamente ¡la naturaleza prohíbe que  $c=\text{infinito}$  y  $h=0$ !

Por tal motivo, presentaré otro ejemplo para ver hasta qué punto la idea de tomar límites puede tener consecuencias catastróficas. Lo hago de la forma siguiente: es verdad que la ley de Rayleigh-Jeans de la radiación del cuerpo negro, que es empíricamente exitosa para radiaciones de longitud de onda larga y, por tanto, frecuencias cortas, no es válida para radiaciones de frecuencia muy alta y, por tanto, longitudes de onda corta. Es lo que se conoce como catástrofe del ultravioleta, y lo expresa claramente el resultado, que la integral de la energía de la fórmula de Rayleigh-Jeans diverge (se va a infinito) cuando integramos para todas las frecuencias. Así, la fórmula de Rayleigh-Jeans, que está obviamente empíricamente refutada, se obtiene también a partir de la fórmula de Planck de la ley de la Radiación del cuerpo negro, cuando en ella tomamos el límite  $h=0$ . O sea, que según la teoría de Worrall, la ley de Planck preservaría o recuperaría a la ley de Rayleigh-Jeans, haciendo  $h=0$ . Pero claro, el problema es que si esto es así, entonces la fórmula de Planck quedaría también automáticamente refutada, y como resulta que la fórmula de Planck se deriva a su vez en el contexto de la Mecánica Estadística Cuántica de Bose-Einstein, la cadena de refutaciones podría conducirnos a situaciones embarazosas.

La conclusión de todo lo anteriormente expuesto, es que la tesis o dogma de la existencia de preservación de estructuras por aplicación de principios de correspondencia o pasos al límite es hartamente cuestionable.

No digamos ya la primera tesis del realismo estructural, según la cual las ecuaciones de las teorías físicas representan correctamente relaciones reales en el mundo. ¿Cómo se puede justificar tal cosa? ¿Qué diferencia de justificación hay entre afirmar esto y afirmar que las teorías científicas, dado lo exitosas que son, son al menos parcialmente verdaderas, que es lo que mantienen los realistas científicos típicos? Y la cosa llega ya a una situación estrambótica si, como mantiene la versión *óptica* del realismo estructural, ¡las estructuras son existentes por sí, incluso si son estructuras sin relata!

En fin, que si Fine anunció la muerte del realismo científico típico, el realismo científico estructural no parece capaz de resucitar al realismo científico. El realismo está, *ergo*, muerto.

Es cierto que no justifico detenidamente por qué el realismo científico típico está muerto. Prácticamente me limito a enlazar con la idea de Laudan-Fine, que comparto. Pero señalo aquí al menos que un argumento devastador para el realismo científico típico es la incompatibilidad entre teorías que se van sucediendo en el tiempo. Si bien esto es tema de otro artículo, aunque en Rivadulla (2004) lo desarrollo ampliamente.

### **Realismo científico típico. Éxitos y dificultades**

Paul Thagard (1988 145) define el *realismo científico* como “la doctrina de la investigación científica que conduce a la verdad”. Su propia posición es la de un realismo científico hecho y derecho sobre teorías y entidades teóricas.

Thagard constata la controversia epistemológica existente entre:

a. los *realistas científicos* que mantienen que la meta de la ciencia es la verdad y que la ciencia al menos alcanza verdades aproximadas,

b. aquellos que mantienen que la ciencia sólo persigue el éxito instrumental (*instrumentalismo*), o que las teorías sean empíricamente adecuadas con respecto a fenómenos observables (*empirismo constructivo de Van Fraassen*),

c. y una tercera posición, híbrida, que apoya el realismo de entidades teóricas, pero no de leyes teóricas (*realismo experimental de Cartwright y Hacking*).

Esta constatación permite hacernos a una buena idea de la situación del debate epistemológico hasta finales de la década de los ochenta, que es cuando hace su aparición el *realismo científico estructural*, cuya viabilidad va a ser objeto de investigación en la siguiente sección de este artículo, debido a que el realismo estructural se presenta como una alternativa viable al realismo científico típico.

Conviene, por ende, preceder este análisis de una presentación, aunque sea somera, del realismo científico típico, de sus argumentos principales y de las dificultades con que se ha encontrado.

El realismo científico (típico) mantiene en términos generales que las teorías de la ciencia son intentos de describir y explicar la realidad de forma precisa, y su aceptación descansa en la creencia que tales teorías son (al menos) aproximadamente verdaderas. Obviamente, si uno acepta este punto de vista, también conocido como realismo de teorías, entonces se ve abocado a sostener también el realismo de entidades, según el cual las entidades teóricas que usan las teorías refieren empíricamente, e. d. estas entidades constituyen elementos de realidad del mundo natural. Y lo que esto supone es que el realismo de teorías implica el de entidades, pero no a la inversa.

Numerosos ejemplos de realismo científico típico pueden ser traídos a colación para corroborar lo dicho. Y lo voy a hacer sin un orden preconcebido, ni siquiera cronológico. Obviamente, no están todos los que son, pero sí son todos los que están.

Así, podemos comenzar con el *realismo convergente* de Hilary Putnam de los años setenta, cuyas tesis fundamentales son las siguientes:

i) los enunciados de la ciencia son verdaderos o falsos, aunque a menudo no sepamos cuál es el caso; ii) existen las cosas designadas por las entidades teóricas, y una explicación natural del éxito de las teorías es que constituyen descripciones parcialmente verdaderas; iii) si una teoría  $T_1$  hace predicciones falsas en determinadas áreas, para que la teoría sustitutoria  $T_2$  tenga posibilidades de ser verdadera, entonces  $T_1$ , juzgada desde  $T_2$ , debe ser aproximadamente verdadera. [Aquí está expresada con toda claridad la idea realista típica de convergencia a la verdad].

Stathis Psillos (1999 xix) caracteriza por su parte el realismo por medio de las tesis siguientes:

- onto-metafísica: existen en el mundo géneros naturales independientes de la mente.
- semánticas: las teorías científicas son descripciones susceptibles de ser verdaderas o falsas, tanto sobre la parte observable, como sobre la no observable de sus dominios. Los términos teóricos de las teorías científicas refieren. Las afirmaciones teóricas de las teorías científicas no son totalmente reducibles a afirmaciones acerca de observables.
- epistémica: estamos justificados a creer que las teorías científicas maduras, empíricamente exitosas y bien confirmadas, son aproximadamente verdaderas, y que las entidades postuladas por ellas habitan el mundo.

Del creador del realismo científico contemporáneo Karl Popper, podemos traer a colación un gran número de citas. Valga como muestra la siguiente:

la discusión crítica justifica la afirmación de que la teoría en cuestión es la mejor disponible, o, con otras palabras, la que más se acerca a la verdad. [...] comparando las teorías intentamos hallar la que consideramos que se acerca más a la verdad (desconocida). Así pues, la idea de verdad (de verdad 'absoluta') juega un papel muy importante en nuestra discusión. Es nuestra principal idea regulativa. Aunque nunca podemos justificar la afirmación de haber alcanzado la verdad, con frecuencia damos razones muy buenas, o justificación, de por qué una teoría debería ser considerada que está más próxima a ella que otra. (Popper 161)

Otro ejemplo de realismo científico típico es el que denomino realismo de *inducción optimista* de Philip Kitcher (2001):

Siempre que en la historia de la ciencia ha habido en un campo de estudio una secuencia de teorías  $T_1, \dots, T_n$  (...) tal que para cada  $i$ ,  $T_{i+1}$  se ha considerado superior a  $T_i$ , entonces, para cada  $j$  mayor que  $i+1$ ,  $T_{i+1}$  parece más cercana a la verdad que  $T_i$  desde la perspectiva de  $T_j$  (...) Así, podemos esperar que a nuestros sucesores nuestras teorías les parecerán más cercanas a la verdad que las teorías de nuestros predecesores. (135-136)

Esta versión de realismo científico es ampliamente coincidente en su optimismo con el de Lawrence Sklar (2000):

Nosotros no creemos ahora que en el futuro creeremos que nuestras mejores teorías actuales serán verdaderas. Pero sí que podemos creer ahora, y con buenas razones, que ahora estamos autorizados a creer que nuestras teorías presentes están 'en la vía de la verdad' y que en el futuro serán contempladas como 'habiendo estado en la dirección correcta'. (87-88)

La cuestión que debe interesarnos, a la vista de tantas adhesiones al realismo científico, es en general cuál es el argumento en que se apoya el realismo científico típico. Hoy en día, no hay ninguna duda de que tal argumento no es otro que el argumento *abductivo* (propriadamente, *metaabductivo*) de Putnam-Boyd del *no-milagro*. Propuesto originariamente por Hilary Putnam (1975), quien afirma:

The positive argument for realism is that it is the only philosophy that doesn't make the success of science a miracle", y en (1978: 18) Putnam insiste en que "the typical realist argument against idealism is that it makes the success of science a *miracle*. (73)

En palabras de Richard Boyd (1984) este argumento afirma, que: "*If scientific theories weren't (approximately) true, it would be miraculous that they yield such accurate observational predictions*" (43).

Precisamente Paul Thagard (1988), argumenta en forma típicamente abductiva a favor del realismo científico:

1. La verdad es considerada una propiedad de las teorías científicas.
2. Pero si se acepta el realismo, entonces hay que suponer que se puede decir que las teorías científicas son verdaderas.
3. En conclusión no hay razón para no considerar que la verdad es también una propiedad de una teoría metafísica tal como el realismo (149-150).

Argumento que se corresponde punto por punto con el esquema de razonamiento abductivo propuesto por Charles S. Peirce, en sus *Collected Papers*:

El hecho sorprendente *C* se ha observado.  
Pero si *A* fuera verdadera, por supuesto se daría *C*.  
Luego hay razón para sospechar que *A* es verdad. (189)

Es fácil constatar que *C* corresponde al contenido de 1 y al consecuente de 2, que el antecedente de 2 corresponde en el argumento de Peirce al antecedente de la segunda premisa, y que la conclusión 3, corresponde a la conclusión de Peirce. La única diferencia reside en que mientras Peirce se mueve a nivel del lenguaje objeto: se refiere a hechos y teorías, el argumento de Thagard, se sitúa a nivel meta-metodológico. Se trata de una abducción de segundo orden. Por medio de esta abducción no se establece una hipótesis científica concreta, sino una metateoría, como es el realismo científico. El argumento del no milagro es un argumento metaabductivo o abductivo de segundo orden.

Ahora bien, la fuerza de convicción que posee este argumento, que es aquella por lo cual los realistas científicos lo son, se ve contrarrestada, a juicio naturalmente de los no realistas, por el argumento más fuerte en contra del realismo científico: la *meta-inducción pesimista* de Larry Laudan (1981-1984). En varios pasos el argumento es el siguiente:

1) *“puede haber (y ha habido) teorías altamente exitosas algunos de cuyos términos centrales no refieren”*.

3) *“un realista nunca desearía decir que una teoría era aproximadamente verdadera, si sus términos centrales erraban la referencia”*.

O sea, *es razonable pensar que ni todos los términos de nuestras teorías actuales refieren empíricamente, ni que nuestras propias teorías actuales son verdaderas*.

2) *“parte del éxito histórico de la ciencia ha sido el éxito mostrado por teorías cuyos términos centrales no referían”*.

4) *“una teoría puede ser empíricamente exitosa aunque no sea aproximadamente verdadera”*.

O sea, *la verdad no es necesaria en la ciencia*.

Si nos conformamos con el éxito, no precisamos de la verdad. Y no parece que la búsqueda de verdad sea una buena guía en la práctica de la ciencia, dado que la historia de ésta, está llena de teorías fracasadas.

¿Qué garantías tenemos entonces -contra los realismos optimistas de Kitcher y Sklar- que nuestras teorías actuales puedan ser ni siquiera aproximadamente verdaderas?

### **¿Es el *realismo estructural* la tercera vía?**

¿Hay una forma razonable de realismo científico capaz de superar las dificultades del realismo científico típico, e. d. que no sucumba ante la metainducción pesimista? La respuesta de John Worrall (1989), siguiendo a Poincaré, se denomina *realismo estructural*. Sostengo (cfr. Rivadulla 2010a) que dos son las tesis fundamentales (¿dogmas?) del realismo estructural:

Primera: frente a la tesis del realismo científico típico que las teorías, que se sirven de términos teóricos empíricamente referenciales, son descripciones aproximadamente verdaderas de la realidad, el realismo estructural afirma que las estructuras teóricas son las que describen el mundo. (Esto evitaría la impresión de que el éxito de la ciencia es cosa de milagro: ¡Se trataría nada menos que de estructuras del mundo!).

Segunda: el cambio teórico preserva, retiene, estas estructuras. (Esto evitaría la meta-inducción pesimista: ¡Hay algo que explica la preservación del éxito empírico!).

Analícemos primero la segunda tesis (dogma) del realismo estructural: *Existe retención o preservación de estructura en todo cambio teórico.*

Según Worrall (1989-1996):

el patrón común es que las ecuaciones antiguas reaparecen como *casos límite* de las nuevas ...las nuevas tienden a las antiguas cuando cierta cantidad tiende a cierto límite. La regla en la historia de la física parece ser que, cuando una teoría sustituye a una predecesora, que sin embargo ha gozado de genuino éxito predictivo, entonces actúa el 'principio de correspondencia'. Éste requiere que las *ecuaciones matemáticas* de la teoría antigua reemerjan como casos límite de las ecuaciones matemáticas de las nuevas.  
(20)

La cuestión a analizar entonces es: ¿en verdad son todas las situaciones de cambio teórico ejemplos de casos límite, p. e. cuando  $v/c \rightarrow 0$ , en teoría de la relatividad, ó  $h \rightarrow 0$ , en física cuántica?

Albert Einstein (1917 §22) sostenía que el objetivo más importante de una teoría física es apuntar al establecimiento de una teoría más comprensiva en cuyo seno aquélla sobreviviría como un caso límite. Siguiendo su estela, Karl Popper (1982) llegó incluso a traspasar los límites de su proclamado realismo científico cuando reconoció que:

la teoría de Einstein ...ha mostrado que la de Newton ...*puede* ser sustituida por una teoría alternativa de mayor alcance y relacionada con ella de forma que todo éxito de la teoría newtoniana lo es también de ella... Así, para mí esta situación lógica es más importante que la cuestión acerca de cuál de las dos teorías constituye la mejor aproximación a la verdad. (29-30)

Paralelamente, el propio Einstein (1927) observó la siguiente relación entre las teorías planetarias de Kepler y Newton:

Newton sólo tenía ante sí las leyes empíricas de Kepler sobre el movimiento planetario, deducidas de las observaciones de Tycho Brahe y esas leyes exigían explicación. ...Es bien cierto que estas leyes brindaron una respuesta completa a la pregunta de *cómo* se mueven los planetas en torno al Sol... Pero estas normas no aportan una explicación causal. Son tres reglas lógicamente independientes que no revelan ninguna conexión interna entre sí. (227)

Parece obvio que si las leyes de los movimientos planetarios de Kepler son *explicables* desde la mecánica newtoniana es porque son *recuperables* desde ésta. Como digo en Rivadulla (2005), y es mi tesis en (2004): "*un constructo físico recibe una explicación teórica cuando puede ser deducido matemáticamente en el marco de otro constructo más general*" (169). En general, el caso es que esto no requiere la aplicación de ningún principio de correspondencia, esto es, ningún paso al límite. Veamos algunos ejemplos de explicaciones teóricas sin aplicación de ningún principio de correspondencia.

***La explicación newtoniana de las leyes empíricas de Kepler:*** Johannes Kepler había obtenido sus leyes de los movimientos planetarios vía

observacional, es decir, de modo puramente empírico o fenomenológico, está fuera de discusión. La segunda ley afirma que el radio vector de todo planeta sometido a una fuerza central barre áreas iguales en tiempos iguales. Por tanto, por pura geometría y aplicación de conservación del momento angular obtenemos:

$$dS/dt = 1/2r^2 d\theta/dt = 1/2cte = cte.$$

La primera ley asevera por su parte que la fuerza centrípeta que obliga a un planeta a desplazarse alrededor del Sol describiendo una elipse es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a él. En efecto, por la segunda ley anterior, más la teoría de cónicas y otros principios, se concluye que:  $F \propto -1/r^2$ .

**Explicación electromagnética de Boltzmann de la ley de Stefan de la radiación de un cuerpo negro:** Joseph Stefan había obtenido empíricamente en 1879 que la densidad total de energía radiada por un cuerpo negro venía dada por  $E \propto T^4$ . En 1884 Ludwig Boltzmann, aplicando un *razonamiento preductivo*<sup>2</sup>, combinó el primer principio de la termodinámica clásica con las relaciones termodinámicas de Maxwell y la ecuación de la presión de un gas de radiación electromagnética, para obtener la ecuación  $dE/E=4dT/T$ , que, integrando, nos da la solución de Stefan:  $E \propto T^4$ .

**Explicación de Bohr de la fórmula empírica de Balmer en el marco de la teoría cuántica primitiva:** Johannes Balmer había obtenido empíricamente en 1885 la fórmula para la distribución de las rayas espectrales del átomo de hidrógeno:

$$v = cte(1/4 - 1/n^2) \quad n \geq 3$$

Niels Bohr, dio en 1913 la primera explicación teórica de la fórmula de Balmer para el átomo de hidrógeno (cfr. Rivadulla 2003 §5):

$$v = cte(1/n_f^2 - 1/n_i^2) \quad n_f = 2$$

Estos tres ejemplos de *explicaciones teóricas sin principio de correspondencia*, en los que se produce retención de estructura, muestran que no toda preservación de estructura implica un paso al límite necesariamente.

<sup>2</sup> Sobre las características del razonamiento *preductivo* cfr. A. Rivadulla (2010b).

Afirmado esto, lo que queda por analizar es si la existencia de casos límite en física apoya a la tesis realista de continuidad, retención o preservación de estructuras. Para ello vamos a proceder en dos pasos. En primer lugar, voy a analizar la supuesta derivación en situaciones límite de la mecánica newtoniana a partir de la teoría especial de la relatividad (lo mismo podría hacerse respecto de la teoría general de la relatividad, pero por su complejidad la omito aquí, y remito a Rivadulla (2004 111-114). En segundo lugar analizaré el caso correspondiente entre mecánica clásica y mecánica cuántica.

### *Mecánica newtoniana y relatividad especial*

Si nos fijamos en las fórmulas de la energía cinética clásica de una partícula de masa  $m$ :

$$E_{cinclas} = 1/2mv^2,$$

y en la fórmula de la energía cinética relativista de una partícula de masa  $m$ :

$$E_{cinrel} = \gamma mc^2 - mc^2 \quad \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2},$$

no parece que haya retención de estructuras con el paso de la mecánica clásica a la relativista. Pero, si tomamos el límite  $v/c \rightarrow 0$ , desarrollando  $\gamma$  en forma del binomio de Newton, entonces:

$$E_{cinrel} \sim 1/2mv^2 = E_{cinclas}.$$

### *Mecánica newtoniana y física cuántica*

Según el *principio de correspondencia* de Bohr de la física cuántica, para valores muy grandes del número cuántico  $n$ , la física cuántica se convierte en clásica. O sea, *la física clásica es un caso especial de la cuántica cuando los números cuánticos son grandes*.

El caso más sencillo de aplicación de este principio de correspondencia lo ofrece el modelo atómico de Bohr. Como el momento angular del electrón es  $L = nh$  (en expresión semiclásica:  $mvr = nh$ ). Obviamente, la conservación del momento angular exige que  $n$  y  $h'$  varíen inversamente. Luego, si  $n$  crece, entonces  $h \rightarrow 0$ , con lo que obtenemos el valor clásico del momento angular.

No obstante, la aplicación de los principios de correspondencia por paso al límite en los casos indicados plantea problemas. En primer lugar el caso límite  $v/c \rightarrow 0$  corresponde a  $c \rightarrow \infty$ . Ahora bien, en teoría de la relatividad  $c$  es constante y finita, de hecho es muy pequeña comparada con la edad y tamaño del universo. Luego, tomar el límite  $c \rightarrow \infty$  sólo puede considerarse como un mero recurso matemático, ajeno a las propiedades físicas de la velocidad de la luz en el vacío, a fin de obtener un resultado previamente deseado: la recuperación de la física clásica en el marco de la relativista. ¿Cómo entender entonces que la mecánica newtoniana sea un caso límite de la teoría de la relatividad? Así mismo, es simplemente como una *instrucción* para usar la mecánica newtoniana en situaciones de campos débiles y velocidades pequeñas comparadas con  $c$ .

Análogamente ocurre cuando en una ecuación mecánico-cuántica hacemos  $h=0$ . Como  $h$  es constante y finita, muy pequeña, pero distinta de cero, tomar el límite indicado en una fórmula determinada hace que la fórmula en cuestión deje automáticamente de ser una expresión cuántica.

Otro ejemplo de las funestas consecuencias que puede tener aplicar indiscriminadamente el paso al límite se observa en las implicaciones del fenómeno bautizado por Paul Ehrenfest como la *catástrofe del ultravioleta* para dar cuenta del hecho siguiente: en 1900 Lord Rayleigh y James Jeans, propusieron que la densidad de energía radiada por un cuerpo negro es

$$E(\nu, T) = (8\pi\nu^2 / c^3)k_B T .$$

Esta expresión se sigue también tomando el límite  $h=0$  en la *ley de Radiación de Planck*. El problema es que la energía total diverge claramente:

$$E = (8\pi k_B T / c^3) \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty$$

O sea, que la densidad espectral debería crecer indefinidamente en la región del ultravioleta, lo que la experiencia contradice, y por tanto, constituye una refutación de la *ley de Rayleigh-Jeans*.

Las consecuencias de la *catástrofe del ultravioleta* son también filosóficamente funestas para el realismo científico estructural. En efecto, si la tesis estructuralista de retención o preservación de estructuras con el cambio teórico fuera verdadera, la *ley de Rayleigh-Jeans*, formaría parte de la *ley de Radiación de Planck*, de la que se sigue tomando el límite  $h=0$ . Entonces:

i) la *ley de Radiación de Planck* también estaría refutada.

ii) pero como la *ley de Radiación de Planck* se explica teóricamente en el marco de la mecánica estadística cuántica de Bose-Einstein (cfr. Rivadulla 2004 §4.5), entonces ésta también estaría refutada, y así sucesivamente. O sea:

iii) si la tesis estructuralista fuera verdadera, la refutación empírica de la *ley de Rayleigh-Jeans (catástrofe del ultravioleta)* tendría consecuencias imprevisibles.

Parece razonable no aceptar la segunda tesis fundamental del realismo estructural.

Analicemos ahora la primera tesis (dogma) del realismo estructural, que claramente es expresada por Anjan Chakravarty (1998) quien afirma: "*las estructuras de las teorías físicas representan correctamente relaciones entre objetos en el mundo*" (398).

Siguiendo a Worrall (1989 123) lo que el realista estructural sostiene es que, a la vista del enorme éxito empírico de nuestras teorías físicas maduras, las ecuaciones matemáticas de éstas describen o representan las relaciones que se dan en el mundo. Pero, ¿en qué se diferencia este uso del argumento del no milagro a favor del realismo estructural de su uso a favor del realismo científico típico? Parafraseando a David Hume en su *Ensayo sobre el Entendimiento Humano*, incumbiría a los realistas estructurales probar que las verdades de la ciencia se predicen exclusivamente de estructuras y no de teorías y/o entidades. Afirmarlo no es suficiente. Si además se adopta la versión óptica del realismo estructural (existencia de relaciones sin relata), el realismo estructural pasaría de ser una parte de la solución a convertirse en una parte del problema del realismo científico.

## Conclusión

En 1984 Arthur Fine proclamó: “*el realismo ha muerto*”, prácticamente a manos de Larry Laudan. En 1989 el realismo estructural de John Worrall se autoproclamó como una alternativa al realismo científico típico al tiempo que una forma viable de realismo. Sin embargo, si las tesis fundamentales del realismo estructural son falsas, como he tratado de mostrar en las páginas precedentes, por tanto, cabe concluir que el intento por parte del realismo estructural de resucitar al realismo ha fracasado.

La física, en la que me he apoyado para desarrollar mis argumentos, ha decidido el resultado del debate ‘realismo-antirrealismo’.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boyd, R. “The current status of scientific realism”. *Scientific Realism*. Ed. Jarret Leplin. Berkeley: University of California Press, 1984. Print.

Chakravarty, A. “Semirealism”. *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 29, No.3, 1989: 391-408. Print.

Einstein, A. *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Madrid: Alianza Editorial, 1984. Impreso.

---. “La mecánica de Newton y su influencia en el desarrollo de la física teórica”. *Mis Ideas y Opiniones*. Albert Einstein. Barcelona: Bon Ton, 2000. Impreso.

Fine, A. “The natural ontological attitude”. *The shaky game. Einstein, realism and the quantum theory*. Chicago: University Press, 1986. Print.

Kitcher, P. *El Avance de la ciencia*. México: UNAM, 2001. Impreso.

Laudan, L. “A confutation of convergent realism”. *Philosophy of Science*. 48, 1981: 19-49. Print.

Popper, K. *Quantum theory and the schism in physics*. London: Hutchinson, 1982. Print.

---. *The myth of the framework*. London: Routledge, 1994. Print.

Psillos, S. *Scientific realism: how science tracks truth*. London: Routledge, 1999. Print.

Psillos, S. *Knowing the structure of nature. Essays on realism and explanation*. Houndmills: Palgrave Macmillan, 1999. Print.

Putnam, H. *Philosophical Papers*. Cambridge: University Press, 1981. Print.

---. "What is realism". *Meaning and the moral sciences*. London: Routledge, 1978. Print.

Rivadulla, A. *Revoluciones en física*. Madrid: Trotta, 2003. Impreso.

---. *Éxito, razón y cambio en física*. Madrid: Trotta, 2004. Impreso.

---. "Theoretical explanations in mathematical physics". G. Boniolo (Ed.). *The role of mathematics in physical sciences. Interdisciplinary and philosophical aspects*. Dordrecht: Springer, 2005. Print.

---. "Two dogmas of structural realism. A confirmation of a philosophical death foretold". *Crítica* 42. No. 124, 2010a: 3-29. Print.

---. "Complementary strategies in scientific discovery: abduction and preduction". M. Bergman (Ed.). *Ideas in action: proceedings of the applying Peirce conference*. Helsinki: Nordic Pragmatism Network, 2010b. Print.

Sklar, L. *Theory and truth. Philosophical critique within foundational science*. Oxford: Oxford University Press, 2000. Print.

Thagard, P. *Computational philosophy of science*. Cambridge: The MIT Press, 1988. Print.

Worrall, J. "Structural realism: the best of both worlds?". *Dialectica* 43. 1989: 99-124. Print.