

## CUANTIFICADORES EXISTENCIALES Y PRINCIPIOS-GUÍA EN LAS TEORÍAS FÍSICAS<sup>1</sup>

C. ULISES MOULINES  
Universidad Nacional  
Autónoma de México

### *Introducción*

En el *Postscript* de 1969 a la segunda edición de *La estructura de las revoluciones científicas*, Thomas Kuhn se dispuso a replicar a una serie de objeciones que se le había hecho a raíz de la publicación de la primera edición de su libro en 1962. Entre esas objeciones, una de las que Kuhn tomó más en serio fue la de que su famosa noción de “paradigma”, como estructura subyacente a toda una disciplina durante un periodo de “ciencia normal”, era irremediamente vaga y ambigua. Kuhn trató de precisar dicha noción, y para ello incluso cambió de nomenclatura: el “paradigma” de la primera edición se convirtió en la “matriz disciplinaria” del *Postscript*. No parece que el nuevo término haya tenido buena fortuna; todo el mundo sigue hablando de “paradigmas”, y, lo que es peor, sigue hablando de ellos con la misma vaguedad con que Kuhn utilizó el término en la primera edición de su obra. No se trata, naturalmente, de una mera cuestión de nombre (y, a efectos de la presente discusión, podemos seguir utilizando el popular término “paradigma”, en vez de “matriz disciplinaria”). Lo que importa es que Kuhn intentó precisar la estructura de su noción básica y para ello identificó lo que, en su opinión, son los cuatro componentes esenciales de un paradigma: generalizaciones simbólicas,

<sup>1</sup> Agradezco al Prof. William Craig y a mi amigo Ignacio Jané, ambos de la Universidad de Berkeley, sus comentarios a las ideas expuestas en este artículo, que me indujeron a una presentación más completa del mismo. Naturalmente, soy el único responsable por los errores que todavía contenga.

modelos ontológicos o heurísticos, valores metodológicos y ejemplares “modélicos” de aplicaciones. Poco después, Stegmüller, en su *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, utilizó el aparato formal de la metateoría de Sneed en *The Logical Structure of Mathematical Physics* para precisar formalmente las nociones involucradas en los componentes primero y último identificados por Kuhn en un paradigma. En particular, según el análisis de Stegmüller, las “generalizaciones simbólicas” de Kuhn no son sino las *leyes fundamentales* del llamado “núcleo estructural” de una teoría.

El presente artículo trata de ese primer componente de los paradigmas identificado por Kuhn y precisado por Sneed-Stegmüller. Para empezar, por razones que luego se verán más claras, propongo un nuevo nombre para lo que Kuhn llama “generalizaciones simbólicas” y Stegmüller “leyes fundamentales”, aun a costa de la consiguiente inflación terminológica. Propongo llamar al primer componente de los paradigmas de Kuhn “*principios-guía*”, una denominación que, por lo demás, ya existe en la literatura metodológica. A mi entender, ese rótulo refleja mejor el contenido y la función de las entidades en cuestión que las anteriores denominaciones. Pero, naturalmente, el nombre es lo de menos. De lo que se trata aquí es de ofrecer un análisis más completo y detallado (y también más “comprometido”) que el ofrecido hasta ahora. La concepción de los principios-guía aquí propuesta pretende ser válida al menos para dos casos importantes de paradigmas científicos: la mecánica clásica y la termodinámica fenomenológica. Que el mismo tipo de análisis se aplique o no a otros casos es una cuestión que quisiera dejar abierta de momento. Admito la posibilidad de que los principios-guía tengan otra forma y función en otros paradigmas científicos. Lo que me interesa subrayar es lo siguiente: si los principios-guía de un paradigma tienen la forma aquí propuesta, eso explicaría algunas de las características peculiares de los paradigmas que Kuhn ha hecho notar y que han intrigado a muchos de sus críticos; fundamentalmente:

- a) que el contenido del paradigma sea más una *promesa* de futuros éxitos científicos que una realización palpable;
- b) que los paradigmas den lugar a la extraña clase de actividad que Kuhn llama "*resolución de rompecabezas*" ("puzzle-solving");
- c) que los paradigmas sean esencialmente *irrefutables* por la experiencia.

Estas características de los paradigmas han sido en parte explicadas por Stegmüller en la obra mencionada así como en ensayos más recientes (cf., por ejemplo, su artículo "Accidental ('Non-substantial') Theory Change and Theory Dislodgment"). Sin embargo, el análisis de Stegmüller es todavía demasiado crudo, a nuestro entender, y no muestra claramente el papel que los principios-guía juegan (y *por qué* lo juegan) en los paradigmas. Aquí intentaré complementar el análisis de Stegmüller atendiendo a la *forma lógica* peculiar que poseen los principios-guía (al menos en los casos de la mecánica clásica y la termodinámica fenomenológica).<sup>2</sup>

La estrategia que seguiré en este artículo será la de concentrarme en el principio-guía de la mecánica clásica, para llegar, a través del estudio de este ejemplo particular, a las características generales de ese tipo de principios. La razón de esta preferencia es en parte histórica (el principio de Newton ha sido probablemente el más discutido en la historia de la metodología) y en parte expositiva (la mecánica clásica es la teoría física más ampliamente conocida). Al final trataré de hacer plausible que las mismas consideraciones se aplican al caso de la termodinámica.

<sup>2</sup> La axiomatización de la mecánica clásica de Sneed-Stegmüller, basada a su vez en la axiomatización "ejemplar" de McKinsey *et al.*, no da cuenta de las características formales del principio-guía correspondiente que aquí nos interesan, y en este sentido es incompleta. Lo mismo vale para mi propia axiomatización de la termodinámica en "A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics".

### 1. *La discusión en torno al Segundo Principio de Newton*

El principio-guía de la mecánica clásica es el llamado “Segundo Principio de Newton”, o sea, la ecuación dinámica fundamental “ $F = m \cdot a$ ”. En las exposiciones “ingenuas” de la mecánica clásica esta ecuación aparece siempre como ley fundamental; es más básica que la “Tercera Ley de Newton”, que no es válida para todas las aplicaciones de la teoría (por ejemplo en balística o en el caso de fuerzas electromagnéticas), y es lógicamente más básica que la “Primera Ley de Newton”, o Principio de Inercia, que se deriva trivialmente del Segundo Principio. Por supuesto, también es más fundamental con respecto a leyes de alcance restringido o más especiales, como la ley de la gravitación, las leyes de Coulomb para fuerzas electrostáticas y magnetostáticas, o las ecuaciones dinámicas para fuerzas elásticas, de fricción, etcétera. En esta caracterización del Segundo Principio coinciden no sólo los libros de texto “ingenuos”, sino también axiomatizaciones concienzudas como las proporcionadas por Hamel, McKinsey-Sugar-Suppes y Sneed, y asimismo las discusiones más filosóficas de Kuhn y Stegmüller. Hay, sin embargo, autores que han negado, o al menos han puesto en duda, el carácter fundamental del Segundo Principio. Sus razones para ello han sido esencialmente lógico-filosóficas. Las discutiremos enseguida.

La historia de la controversia metodológica alrededor del Segundo Principio es larga y densa. Ella es asimismo la historia de la discusión sobre el concepto newtoniano de *fuerza*. En pocos casos, un concepto y un enunciado han estado tan indisolublemente ligados como aquí. Para comprender el sentido de esta historia hay que tener bien presente una distinción metodológica que ha jugado un gran papel en la moderna filosofía de la ciencia: me refiero a la distinción entre *enunciados de hecho* y *definiciones* (o convenciones terminológicas). Esta distinción puede considerarse una particularización del caso de las teorías científicas de la dicotomía más general “*descriptivo-prescriptivo*”. Se-

gún ella, los enunciados de hecho serían las descripciones de ciertos estados de cosas postulados por la teoría, mientras que las definiciones serían prescripciones acerca del uso de ciertos términos de la teoría.

Asumiendo la dicotomía anterior, podemos preguntarnos si " $F = m \cdot a$ " es un enunciado de hecho, es decir, una descripción de situaciones empíricas encontradas en la naturaleza, o bien una definición; si se adopta la segunda alternativa, lo plausible es sostener que se trata de una definición del concepto de *fuerza*, puesto que se admitirá generalmente que los conceptos de espacio, tiempo y masa tienen un significado independiente del de fuerza.<sup>3</sup>

Esas dos alternativas de interpretación han constituido el núcleo de la controversia alrededor del Segundo Principio. Unos dicen que es un enunciado empírico, otros que se trata de una "mera convención", una definición del término "fuerza", y puede decirse sin exagerar que la controversia ha durado siglos. Cada uno de los puntos de vista rivales adquiere cierta plausibilidad por el hecho de que puede mostrarse que la concepción opuesta implica serias dificultades. Así, por ejemplo, alguien que quiera sostener que " $F = m \cdot a$ " es un enunciado empírico puede hacer notar que, si fuera simplemente una definición, entonces la totalidad de la mecánica clásica estaría basada en una mera tautología y sería, por tanto, una ciencia a priori, por lo menos en su parte fundamental. Quien, por el contrario, quiera persuadirnos de que " $F = m \cdot a$ " es una definición de " $F$ " podrá argüir, con razón, que es difícil admitir que dicha ecuación describa un hecho concreto (o siquiera una conjunción de hechos), puesto que cualquier situación empírica

<sup>3</sup> En algunas exposiciones de la mecánica clásica que se presentan en cursos introductorios de física se dice a veces que la masa "viene definida como cociente de la fuerza por la aceleración". El motivo de tal caracterización es, aparentemente, que en muchos casos se miden masas a través de sus correspondientes pesos en el campo gravitatorio terrestre. Pero esta "definición" de masa no sólo es un exabrupto histórico y metodológico, sino que además suele estar en flagrante contradicción con una de las "reglas" más básicas que aprende un estudiante de mecánica en esas mismas exposiciones: "no confundir masa con peso".

imaginable es compatible con ella: siempre pueden construirse vectores-fuerza para cualquier caso concreto, de modo que su resultante sea el producto de la masa por la aceleración de los cuerpos involucrados. El principio, por tanto, es irrefutable. Es más, las fuerzas mecánicas de cualquier sistema no pueden determinarse cuantitativamente como no sea presuponiendo lógicamente la validez del Segundo Principio, como ha mostrado Sneed con detalle en la obra arriba mencionada.

Algunos autores han intentado hallar una solución al dilema al estilo de una “vía media”, es decir, eclética. Según ella, el Segundo Principio “a veces funcionaría” como un enunciado empírico, “a veces como una definición”; o bien, “desde cierto punto de vista” sería una cosa, “desde otro punto de vista”, la otra. De estas posiciones ecléticas o conciliadoras, la mejor articulada que conozco es la de Nagel en *La estructura de la ciencia*. Vale la pena citar a Nagel extensamente. De hecho, su análisis del Segundo Principio de Newton lo lleva a una posición muy cercana a la que es el *punto de partida* del presente ensayo:

...frecuentemente se considera el segundo axioma no como una afirmación acerca de las condiciones en las cuales se producen aceleraciones, sino como una formulación compacta de una *guía* especial para la investigación, como una *regla metodológica* que orienta al físico con respecto a lo que tiene que buscar cuando está analizando los movimientos de los cuerpos. Pues en lo relativo a su característica de no admitir una refutación concluyente, el segundo axioma es muy semejante a una regla. Cualquier número de fracasos del físico para hallar lo que el axioma lo induce a buscar, es insuficiente para concluir de ellos la necesidad de abandonar la búsqueda y descartar la regla. Pues no obstante esto, la regla puede ser buena, porque la investigación conducida de acuerdo con ella puede haber sido recompensada frecuentemente

con el éxito y porque aun una regla que sólo es útil a veces puede ser mejor que no tener ninguna regla. De hecho, el segundo axioma, considerado como principio regulador, ha sido sumamente fecundo para guiar la construcción de un cuerpo sistemático de conocimiento bien fundado, y si se continúa aceptándolo como regla de procedimiento, evidentemente no es porque sea una regla arbitraria e infundada para investigar los movimientos de los cuerpos (*op. cit.* p. 184-185).

Esta descripción del modo como *se usa* el Segundo Principio nos parece, en términos generales, correcta, por lo que esperaríamos que de este análisis particular se derivara una visión sistemática y general de esta clase de principios físicos que escapara realmente al dilema antes apuntado. Sin embargo, cuando Nagel resume sus conclusiones sobre el análisis de la mecánica newtoniana en general, vuelve a poner los “tres axiomas” de Newton en el mismo saco (lo cual, a mi entender, es un grave error) y toma una postura no comprometida y, en el último término, decepcionante:

...es evidente que no puede darse ninguna respuesta breve y simple a la pregunta: ¿cuál es el *status* lógico de los axiomas newtonianos del movimiento?... una respuesta razonablemente satisfactoria a la pregunta indicada exige una referencia al lugar que los axiomas ocupan en alguna codificación particular de la teoría de la mecánica y a los usos que se dan a los axiomas en diversos contextos especiales. Quizá lo que puede afirmarse con toda generalidad es, por una parte, que los axiomas newtonianos a menudo pueden desempeñar el papel de esquemas para analizar los movimientos de los cuerpos o de estipulaciones para definir ciertas nociones experimentales, y, por otra parte, cuando se agregan a los axiomas supuestos

adicionales (entre otros, supuestos concernientes a funciones-fuerza) se les puede considerar enunciados que poseen un contenido empírico definido. (*op. cit.*, p. 193).

Dos son los defectos principales de esta interpretación, que me parecen totalmente irremediables: primero, que pone al mismo nivel lógico los tres axiomas de Newton; segundo, y más importante, que la apelación a “distintos contextos”, “distintos usos”, etcétera, conduce a una ambigüedad y eclecticismo insatisfactorios, que no corresponden de modo alguno a lo que se espera de una verdadera reconstrucción lógica de un aspecto fundamental de la ciencia empírica. En último término, la ambigüedad inherente al análisis de Nagel, a pesar de su prometedor comienzo, proviene de que este autor no ha podido liberarse plenamente de la tajante dicotomía “descripción-prescripción”, y por ello, ante un caso como el del Segundo Principio, tiene que concluir que “en algunos contextos” actúa como un enunciado de hecho, mientras que “en otras ocasiones” actúa como una definición. Resumiendo, su punto de partida en el análisis lógico del Segundo Principio es correcto, pero no así su conclusión general.

De estas últimas observaciones puede colegirse ya mi poco interés en mantener en pie la famosa dicotomía. Mi posición general es que hay que desconfiar de las dicotomías sospechosamente simples: las formas lógicas del discurso en general, y *también* las del discurso científico, son más variadas de lo que tienden a suponer los filósofos en sus ansias simplificadoras. En la investigación filosófica, como en la detectivesca, hay que ser a la vez cauto e imaginativo. Aplicando esta actitud general al caso que nos ocupa, y teniendo en cuenta las deficiencias obvias de las dos posiciones controvertidas, así como la superficialidad de la posición ecléctica, creo que es hora de buscar un nuevo enfoque al problema, y si es posible, un enfoque tal, que no sólo sea aplicable al caso particular de “ $F=m \cdot a$ ”, sino a otros casos también, con

lo que quizá lleguemos a una concepción más general de ciertas estructuras científicas. Esto es precisamente lo que ha faltado a la mayoría de los análisis lógicos del Segundo Principio: su inserción en un esquema metateórico general.

Como se ha hecho notar antes, la discusión en torno al Segundo Principio ha ido normalmente asociada a la discusión del concepto mismo de fuerza. Este concepto es la cruz del problema. Clarificar su naturaleza es condición necesaria para llegar a una concepción adecuada del Segundo Principio.

## 2. *La discusión en torno al concepto de fuerza*

Desde el momento mismo de la cristalización de la mecánica newtoniana, el concepto de fuerza fue visto con suspicacia e incluso repugnancia por algunas de las mentes más clarividentes de la historia de la ciencia y la filosofía, en particular (aunque no sólo) debido a su asociación con la idea de “acción a distancia”. Entre los contemporáneos de Newton, baste mencionar a Huygens, Leibniz y Berkeley como críticos agudos del concepto newtoniano de fuerza. Más tarde, y a pesar de los frutos obvios e impresionantes de la mecánica newtoniana, el concepto siguió siendo considerado sopechoso por la mayoría de los autores ocupados en los fundamentos de la mecánica, que querían ver a esta ciencia “libre de oscuridades metafísicas” (según una conocida frase de D’Alembert, en su *Traité de Dynamique*). La principal “oscuridad metafísica” era la fuerza newtoniana (y con ella el Segundo Principio). Así se entienden históricamente los esfuerzos por eliminar el concepto, o al menos someterlo a rígido control, por parte de una serie de autores positivistas o “para-positivistas”, desde D’Alembert a mediados del siglo XVIII hasta Hermes y Simon hace 30 años, pasando por Kirchhoff, Mach y Hertz en la segunda mitad del XIX.<sup>4</sup> Todos estos esfuerzos, que en general pueden interpretarse como el intento de reducir la dinámica a la estática

<sup>4</sup> He referido con detalle parte de esta historia en mi artículo “La génesis del positivismo en su contexto científico”.

o a la cinemática, son ciertamente profundos e interesantes desde un punto de vista metodológico; pero no cambiaron en nada el hecho de que el concepto newtoniano de fuerza siguió campando a sus anchas en todos los libros de texto de mecánica clásica y en la práctica normal de los físicos. Por mucho que famosos físicos como Kirchhoff y agudos lógicos como Herbert Simon hayan sostenido que “fuerza” no es sino una abreviación de “masa por aceleración”, y que por consiguiente el Segundo Principio no es sino una tautología, no parece que se les haya hecho mucho caso en la “praxis mecánica”. La “comunidad científica” sigue usando el concepto de fuerza como una entidad independiente de masa, espacio, y tiempo.

En años relativamente recientes, algunas voces filosóficamente ilustradas se han levantado contra el programa de eliminación de fuerzas. Primero fueron Suppes y sus colaboradores quienes, en su ya clásica axiomatización de la mecánica de Newton, mostraron con un argumento formal que el Segundo Principio *no* puede tomarse como definición de fuerza (ni tampoco de masa, claro), a menos que se modifique sustancialmente la estructura de la teoría. Más recientemente, un autor versado por igual en filosofía e historia de la ciencia, Clifford Truesdell, ha subrayado expresamente<sup>5</sup> que, a su entender, el concepto newtoniano de fuerza, lejos de ser una superfluidad metafísica, es la contribución más revolucionaria y sustancial de Newton al desarrollo de la mecánica. Según Truesdell, este concepto fue el máximo responsable de todas las grandes consecuciones de la mecánica durante dos siglos; y tal valoración se puede aplicar a la par a su correlato enunciativo, el Segundo Principio. Ambos, concepto y principio, fueron, para hablar en términos kantianos, algo así como “las condiciones de posibilidad de toda mecánica”. Tanto Suppes en el aspecto formal como Truesdell en el histórico calibran correctamente la

<sup>5</sup> Por ejemplo, en su artículo “Rückwirkungen der Geschichte der Mechanik auf die moderne Forschung”.

importancia del concepto de fuerza y muestran su irreducibilidad en el sentido de que no puede ser definido a partir de otros conceptos supuestamente más básicos, ni asociados directamente a medidas y observaciones empíricas. (Por eso Truesdell lo llama un concepto “a priori”.) Sin embargo, ni Suppes ni Truesdell insertan su caracterización en un marco conceptual que *explique* (y no sólo describa) la peculiaridad del concepto. Es necesario un análisis más profundo que dé cuenta del papel de “fuerza” en el desarrollo de la mecánica.

Un paso importante en ese camino lo dio Sneed con su reconstrucción de la mecánica clásica en la obra mencionada. Al aplicar su criterio general de teoriedad de conceptos<sup>6</sup> al caso particular de la mecánica newtoniana, Sneed llega a la conclusión de que fuerza y masa son conceptos mecánico-teóricos, mientras que los conceptos cinemáticos serían mecánico-no-teóricos. Las magnitudes *T*-teóricas en general poseen una serie de características peculiares respecto al modo como son usadas dentro de una teoría dada *T* para hacer determinaciones “indirectas” de los valores de las magnitudes *T*-no-teóricas y para establecer correlaciones entre modelos distintos de *T*. Estas características explican, entre otras cosas, la fecundidad predictiva de los conceptos teóricos y su papel en dar un carácter “holista” o global a las teorías empíricas. Así quedarían justificadas algunas de las peculiaridades más notables del concepto de fuerza en la mecánica. Este es ciertamente un resultado relevante para nuestra discusión. Pero no es completo todavía. *No todas* las peculiaridades del concepto de fuerza quedan suficientemente analizadas al subsumirlo bajo la categoría sneediana de magnitud *T*-teórica. Para darse cuenta de ello basta observar que, en el análisis sneediano, fuerza y masa quedan al mismo nivel de conceptos mecánico-teóricos; no habría pues

<sup>6</sup> La distinción sneediana entre conceptos *T*-teóricos y *T*-no-teóricos puede caracterizarse como “funcional”, “pragmática” y “relativa”. Una exposición sinóptica del criterio sneediano se hallará en mi artículo “Reconstrucción estructural de las teorías físicas: el programa de Joseph D. Sneed”.

una diferencia metodológica de principio entre fuerza y masa. Ahora bien, a pesar de la impresionante fecundidad de la metateoría de Sneed en tantos otros aspectos, este punto de su análisis me pareció, desde el principio, insatisfactorio. Mi intuición (y creo que la de muchos otros) sobre la estructura de la mecánica clásica es la de que fuerza y masa no pueden ponerse, por así decir, al mismo nivel. Si la masa es un concepto  $T$ -teórico, como parece serlo, entonces la fuerza, además de  $T$ -teórica, es otra cosa; es “más abstracta todavía”. Y es un hecho histórico que la mayoría de autores que han examinado la mecánica bajo la lupa crítica se han sentido mucho más preocupados y perplejos por el concepto de fuerza que por el de masa.

Otro punto es digno de mención: la discusión del concepto de fuerza ha ido invariablemente ligada, repetimos una vez más, a la del Segundo Principio, y en especial a su carácter aparentemente tautológico o “apriorístico”. Ahora bien, en la reconstrucción sneediana se da una precisión formal del Segundo Principio en la que su aparente carácter tautológico o no-empírico queda reflejado en los siguientes términos: a pesar de que el Segundo Principio *no* puede tomarse como una definición, su estructura es tal que, en la terminología de Sneed, *cualquier* modelo parcial (no-teórico) puede ser “extendido” o “completado” trivialmente hasta transformarse en un modelo completo (teórico) de la mecánica, satisfaciendo por tanto el Segundo Principio. En este sentido, el Segundo Principio no contiene ninguna restricción de contenido empírico, y por tanto es empíricamente vacuo. Sin embargo, esta última caracterización, por razones que veremos más adelante, es confusa y no refleja el verdadero contenido del principio; anticipamos que éste no es “empíricamente vacuo” en el sentido en que lo son enunciados analíticos como “Ningún soltero está casado” o “Si Juan se come el pollo, entonces el pollo es comido por Juan”. En vez de la expresión “empíricamente vacuo”, propongo la menos comprometida de “empíricamente irrestricto” para aplicarla

al Segundo Principio. Veremos luego por qué la segunda expresión parece más adecuada en este contexto que la primera.

El punto que me interesa hacer resaltar en este momento es el siguiente. En la reconstrucción de Sneed, el hecho de que el concepto de fuerza sólo sea discutible en términos del Segundo Principio y el hecho de que este principio sea empíricamente irrestricto, son dos características, por así decir, “contingentes” de la mecánica clásica, casualidades históricas de la forma en que se desarrolló la teoría y, por ende, dos casualidades lógicamente desconectadas entre sí.

Esto último es, a mi entender, el punto débil del análisis sneediano. No es una “casualidad” que el principio fundamental de la mecánica (en cualquiera de sus múltiples formulaciones equivalentes) sea empíricamente irrestricto (sin ser una mera definición), ni es una contingencia histórica que la discusión del concepto de fuerza se haya asociado a la del Segundo Principio. Mi tesis es que: (a) es esencial a esta teoría (como a otras, seguramente) que su principio-guía sea empíricamente irrestricto; y (b) que la peculiaridad de “ $F = m \cdot a$ ” proviene de la estructura implícita de “ $F$ ” y que es precisamente la estructura de “ $F$ ” lo que hace al principio tan fecundo, a pesar de ser empíricamente irrestricto y aunque esto suene a paradoja metodológica. En lo que sigue se darán las razones para sostener esta tesis y más adelante se mostrará que una tesis análoga es válida para la termodinámica.

### 3. *Reconstrucción lógica del Segundo Principio de Newton*

Empecemos por analizar con más detalle la forma lógica del Segundo Principio. La formalización estándar del mismo es la debida a McKinsey *et al.* en el artículo antes citado.<sup>7</sup> En ella se basan todos los análisis posteriores de la mecánica

<sup>7</sup> No es fácil conseguir este artículo. Un resumen del mismo (aunque algo confuso para nuestros propósitos) puede encontrarse en la *Introducción a la lógica* de Suppes. También puede acudirse a la reseña del artículo original hecha por C. Lorena García Aguilar para *Crítica* 28, vol. X.

clásica (excepto los de los “reduccionistas” Simon y Hermes), incluyendo los de Sneed, Stegmüller y los míos propios en trabajos anteriores al presente. En la formalización de McKinsey *et al.*, los conceptos primitivos son los de partícula, posición, instante, masa y fuerza, junto con un índice numérico para distinguir las diferentes fuerzas que pueden actuar sobre una partícula. El sentido de introducir esos índices numéricos es que con este “truco” no es necesario cuantificar sobre las distintas funciones fuerza y por tanto no es necesario introducir variables para funciones. Más adelante veremos, sin embargo, que dicho truco no cumple su propósito.

Si  $P$  es un conjunto de partículas (=un sistema mecánico),  $T$  es el intervalo temporal durante el que se considera el sistema,  $i$  un índice numérico para tipos de fuerzas,  $s$  es la función “posición”,  $m$  la función “masa” y la  $f$  la función “fuerza”, entonces el Segundo Principio en la formalización considerada afirma que, para toda  $p$  de  $P$  y todo  $t$  de  $T$ :

$$\sum_i f(p,t,i) = m(p) \cdot D_i^2 s(p,t)$$

donde “ $D_i^2 s(p,t)$ ” es una abreviación para la “derivada segunda de la posición respecto al tiempo”, es decir, la aceleración.

Lo que nos interesa subrayar de esta formalización es el hecho de que fuerza y masa aparecen aquí “al mismo nivel” en el siguiente sentido: ambas son funciones de las partículas, es decir, de las variables primitivas del sistema. La única diferencia formal entre masa y fuerza estriba en que la primera es una función solamente monádica y la segunda es triádica, pues tiene dos argumentos más además de las partículas. Pero, en cualquier caso,  $m$  y  $f$  se hallan al mismo nivel ontológico de funciones de partículas.

Notemos otra característica de la anterior formalización: las únicas variables cuantificables son las variables individuales  $p$ ,  $t$  e  $i$ . Por tanto, el Segundo Principio podría ser formalizado en una lógica de primer orden. Lo cual puede

parecer una ventaja. Pero en este caso no lo es, porque distorsiona su verdadera forma lógica. Digámoslo de una vez: para explicitar la forma lógica del Segundo Principio hay que cuantificar sobre variables *funcionales* y no sólo individuales; es decir, si queremos formalizar, necesitamos al menos una lógica de segundo orden. (Enseguida veremos que, en rigor, se requiere incluso una lógica de tercer orden.) La razón no es meramente que debemos introducir distintas funciones fuerza (pues para ello bastaría el truco del índice numérico), sino que tales funciones fuerza son *funciones de funciones* (o, más correctamente, funciones de tuplos de funciones), y no simplemente funciones de partículas e instantes. En la literatura lógico-matemática<sup>8</sup> se reserva a veces el nombre de “*funcional*” para tales funciones de tuplos de funciones. Adoptando esta denominación, podemos enunciar nuestra tesis así: cada sistema mecánico se describe mediante cierto número de fuerzas y cada una de estas fuerzas es un funcional. (También algunos físicos usan la expresión “funcional” con un sentido idéntico o similar al aquí empleado. Así, por ejemplo, Mittelstaedt, en su texto sobre mecánica clásica, califica a la función fuerza explícitamente como “funcional” de la velocidad, posición, etcétera.<sup>9</sup>)

¿Por qué decimos que las fuerzas son funcionales y no meramente funciones de partículas? Porque sólo así podemos dar cuenta de una característica esencial de la noción de fuerza, que se revela en su uso en las aplicaciones concretas de la mecánica, pero en cambio se borra en la formulación normal del Segundo Principio: que para cada sistema físico, las fuerzas consideradas (frecuentemente más de una) dependen de una serie de “parámetros adicionales”, que sólo se especifican en el momento de la aplicación concreta. Estos parámetros, naturalmente, son a su vez funciones de las variables individuales (básicamente partículas e instantes). El Segundo Principio no especifica ni su número ni su natu-

<sup>8</sup> Cf., por ejemplo, M. Davis, *Computability and Unsolvability*, p. 124.

<sup>9</sup> Cf. P. Mittelstaedt, *Klassische Mechanik*, p. 59.

raleza, ni tampoco la forma en que la fuerza es función de ellos. Por todo ello, están “implícitos” en la formulación usual del Segundo Principio; lo cual quiere decir, en realidad, que se presupone un número indeterminado de cuantificadores existenciales sobre variables funcionales que representan dichos parámetros.

Esto, por lo demás, corresponde formalmente al modo de hablar intuitivo de los físicos; en efecto, éstos nunca dirían que “la fuerza es una función de partículas e instantes”, sino que “distintos tipos de fuerzas son función de distintos parámetros”, según las aplicaciones de la teoría. Estos parámetros pueden ser, por ejemplo, coordenadas espaciales, instantes, velocidades, masas, cargas eléctricas, polos magnéticos, coeficientes elásticos, coeficientes de fricción, etcétera. Todos ellos son, naturalmente, funciones de partículas y/o instantes. Y, en cada caso, la forma específica de las funciones será distinta. Podrá ser, por ejemplo, una función lineal de la distancia o del tiempo, o bien una función cuadrática inversa de la distancia, o bien una función exponencial de la velocidad, etc. Al especificar todas esas diferentes posibilidades en aplicaciones concretas de la mecánica, obtenemos diferentes leyes dinámicas, que pueden ser comprobadas empíricamente. El Segundo Principio contiene implícitamente la información de que *existen* todas esas posibilidades. Pero no dice nada específico acerca de ellas.

Si explicitamos esta información contenida en el Segundo Principio, la forma que éste adquiere resulta entonces la siguiente, en términos informales:

“Dado un sistema  $P$  durante un intervalo  $T$ , puede encontrarse un conjunto de funcionales vectoriales que son funciones de funciones de partículas de  $P$  e instantes de  $T$ , tales que la suma vectorial de los funcionales es igual al producto de la masa por la aceleración de cada partícula considerada en cada instante considerado.”

Enunciado un poco más formalmente:

(*SPN*) “Dados  $P$  y  $T$ : para cada  $p$  en  $P$  y cada  $t$  en  $T$ , existen funcionales vectoriales  $f_i$  (sobre  $\mathbb{R}^3$ ) tales que, para cada  $f_i$ , existe un número  $n$  de funciones  $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in}$  (escalares o vectoriales) de  $p$  y/o  $t$  y/o partículas adicionales y/o instantes adicionales, tales que:

$$\sum_i f_i(g_{i1}(p, \dots), g_{i2}(p, \dots), \dots, g_{in}(p, \dots), t) = m(p) \cdot D_t^2 s(p, t)''.$$

Una formalización completa de este enunciado en un lenguaje de tercer orden es perfectamente posible, pero renuncio a ella, porque, más que aclarar, oscurecería la estructura del principio. La formulación presente basta para darse cuenta de que la forma lógica del Segundo Principio es mucho más compleja de lo que se supone en la formulación estándar de McKinsey-Sugar-Suppes. Tal complejidad formal responde al verdadero contenido del principio, como he tratado de hacer ver.

Para ser totalmente exactos y honestos, sin embargo, hay que hacer notar que el contenido implícito del Segundo Principio todavía no queda enteramente cubierto con la formulación que se da aquí (*SPN*). Está sólo atiende a la parte sintáctico-semántica del principio, no a lo que podríamos denominar su aspecto pragmático. En efecto, en el uso del *SPN* en la praxis física está implícito el requerimiento de que los funcionales  $f_i$  sean a la vez “no-triviales” y “relativamente simples”. Debe excluirse la trivialidad del funcional en el sentido de que éste no sea meramente una forma subrepticia y camuflada de repetir el término derecho de la ecuación, es decir, “masa por aceleración”; en tal caso, *SPN* no nos guiaría en busca de funciones interesantes, aparte de una ingeniosa tautología. Para dar una formulación exacta de este requerimiento sería conveniente hacer uso de la noción formal de “ocurrencia esencial de una variable en una fórmula”. Pero aparte de que no vea claro cómo se aplicaría estrictamente esta noción al presente caso (incluso si estuviera clara en otros contextos), probablemente ella por sí sola no inmu-

nizaría el principio frente a todas las posibilidades de “trivialidad” en que piensan los físicos intuitivamente. “Trivialidad en física” seguramente cubre más caso que “trivialidad en lógica”. Por otro lado, la forma matemática de la  $f_i$  tampoco debe ser demasiado complicada, hasta el punto de que hiciera el cálculo imposible, en cuyo caso la “guía” ofrecida por *SPN* sería inútil, no por trivial, sino por desesperante. Ahora bien, mientras no tengamos un criterio formal ampliamente aceptado de *simplicidad* (y no parece que lo tengamos, a pesar de los arduos esfuerzos de Goodman y otros autores), el requerimiento de *no-demasiada-complicación* quedará relegado a la intuición de los físicos (lo cual se suele expresar, a modo de consuelo pedante, diciendo que el concepto de simplicidad es “pragmático”).

Con respecto a los dos problemas que acabamos de discutir (no-trivialidad y no-demasiada-complicación), la presente reconstrucción formal expresada en *SPN* es todavía incompleta. Sin embargo, no creo que tal incompletez sea fatal para los presentes propósitos. A pesar de ella, creo que la forma lógica presentada es mucho más rica y adecuada que cualquiera de las ofrecidas hasta la fecha para el Segundo Principio. Y sean cuales sean las formalizaciones definitivas de los criterios de no-trivialidad y simplicidad que se adopten en física, presumiblemente serán compatibles con la presente formulación de *SPN*; en realidad, no puedo imaginar ninguna razón por la que no lo fueran.

Consideremos ahora la forma lógica de *SPN* con algo más de detenimiento. El aspecto más significativo desde un punto de vista metodológico es la gran cantidad de cuantificadores existenciales involucrados en este enunciado. No sólo se cuantifica sobre las funciones de primer orden  $g_u$ , sino también sobre su número  $j$  y sobre los funcionales de segundo orden  $f_i$ : Número y naturaleza de funciones y funcionales se cuantifican existencialmente, es decir, se dejan indeterminados. Por ende, aquí no cabe aplicar el truco de introducir un índice numérico para “condensar” todas las  $f_i$  en

una sola  $f$ , puesto que cada funcional  $f_i$  posiblemente dependerá de un conjunto de  $g_{ij}$  distinto en cardinalidad y naturaleza.

Ahora bien, es un hecho metodológico bien conocido que cuantos más cuantificadores existenciales se introduzcan en un enunciado empírico, más débil deviene su contenido empírico y más difícil resulta refutarlo. Está claro que es menos comprometido afirmar “ha habido o habrá alguna vez en algún lugar alguna persona con tres piernas” que “Juan Pérez González, nacido el 16 de abril de 1978 en la ciudad de México, tenía tres piernas en el momento de nacer”. Si el dominio sobre el que discurren los cuantificadores existenciales es potencialmente infinito, entonces, como bien se sabe, el enunciado en cuestión es irrefutable empíricamente. Llamemos a este tipo de irrefutabilidad “irrefutabilidad de primer orden”, puesto que es debida a la cuantificación sobre variables individuales de un dominio. Para la irrefutabilidad de primer orden podemos diseñar estrategias matemáticas y/o empíricas por las que, aun cuando el enunciado es, en principio, irrefutable, puede hacerse cada vez menos plausible o menos probable hasta resultar “prácticamente refutado”. (Algunas de estas estrategias pertenecen a la teoría de la decisión.) No obstante, la irrefutabilidad de *SPN* no es de primer orden, pues el problema no estriba en la cuantificación sobre partículas e instantes (estas entidades se hallan cuantificadas universalmente). Se trata de una “irrefutabilidad de segundo y tercer orden” (para máximo escándalo a la vez de falsacionistas popperianos y de verificacionistas carnapianos), dado que se cuantifica existencialmente sobre variables de segundo y tercer orden. Por tanto, *SPN* no sólo es en principio irrefutable, sino que es incluso difícil imaginar qué clase de estrategia empírica o cálculo inductivo nos podría determinar el grado de implausibilidad o improbabilidad de *SPN*. En realidad, la característica indeterminación del principio no proviene de su cuantificación existencial sobre realidades empíricas (cuerpos, lugares,

instantes), sino sobre funciones teóricas y sobre funcionales abstractos; es decir, se trata aquí de una cuantificación sobre las potencialidades matemáticas de nuestra mente al tratar con problemas empíricos. Me es difícil imaginar que, en tal contexto, puedan decirse cosas con sentido, no ya sobre verificación o falsación, sino siquiera sobre grados de corroboración, confirmación, *likelihood*, etcétera. Todo este aparato metodológico tan popular en la actual filosofía de la ciencia no parece aplicable aquí.

Podría objetarse que es posible rechazar *SPN* por su incompatibilidad lógica, no ya con la base empírica, sino con algún otro principio de igual o mayor generalidad que haya sido previamente aceptado por “buenas razones empíricas”. Pero también es difícil imaginar, en el caso de *SPN*, qué otro principio mecánico nos podría hacer dudar de su validez, dado que *SPN* no afirma prácticamente nada, o “casi” nada. Y es notable que la dinámica relativista, a pesar de haber transformado radicalmente los conceptos de espacio, tiempo y masa, haya conservado *SPN* como ecuación dinámica fundamental *en la misma forma*.<sup>10</sup>

De la reconstrucción lógica anterior se desprende también por qué el concepto mismo de fuerza aparece tan indisolublemente ligado a la discusión del Segundo Principio, y por qué es un concepto de interpretación tan elusiva. Para empezar, las fuerzas son funcionales que sólo adquieren sentido dentro de *SPN*. Además, por la formulación anterior vemos que la idea general de fuerza resume un número indeterminado de funcionales, o mejor dicho, de variables de *tercer* orden para funcionales de distinta forma y contenido. No es de extrañar, pues, que la fuerza newtoniana aparezca en las discusiones metodológicas como un concepto sumamente “abstracto” y difícil de interpretar. Es difícil de interpretar precisamente porque, por su propia naturaleza, no tiene interpretación fija (es el nombre de una serie indeterminada de

<sup>10</sup> Cf., por ejemplo, S. J. Prokhovnik, *The Logic of Special Relativity*, p. 91.

variables funcionales); y parece muy abstracto (y no simplemente *T*-teórico) obviamente porque es un concepto de conceptos (un predicado de predicados).

El Segundo Principio de Newton es un paradigma de paradigmas en un doble sentido: en primer lugar, juega el papel más esencial (el más “paradigmático”, si se quiere) dentro del paradigma que llamamos “mecánica clásica”; en segundo lugar, el análisis de la forma y función del Segundo Principio puede resultar metodológicamente paradigmático en el sentido de que en otras teorías pueden aparecer principios-guía de naturaleza semejante y, por tanto, el estudio de las características esenciales del Segundo Principio puede darnos la clave para reconstruir lógicamente esos otros principios-guía y comprender su función dentro de los correspondientes paradigmas. No podemos esperar un paralelismo estricto, pues cada teoría tiene, por así decir, su propia “personalidad”. Pero sí es plausible que hallemos ciertos rasgos comunes que sean significativos para un esquema general de la ciencia (por ejemplo, para el esquema de Kuhn). Para sustentar esta tesis, propongo el caso de la termodinámica.

#### 4. *El principio-guía de la termodinámica reversible*

Consideremos primero una sub-teoría de la termodinámica reversible: la termodinámica de los sistemas simples. Los conceptos primitivos de esta teoría son: entropía, energía interna, volumen, presión y moles. En otro lugar he presentado las razones de esa elección, así como de que haya que tomar entropía y energía interna como magnitudes termodinámico-teóricas.<sup>11</sup>

Pero aquí lo que nos interesa fundamentalmente es lo siguiente. Siguiendo a Callen en su *Thermodynamics*, podemos identificar el principio básico de esta teoría como la correlación postulada entre la entropía y el resto de funciones extensivas (= aditivas), o alternativamente, entre la

<sup>11</sup> Tales razones se hallan expuestas en mi artículo “A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics”.

energía y el resto. Callen escribe esas dos “ecuaciones fundamentales” (equivalentes) así:

$$S = S(U, V, N_1, \dots, N_r);$$

o bien

$$U = U(S, V, N_1, \dots, N_r),$$

donde  $S$  es la entropía,  $U$  la energía interna,  $V$  el volumen y  $N_i$  son los moles de cada sustancia química.

Esta forma de escribir las ecuaciones fundamentales es naturalmente incorrecta (aunque se entiende de qué se trata). Porque todas las magnitudes consideradas son funciones *de estado*, es decir, funciones de las variables individuales de la teoría, que representaremos por  $z$ .  $S$  no puede ser a la vez función de primer orden (función de estado), tal como aparece a la izquierda de la ecuación, y función de segundo orden (funcional de funciones de estado), tal como aparece a la derecha de la ecuación. Lo mismo vale para  $U$  en la segunda ecuación.

Está claro que Callen, como tantos otros físicos despreocupados que escriben este género de ecuaciones, lo que quiere expresar es que los valores numéricos que tome la entropía como función de estado *dependen* de los valores tomados por las otras funciones de estado (las que aparecen a la derecha de la ecuación). Lo análogo vale para la energía. Ahora bien, la manera formalmente correcta de expresar esto es decir que *hay un funcional* (llamémosle  $f^S$ ) de las funciones extensivas  $U, V, N_i$  tal que el valor tomado por la entropía es igual al valor de dicho funcional (para cada estado  $z$  dado). Es decir,

existe  $f^S$  tal que:  $S(z) = f^S(U(z), V(z), N_1(z), \dots, N_r(z))$ .

Y análogamente para el principio alternativo:

existe  $f^U$  tal que:  $U(z) = f^U(S(z), V(z), N_1(z), \dots, N_r(z))$ .

Nótese que  $f^S$ , o respectivamente  $f^U$ , son funcionales en el mismo sentido en que lo son las funciones fuerza considera-

das en el caso de la mecánica. Y, análogamente, este funcional es una variable de tercer orden cuantificada existencialmente, una variable que discurre sobre funcionales de las funciones de estado: energía, volumen y moles. De este funcional, la “ecuación fundamental” no nos da más información sino la de que *existe* y toma valores reales. Su forma específica, por lo demás, se deja completamente indeterminada. Al aplicar el principio-guía a casos particulares, se tratará de hallar una forma apropiada de  $f^S$  que dé lugar a alguna ley más especial de los sistemas simples (por ejemplo, la ley de Gay-Lussac, o la ley de Van der Waals, o la ley de Stefan). Es sólo a este nivel donde es posible la comprobación empírica en la termodinámica de los sistemas simples. El principio-guía mismo,

$$S(z) = f^S(U(z), V(z), N_1(z), \dots, N_r(z)),$$

es *irrefutable* experimentalmente.

Nótese finalmente que también en este caso cuantificamos existencialmente no sólo sobre  $f^S$ , sino también sobre el número  $r$  de funciones moles, y por tanto, en definitiva, también sobre el número de “parámetros” de estado a la derecha de la ecuación. Nuevamente tenemos una doble indeterminación del principio-guía: una parte es debida a la indeterminación en que se deja al funcional y la otra parte se debe al número de parámetros considerados. No es de extrañar pues la “vacuidad empírica” del principio — ni tampoco su fecundidad, por cierto.

De todos modos, puede admitirse que el principio-guía de la termodinámica de los sistemas simples es “menos” irrestricto o vacuo, si se puede hablar así, que el Segundo Principio de Newton. En efecto, aquí sólo se cuantifica existencialmente sobre *un* funcional ( $f^S$ ), y no sobre un número indeterminado de ellos, y por otro lado se especifican, hasta cierto punto, las funciones de primer orden cubiertas por el funcional.

No obstante, el principio-guía de la termodinámica de los sistemas simples es, en realidad, sólo un “sub-principio-guía”,

un caso particular de un principio-guía mucho más general que define el paradigma de la termodinámica reversible y que es totalmente comparable en forma y función con el principio-guía de la mecánica clásica.<sup>12</sup>

La formulación del principio-guía de toda la termodinámica reversible que propongo a continuación se basa en la dada por Tisza en su *Generalized Thermodynamics*, p. 113, aunque difiere en ciertos detalles.<sup>13</sup> Para comprender bien la formalización que sigue, es necesario recordar que un sistema termodinámico  $Z$  en general puede considerarse compuesto de una serie de subsistemas parciales  $Z_a, Z_b, \dots, Z_n$  (relativamente) simples, y que por tanto un estado  $z$  de  $Z$  puede considerarse formado por el tuplo de estados parciales  $\langle z_a, z_b, \dots, z_n \rangle$ . Entonces, el principio-guía dice lo siguiente:

(EFT) “Para todo sistema termodinámico  $Z$ , existe una descomposición del mismo en subsistemas  $Z_a, Z_b, \dots, Z_n$  tal que para cada subsistema  $Z_k$  puede encontrarse una funcional  $f_k^s$  y ciertas funciones extensivas de estado  $G_1^k, G_2^k, \dots, G_r^k$ , tales que:

para todo  $z$  en  $Z$ :  $S(z) = \sum_k f_k^s(U_k(z), G_1^k(z), \dots, G_r^k(z))$ ”.

El grado de indeterminación de este principio-guía debido al uso de tantos cuantificadores existenciales es perfectamente comparable al caso del Segundo Principio de Newton. No sólo se cuantifica sobre el funcional  $f_k^s$ , sino sobre los parámetros de estado, sobre su número de subsistemas en que descomponemos el sistema original  $Z$ . El nivel de “abstracción” de este principio es incluso superior al de *SPN*, pues mientras que en este último aparecía explícitamente al me-

<sup>12</sup> Cuando empecé la reconstrucción lógica de la termodinámica en el artículo antes mencionado no era consciente de la existencia de ese principio más general, y por ello el alcance de mi análisis quedó restringido a los sistemas simples.

<sup>13</sup> La formulación de Tisza es “formalmente despreocupada” (y algo confusa), como suelen ser las de los físicos en tales contextos.

nos la aceleración como magnitud  $T$ -teórica, en el presente caso las únicas funciones que aparecen explicitadas son entropía y energía interna, ambas  $T$ -teóricas. No es sorprendente que la termodinámica suela considerarse como una teoría más “abstracta y general” que la mecánica clásica.

##### 5. *A modo de conclusión: qué promete un paradigma*

Partiendo de los análisis anteriores de *SPN* y *EFT* podemos retomar el hilo de la discusión general planteada al comienzo de este artículo. Para empezar, ahora es claro por qué la simple dicotomía “descriptivo-prescriptivo” no se puede aplicar en buena ley a los principios-guía considerados. El uso generalizado de cuantificadores existenciales, y en particular la cuantificación de un funcional de tercer orden, nos explica por qué dichos principios no pueden considerarse como descripciones de hechos particulares ni siquiera como una descripción de un conjunto de hechos particulares. Afirmar no sólo que existen ciertas funciones de los objetos básicos de la teoría, sino además que existe un funcional indeterminado de esas funciones, no es describir nada concreto acerca del mundo, a menos que se use el término “descripción” en un sentido abstruso y forzado. A lo sumo podríamos decir que se trata de descripciones acerca de las posibilidades de expresión de nuestro aparato conceptual. Pero éste también sería un sentido extraño de “descripción”; pues evidentemente, al introducir *SPN* o *EFT* no pretendemos meramente hacer una descripción lingüística o psicológica.

Por otro lado tampoco se trata, obviamente, de definiciones. (Es relativamente fácil mostrar en ambos casos, por el método de Padoa, que ninguno de los conceptos involucrados en ambos principios puede considerarse como un *definiendum* con respecto al resto.) En ninguno de los dos casos se están estableciendo reglas lingüísticas sobre el uso de términos. Por el contrario, ambos principios son considerados por los físicos como matrices conceptuales a partir de las cuales

se pueden derivar<sup>14</sup> importantes leyes empíricas sobre la naturaleza.

La posición ecléctica, naturalmente, tampoco funciona. En efecto, no se trata de que *SPN* o *EFT* se usen *a veces* como descripciones de hecho y *a veces* como definiciones; ambos principios se usan siempre del mismo modo, precisamente del modo que hemos tratado de explicitar aquí, y que no se puede caracterizar ni como descripción ni como definición, a menos que se deforme totalmente el sentido genuino de esas categorías semánticas.

Finalmente, del análisis propuesto se desprende también en qué sentido los principios-guía analizados son “paradigmáticos”, o dicho más exactamente, en qué sentido ciertas características de los paradigmas, reveladas en lenguaje metafórico-intuitivo por Kuhn, provienen realmente de la forma lógica de los principios-guía.

En primer lugar, ya hemos visto en qué sentido los principios-guía son empíricamente irrestrictos, y por tanto, irrefutables por la experiencia: introducir un gran número de cuantificadores existenciales en un enunciado empírico es ya una forma de reducir sustancialmente su contenido empírico. Pero si esos cuantificadores se aplican además a variables de *segundo y tercer orden*, es patente lo absurdo de “buscar contraejemplos” que refuten el principio. Las posibilidades de dar cuenta de cualquier situación empírica concreta mediante la elección de funciones y funcionales apropiados son, por razones estrictamente lógico-matemáticas, *infinitas supernumerables*.

¿Cuál es el valor de tales principios-guía aparentemente tan vacuos? Su valor es, usando el término de Kuhn, el de una *promesa*, el de un poderoso principio motriz para hacer ciencia. La promesa implícita en el principio-guía consiste en que se nos asegure que si adoptamos el esquema conceptual general propuesto por el principio-guía, a la larga,

<sup>14</sup> “Derivar” no debe entenderse aquí en el sentido de una deducción lógica.

y con la suficiente paciencia y habilidad, obtendremos los resultados empíricos apetecidos. La promesa es, limitada al principio-guía, muy vaga e indeterminada; pero define la estructura general dentro de la que hay que buscar los parámetros y funcionales requeridos para tratar *cualquier caso particular*. La búsqueda de esos parámetros y funcionales (es decir, desde el punto de vista lógico, la búsqueda de constantes que substituyan adecuadamente las variables funcionales de segundo y tercer orden), es la actividad que Kuhn llama “resolución de rompecabezas”. Es una actividad ciertamente no-trivial y difícil, a veces exasperante. Pero el principio-guía nos promete que, si perseveramos, a la larga tendremos éxito en nuestra búsqueda y lograremos dar con la substitución adecuada de variables por constantes.

Esa es, efectivamente, la función del Segundo Principio de Newton dentro de la mecánica clásica. Es la promesa de que si buscamos los parámetros dinámicos adecuados y una apropiada relación funcional entre todos ellos, al final obtendremos una ecuación dinámica para cada situación mecánica específica. Esta promesa puede parecer vaga. Pero el hecho histórico es que fue muy estimulante para físicos e ingenieros, generación tras generación, por lo menos durante dos siglos (e incluso hasta nuestros días: la mecánica clásica no está “muerta”). Adoptando el principio-guía expresado en *SPN*, el paradigma newtoniano permitió hacer lo que el cartesiano había sido incapaz de promover: mostrar el camino para resolver toda clase de problemas mecánicos incluyendo los detalles más complicados. Esa fue la tarea que se propusieron “los newtonianos” que tuvieron fe en la promesa inicial: encontrar el número y naturaleza adecuados de funciones fuerza no sólo para los problemas de la mecánica celeste, sino para muchos otros tipos de problemas: los de la elastomecánica, la hidrodinámica, la acústica, la electrostática, la magnetostática, e incluso (aunque con menos éxito) problemas ópticos y químicos. Esas fueron las innumerables piezas del rompecabezas newtoniano, cuya

resolución condujo a un éxito sin precedentes en la historia de la física.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Callen, H. B., *Thermodynamics*. Nueva York, 1960.
- D'Alembert, J. R., *Traité de Dynamique*. París, 1743.
- Davis, M., *Computability and Unsolvability*. Nueva York, 1958.
- García Aguilar, C. L., "Reseña de J. C. C. McKinsey, A. C. Sugar, P. Suppes. 'Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics'". *Critica*, n. 28, Vol. X, México, 1978.
- Goodman, N., *The Structure of Appearance*. Cambridge, Mass., 1951.
- Hamel, G., "Die Axiome der Mechanik". En *Handbuch der Physik*, 5, Berlin.
- Hermes, H., "Zur Axiomatisierung der Mechanik". En *The Axiomatic Method* (comp. por Henkin, Suppes, Tarski). Amsterdam, 1959.
- Hertz, H., *Die Prinzipien der Mechanik*. Leipzig, 1894.
- Kirchhoff, G., *Vorlesungen über Mechanik*. Leipzig, 1876.
- Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª edición, Chicago, 1970.
- Mach, E., *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Praga, 1883.
- McKinsey, J. C. C., A. C. Sugar & P. Suppes, "Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics". *Journal of Rational Mechanics and Analysis*. Vol. 2, n. 2, 1953.
- Mittelstaedt, P., *Klassische Mechanik*. Mannheim, 1970.
- Moulines, C. U., "A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics". *Erkenntnis*, vol. 9, n. 1, 1975.
- Moulines, C. U., "La génesis del positivismo en su contexto científico". *Dianoia*. México, 1975.
- Moulines, C. U., "Reconstrucción estructural de las teorías físicas: el programa de Joseph D. Sneed". *Revista Latinoamericana de Filosofía*, vol. III, n. 2, 1977.
- Nagel, E., *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires, 1968.
- Prokhovnik, S. J., *The Logic of Special Relativity*. Cambridge, 1967.
- Simon, H., "The Axioms of Newtonian Mechanics". *Philosophical Magazine*, vol. 38, 1947.
- Simon, H., "The Axiomatization of Classical Mechanics". *Philosophy of Science*, vol. 21, 1954.
- Sneed, J. D., *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht, Holanda, 1971.
- Stegmüller, W., *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Heidelberg, 1973.
- Stegmüller, W., "Accidental ('Non-substantial') Theory Change and Theory Dislodgement: To What Extent Logic Can Contribute to a Better Understanding of Certain Phenomena in the Dynamics of Theories". *Erkenntnis*, vol. 10, n. 2, 1976.
- Suppes, P., *Introduction to Logic*. Nueva York, 1957.
- Tisza, L., *Generalized Thermodynamics*. Cambridge, Mass., 1966.
- Truesdell, C., "Rückwirkungen der Geschichte der Mechanik auf die moderne Forschung". *Humanismus und Technik*, vol. 13, 1969.

## SUMMARY

In a 1969 "Postscript" to his book *The Structure of Scientific Revolutions* (1962), Thomas Kuhn tried to arrive at a clearer definition of his famous, but vague and ambiguous, notion of "paradigm" as a structure underlying an entire discipline during a "normal science" period. He identified the four essential components of a paradigm (or "disciplinary matrix", as the notion was rebaptized): symbolic generalizations, ontologic or heuristic models, methodological values and "model theoretic" application patterns.

Later on, Stegmüller used the formal apparatus of Sneed's metatheory in order to clarify formally the notions entailed in the first and last of such components; in particular, he analyzed Kuhn's "symbolic generalizations" as identical with the "fundamental laws" of the so-called "structural nucleus" of a theory.

This paper deals with that first component of a paradigm, and proposes a new name for the entities that make it up: Moulines uses the term "guiding-principles", which seems to reflect their contents and function better than "symbolic generalizations" or "fundamental laws", and purports to analyze them in a more complete, detailed and "compromised" way. He pretends to validate his notion of guiding-principles for at least two important cases of scientific paradigms: classic mechanics and phenomenological thermodynamics, leaving open the question whether the same type of analysis applies to other cases as well.

If guiding-principles have the form here proposed, this would explain some of the peculiar characteristics of paradigms, which Kuhn has called attention to, and which have baffled many of his critics. Basically, such characteristics would be:

- a) The contents of a paradigm is a *promise* of future scientific success rather than a palpable realization.
- b) Paradigms give rise to the strange kind of activity which Kuhn calls "puzzle-solving".
- c) Paradigms are essentially *irrefutable* by experience.

Even though Stegmüller has partly explained these points, his analysis is still too raw and fails to show clearly what part do

guiding-principles play in paradigms, and why do they play it. Moulines tries to complement Stegmüller's analysis attending to the peculiar *logical form* which guiding-principles possess, at least in his two chosen cases. He proceeds by concentrating on the guiding-principle of classical mechanics in order to arrive, through the study of this particular example, to the general characteristics of such principles. Then he points out how the same considerations may be applied to thermodynamics.