

DISCUSIONES

SOBRE LOS FUNDAMENTOS DE LA TERMODINÁMICA Y EL MATERIALISMO

CÉSAR GÓMEZ
MIGUEL A. QUINTANILLA
Universidad de Salamanca

En la respuesta de Moulines (1979) a uno de los argumentos que Quintanilla (1979) aducía en defensa del materialismo, se dice:

...el hecho de que algunos conceptos como 'entropía', deban considerarse propiamente como refiriéndose a funciones y no a individuos, no les quita su carácter problemático para el materialismo . . . Aunque se trate de funciones y no de individuos, sigue en pie la cuestión de averiguar cuál es la naturaleza del dominio de definición de tales funciones, es decir, averiguar la naturaleza de sus argumentos. Por ejemplo, ¿cuáles son los individuos básicos apropiados para una teoría que contenga la entropía? Quintanilla no nos lo dice, y por mi parte dudo de que, sea cual sea la reconstrucción propuesta, aparezcan en ésta como argumentos de la entropía entidades claramente materiales (en un sentido no *ad hoc* de material). (Moulines, 1979, p. 114.)

A continuación, en nota a pie de página, cita su artículo de *Erkenntnis* (1975) como ejemplo de reconstrucción lógica de la termodinámica en la que los individuos básicos son *estados*, añadiendo: "es dudoso que tales entes sean compatibles con una genuina ontología materialista" (*ibid*).

Consideramos que el problema que señala Moulines —el de identificar los individuos básicos de una teoría, es decir, sus referentes— es realmente esencial para la filosofía de la ciencia. Con lo que no estamos de acuerdo es con la pretensión

de que la reconstrucción lógica de la termodinámica de sistemas en equilibrio simple (SET: *simple equilibrium thermodynamics*) a que alude Moulines sea un ejemplo aceptable como apoyo para su argumentación en contra del materialismo. Pasaremos, pues, a analizar una parte de la reconstrucción de la termodinámica por Moulines y a exponer una forma opcional y, en nuestra opinión, más correcta, de llevar a cabo la misma tarea. Dicha opción es, además, perfectamente compatible con el materialismo. Completamos la discusión proponiendo una forma de definir el predicado “ x es material” que podría enriquecer los términos de la polémica en torno al materialismo.

1. *La reconstrucción de la termodinámica*

En términos de la concepción estructural de Sneed-Stegmüller-Moulines, la tarea de identificar los referentes de una teoría T es equivalente a la de determinar el conjunto M_{pp} de modelos parciales posibles de T (cfr. Sneed 1971, Stegmüller 1976). Moulines (1975) denomina sistemas simples a los M_{pp} de la SET, y los caracteriza como procesos continuos sobre los que se ha definido un conjunto de funciones no T -teóricas (en esencia V, P, N , es decir el volumen, la presión y el número de moles, si se nos permite simplificar la formulación para el caso de fluidos homogéneos) a las que se exige que sean dos veces diferenciables.¹

Un proceso continuo se define a su vez como un triplete $\langle Z, \Phi, T \rangle$, donde Z es un conjunto no vacío ni numérico, T un intervalo de la recta real y Φ una función biunívoca de Z en T . De esta manera se dota a Z de la estructura de un espacio métrico, lo cual satisface una exigencia de las condiciones de diferenciabilidad de V, P, N .

En efecto, la función Φ permite definir una distancia, entre elementos de Z , de la forma $d(z, z') = | \Phi(z) - \Phi(z') |$.

¹ Estas son las funciones que Moulines adopta como no T -teóricas en la termodinámica. No entramos aquí en la discusión de si sería preferible adoptar otras como, por ejemplo, hace Truesdell (1973).

Ahora bien, puesto que Moulines advierte explícitamente que $\langle Z, \Phi, T \rangle$ no necesita interpretarse (e incluso que no es conveniente interpretarlo como un proceso temporal), cabe pensar que no hay en principio una Φ privilegiada o, lo que es lo mismo, que se pueden definir diferentes métricas d_i utilizando distintas funciones Φ con resultados no siempre topológicamente equivalentes. La única forma de cerrar tal posibilidad consiste en que Z se considere en realidad como cualquier trayectoria en el espacio de estados definido en R^3 por las funciones V, P, N . Ahora bien, si Z se concibe de esta manera, entonces no es posible considerarlo al mismo tiempo como dominio de V, P, N .

En otras palabras: o bien Z es el dominio de definición de V, P, N , y entonces hay que dotarlo de una métrica “realista” en que la definición de continuidad se corresponda con la continuidad física implicada en la medición de las variaciones continuas de volumen, presión, etcétera; o bien Z se define como una trayectoria continua en el espacio de estados de sistemas simples posiblemente termodinámicos (más apropiado sería llamarlos sistemas o procesos termocinéticos, como hace Truesdell [1973], por analogía con los procesos cinemáticos de la mecánica), que constituye el conjunto de todas las tríadas posibles de valores de las funciones V, P, N , en cuyo caso tenemos que plantear en otros términos el problema de identificar el dominio de definición de tales funciones.

En nuestra opinión, la solución sería prescindir de la noción de proceso continuo “abstracto” —que es la que de hecho pretende introducir Moulines como dominio de definición de las funciones V, P, N —, sustituyéndola por la noción física de continuidad temporal de un sistema concreto, y definir entonces las funciones no T -teóricas de la termodinámica como funciones de $T \times A$ en R (donde T representa el tiempo físico y A un conjunto de sistemas físicos concretos).

En otras palabras: proponemos caracterizar los M_{pp} de la SET por un conjunto A de sistemas físicos concretos,

localizables espaciotemporalmente, y una función de estado $F = \langle V, P, N \rangle$ con dominio en $T \times A$ y codominio en R^3 (con $T \subset R$). Obviamente T representa un intervalo temporal, y las tríadas de valores $\langle r_v, r_p, r_n \rangle$ de F pueden interpretarse como los resultados de las mediciones de volumen, presión y número de moles en cada sistema concreto a A . Asumimos, además, que los valores de F varían continuamente en el tiempo para cada sistema concreto a . Es decir, que $F(a, t): a \times T \rightarrow R^3$ es continua y diferenciable. Evidentemente, A no es cualquier conjunto de sistemas físicos, sino solamente el conjunto de sistemas para los cuales tiene sentido hablar de volumen, presión y número de moles como propiedades (o, si se prefiere, para los cuales es posible concebir operaciones de medición de estas propiedades).²

La diferencia entre nuestra propuesta y la de Moulines reside en que hemos reemplazado el conjunto Z de Moulines por el producto $A \times T$, donde —a diferencia de Z , que es una entidad abstracta con una métrica no especificada— tanto A como T están interpretados.

Quizá puedan concebirse objeciones metafísicas contra la introducción de entidades como A y T en la formalización de la teoría. Pero cualquier tipo de escrúpulo a este respecto quedará desechado si se considera con detenimiento qué ocurre si nos mantenemos en la ambigüedad de la caracterización de los procesos continuos que Moulines propone. Pues lo que ocurre es, en primer lugar, que tenemos que violentar la forma natural de concebir y aplicar la teoría termodinámica para podernos mantener en la ortodoxia de una metaciencia incontaminada de materialismo. En segundo lugar, que corremos el riesgo de aceptar como procesos termocinéticos algunos casos más bien sospechosos y extraños. Veamos.

Podría evitarse la ambigüedad de la caracterización de los procesos continuos por Moulines tomando en consideración la

² Nuestra interpretación de A es coherente con el procedimiento que utiliza Moulines para seleccionar las funciones no T -teóricas acudiendo al criterio de comprensión de su significado, sin necesidad de adoptar el criterio de Sneed. Véase al respecto el comentario de Stegmüller (1978).

forma como de hecho se aplica la termodinámica. Ello equivale a definir directamente la noción de proceso termocinético, en vez de suponer que contamos previamente con un conjunto de estados abstractos. Supóngase que nos encontramos ante un sistema físico —por ejemplo, una vasija llena de agua— sobre el que podemos realizar una serie de operaciones de medición cuyo resultados son triadas $\langle r_v, r_p, r_n \rangle$. Disponiendo ya de esos datos, podemos reconstruir la definición de proceso continuo por Moulines en estos términos:

$x = \langle Z, \Phi, T, V, P, N, E \rangle$ es un proceso continuo termocinético ssi:

- (i) Z es un conjunto no vacío;
- (ii) E es un conjunto de triadas de valores $\langle r_v, r_p, r_n \rangle$ resultados de las operaciones de medición ya realizadas;
- (iii) V, P, N son funciones de Z en R tales que las triadas $\langle r_v, r_p, r_n \rangle \in E$ constituyen valores suyos;
- (iv) Φ es una aplicación biunívoca de Z en T tal que las funciones V, P, N son continuas y dos veces diferenciables respecto a la topología definida por Φ en Z .

Así es como Φ deja de ser ambigua, puesto que está determinada por las condiciones (iii) y (iv). Por otra parte se evita, para satisfacción de Moulines, introducir en la reconstrucción de la teoría la noción de sistema concreto o de intervalo temporal. Pero el resultado sigue siendo, cuando menos, artificioso. Implicaría, por ejemplo, recomendar que se proceda a aplicar la termodinámica de acuerdo con el siguiente conjunto de reglas:

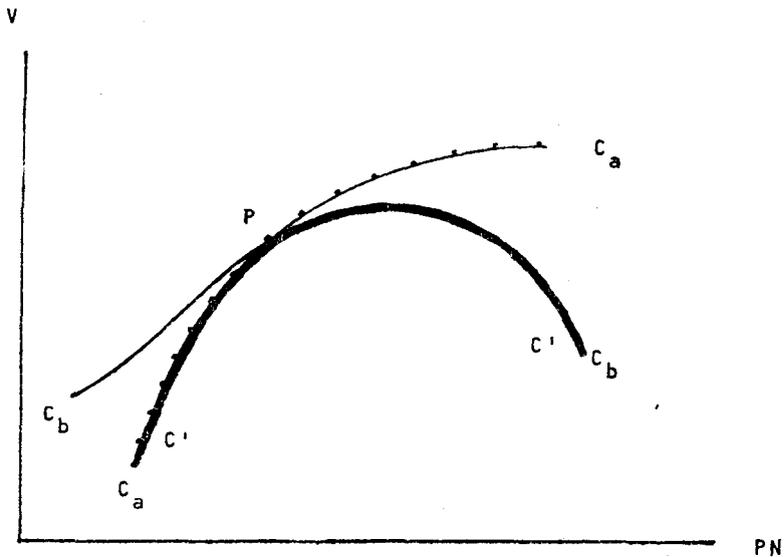
- R.1: Tome usted lo que normalmente llama una vasija de agua y realice un conjunto apropiado de mediciones de su volumen, presión y número de moles.
- R.2: Coleccione los resultados de sus mediciones.
- R.3: Busque un Z y un Φ que cumplan con las condiciones

(i) - (iv), tomando como valores r_v, r_p, r_n los resultados coleccionados.

R.4: Si su búsqueda tiene éxito, no diga que la vasija es un posible sistema termodinámico. Diga más bien que donde está la vasija anda ocurriendo un proceso.

Se logra, en efecto, prescindir de las vasijas o los sistemas físicos concretos al final de la reconstrucción de la teoría, pero sólo a costa de ocultar que los tuvimos en cuenta al principio y que tendremos que volver a tomarlos en consideración tan pronto como pretendamos aplicar la teoría.

Pero además hay otra pega. La reconstrucción de Moulines puede llevarnos a considerar como procesos termocinéticos cosas bastante extrañas. Veamos un ejemplo. Tomemos dos vasijas llenas de agua, a y b . Observamos la vasija a que se encuentra, por ejemplo, en Salamanca, durante un cierto periodo de tiempo, y medimos su presión, volumen y número de moles, quedando reflejados los resultados de estas mediciones en la curva C_a de la figura.



Unos meses después realizamos mediciones del mismo tipo sobre la vasija b situada, por ejemplo, en la ciudad de México, y obtenemos la curva C_b de la figura. Supongamos que existe un punto P en que ambas curvas se cruzan, es decir, en el que los valores r_v, r_p, r_n coinciden para a y b . En estas condiciones el conjunto de tríadas de valores r_v, r_p, r_n representado por la curva C' (trazo grueso) constituye un proceso en el sentido de la definición anterior (y, por lo tanto, en el de la definición original de Moulines, que es menos restrictiva). Es obvio, sin embargo, que C' no representa un proceso físico. Ahora bien, si aceptamos la definición anterior de proceso termocinético, ¿cómo podemos saber que un determinado proceso no sea del mismo tipo que el que representa la curva C' ? En otras palabras: por no querer introducir en la reconstrucción de la teoría el sospechoso concepto de sistema físico concreto y de marco de referencia temporal, tendremos que aceptar siempre la posibilidad de que la vasija con la que empezamos a realizar las primeras mediciones no sea la misma que aquella con la que realizamos las últimas.³ Si la negativa a introducir $A \times T$ como dominio de V, P, N se debía a escrúpulos metafísicos, creemos que las consecuencias de tales escrúpulos son suficientemente graves como para prescindir de ellos.

Es posible encontrar alguna explicación a la forma de proceder de Moulines, pero ello nos llevaría a entrar a fondo en la discusión de la llamada concepción estructural de las teorías científicas. Nos limitaremos a señalar un punto de discrepancia. Quintanilla (1979) hablaba de la necesidad de distinguir entre entidades (o cosas) y propiedades de tales entidades, expresiones que Moulines, en su réplica, traducía por “individuos” (o argumentos de posibles funciones) y

³ El papel que cumple $A \times T$ en nuestra formulación podrían desempeñarlo, en el formalismo de Moulines, las ligaduras (*constraints*) generales de las que él habla (1979, p. 117), aunque sin desarrollar la idea. Advertimos, sin embargo, que en su exposición de las ligaduras especiales de la termodinámica se basa en la operación de *combinación de sistemas*, y que la ambigüedad del concepto de sistema simple que pone de relieve la curva C' de nuestro ejemplo se transmitiría a los sistemas combinados.

funciones definidas sobre conjuntos de tales individuos. La forma de hablar que adopta Moulines, aunque corriente en la literatura científica, debería evitarse en la metacientífica, puesto que da lugar a confusiones. Sería más riguroso decir que los argumentos de una función representan (designan o denotan) cosas individuales y las funciones representan propiedades de cosas. Porque es obvio que una función (que es un constructo o, si se prefiere, una entidad abstracta) no se puede definir sobre cosas, sino sobre conjuntos, que también son constructos. Pero si desde el principio se identifican funciones con propiedades, no es de extrañar que al final haya que decir que los individuos que ostentan esas propiedades son entidades abstractas. Frente a esta forma de proceder, nuestra propuesta implica mantener la distinción tajante entre el formalismo de una teoría y su interpretación factual. El primero tiene que ser de tal naturaleza que admita una interpretación factual aceptable. El problema de la reconstrucción de la SET por Moulines no reside en que los referentes de la teoría sean entidades abstractas, sino en que el formalismo no es plenamente interpretable en términos factuales.⁴

Podemos ahora volver al problema de la ontología materialista, que fue el origen de esta discusión.

2. *El problema del materialismo*

En contra de la ontología materialista se puede argumentar siguiendo dos estrategias diferentes. Una de ellas es estéril; la otra puede ser fructífera, aunque no sea concluyente. La primera consiste en postular que cualquier conjunto de cosas que el materialista proponga como prototipo de entidades materiales es posible concebirlo en términos no materialistas (es una estrategia como la de Berkeley o la de las mónadas de Leibniz, que a veces utiliza Moulines). Esta es

⁴ Para una forma opcional de entender la semántica de las teorías científicas, véase Bunge (1974). Tuomela (1978) ha aplicado el mismo tipo de semántica al análisis de problemas relacionados con la evolución de teorías.

trategia es estéril porque, en el nivel de opciones ontológicas en que se sitúa, es obvio que ninguna metafísica es enteramente refutable, lo cual hace que los únicos criterios que pueden seguirse en la discusión sean de tipo externo: lo más que puede hacer el materialista es preguntar a su oponente por las razones que le mueven a semejantes extravagancias (la extravagancia, por ejemplo, de pensar que mi mano no es realmente una cosa material, sino una ilusión perceptiva) o, quizá, preguntarle si realmente está hablando en serio. La otra estrategia, más fructífera, es la que el mismo Moulines utiliza de forma más consecuente. Consiste en mostrar que no es posible definir de forma no vacua el predicado “ x es material”, o que las formas más plausibles de dar una tal definición producirían una contradicción con los compromisos ontológicos que podemos encontrar a través de la reconstrucción lógica de teorías físicas. Nuestra discusión de la reconstrucción lógica de la SET nos permite, ya, negar esta última afirmación para el caso concreto de la termodinámica. La opción que proponemos adopta como concepto primitivo el de sistema físico concreto, localizable espaciotemporalmente, del cual no puede decirse, en principio, que sea intuitivamente incompatible con el concepto de entidad material. Ello no es suficiente, desde luego, para salvar la objeción de vacuidad para cualquier definición del predicado “ x es material”. Este último problema es, sin embargo, resoluble (o, al menos, susceptible de análisis clarificador) mediante una estrategia no ajena a la que nos ha guiado en la discusión de la termodinámica.

En efecto, es posible dar una definición no vacía de “ x es material”. Partimos para ello del supuesto de que nadie va a arrojar contra el materialista argumentos tipo Berkeley, y que, por lo tanto, todo el mundo acepta que cosas tales como reglas, termómetros, vasijas de agua, etcétera, son cosas típicamente materiales, es decir, tales que, si no fueran entidades materiales, ninguna otra cosa podría serlo. Esto nos sugiere tomar como entidades típicamente materiales el conjunto de los *cuerpos físicos macroscópicos*, sin preocuparnos, por el momento, de definir estrictamente este conjunto. A partir de

él podemos definir recursivamente el predicado “ x es material” en estos términos (cfr. Quintanilla, 198. . .):

- (i) Para todo x , si x es un cuerpo físico macroscópico, entonces x es material.
- (ii) Para todo x , si hay un y tal que y es material y x actúa sobre y o y actúa sobre x , entonces x es material.

Esto equivale a reducir el concepto de “ser material” a los de “cuerpo físico macroscópico” y “actuar sobre”. Puesto que asumimos que nadie va a plantear la discusión a propósito del primer concepto, veamos qué ocurre con la presencia del predicado relacional “ x actúa sobre y ” en nuestra definición.

Puede pensarse, desde luego, que la definición no permite avanzar gran cosa, puesto que el *definiens* es tan oscuro y problemático como el *definiendum*. En apoyo de esta objeción puede aducirse, por una parte, la argumentación de Hume contra la noción metafísica de causalidad, sin duda conectada con la de “acción sobre”. Por otra parte, puede argumentarse que no será posible entender “ x actúa sobre y ” sin conocer previamente la naturaleza del dominio de esta relación, lo cual conduciría a demostrar el carácter en último término circular de la definición propuesta.

Pensamos, sin embargo, que estas objeciones no son mortales. La primera no es pertinente, puesto que lo que necesitamos es un concepto de “acción sobre”, independientemente de que tal concepto deba ser analizado en términos de la crítica de Hume al principio de causalidad, o en otros cualesquiera. En cuanto a la segunda objeción, nos limitaremos a indicar cómo podría entenderse el significado de “ x actúa sobre y ” de manera que la presencia de este concepto en la definición de “ x es material” no implicase circularidad.⁵

Hay un sentido en el que “ x actúa sobre y ” resulta tan significativo como el predicado “ x es un cuerpo físico macroscópico”.

⁵ Nótese, además, que la propia formulación de Moulines utiliza el concepto de “acción sobre” entendida en sentido general (Moulines, 1979, p. 118).

pico". De hecho, en la reconstrucción de la termodinámica que hemos propuesto, hay que partir no sólo de que podemos identificar vasijas llenas de agua, reglas, patrones de medida, barómetros, termómetros, etcétera (cuerpos físicos macroscópicos), sino también de que es posible actuar sobre tales entidades o, de manera más general, que tales entidades actúan unas sobre otras (en las operaciones de medición, por ejemplo). Esto nos sugiere la siguiente forma de analizar el predicado " x actúa sobre y ": Primeramente se caracteriza tal relación para cuerpos físicos macroscópicos. Esto puede hacerse siempre que tengamos una forma de representar cuerpos físicos macroscópicos y de distinguir diferentes estados en ellos. A partir de aquí puede definirse un acontecimiento en el sistema o cuerpo x como un cambio de estado de x , un proceso como una sucesión de acontecimientos y una acción de x sobre y como un acontecimiento en el sistema compuesto de x e y . Para más detalles puede consultarse el volumen III de Bunge (1977) donde estas nociones están desarrolladas con más rigor y desde un punto de vista general. El concepto de "acción sobre" que se obtiene así es aplicable a cualquier par de objetos a los que puedan aplicarse conceptos como los de estado, acontecimiento, proceso, etcétera, independientemente de que tales objetos se consideren materiales o no.

Somos conscientes de que nuestra propuesta no está exenta de problemas. Es seguro que, para discutirla, habrá que entrar en cuestiones no sólo de ontología, sino de semántica de la ciencia. En todo caso, creemos que permite dar un giro a la discusión en torno a la ontología materialista, situándola en términos nuevos y quizá más fructíferos que los habituales.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunge, M. (1974, 1977, 1979), *Treatise on Basic Philosophy*. Vols. I y II: *Semantics* (1974); vols. III y IV: *Ontology* (1977 y 79); Dordrecht, Reidel.
- Moulines, C. U. (1975), "A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics", *Erkenntnis* 9, 101-130.
- (1977), "Por qué no soy materialista", *Crítica* IX/26, 25-37.
- (1979), "Las tribulaciones del materialismo. Respuesta a mis críticos", *Crítica* XI/33, 87-118.
- Quintanilla, M. A. (1979), "La crítica del materialismo", *Crítica* XI/33, 79-85.
- (198...), "Materialist Foundations of Critical Rationalism", en R. S. Cohen y J. Agassi (eds.), *Festschrift in Honor of M. Bunge*, Dordrecht, Reidel (en prensa).
- Tuomela, R. (1979) "Scientific Change and Approximation", *Acta Philosophica Fennica* 30, n° 2-4, 243-264.
- Truesdell, C. (1973). *Termodinámica racional*. Barcelona y México, Reverté.
- Stegmüller, W. (1979). "The Structuralist View: Survey, Recent Developments and Answers to Some Criticisms", *Acta Philosophica Fennica* 30, n° 2-4, 113-129.