

# Temperatura, filosofía operacional y realismo ingenuo

Por JULIO PALACIOS

## DIVERSIDAD DE OPINIONES

La medida de temperaturas se realiza con todo el rigor apetecible, desde las más elevadas hasta las que distan poquísimas—algunas milésimas de grado—del cero absoluto. Por otra parte, la temperatura figura en ecuaciones que pueden ser tomadas como modelo de exactitud, por ejemplo la de Planck referente a la distribución de la energía en el espectro de la radiación emitida por el cuerpo negro. Siendo esto así, resulta notable el hecho de que se discuta si la temperatura es o no magnitud física.

La discusión se ha generalizado entre los físicos argentinos. El profesor T. Isnardi (1) afirma que la temperatura no debe considerarse como magnitud y, entre otras razones, aduce el siguiente párrafo de Ernest Mach: «En la naturaleza existen estados térmicos (*Thermischezustände*); pero la noción de temperatura existe solamente por nuestra arbitraria definición, que hubiera podido ser cualquiera otra. Hasta muy recientemente, sin embargo, los investigadores de este capítulo parecen haber buscado, consciente o inconscientemente, una medida natural de la temperatura, una verdadera temperatura, o un especie de idea platónica de la temperatura».

Por su parte, Loedel (2) sostiene, basándose en el mismo párrafo del fundador de la Filosofía operacional, que son magnitudes físicas todas las que él llama *temperaturas empíricas*, o sea las que resultan de las medidas realizadas con termómetros cualesquiera.

Las opiniones sustentadas por ambos físicos difieren de la tesis de Rey Pastor (3), quien afirma que las temperaturas medidas tomando arbitrariamente el cero no son magnitudes y, en cambio, sí lo es la temperatura absoluta. El que hable Rey Pastor de la temperatura absoluta en singular parece indicar que bastarían sendos cambios de cero para reducir a una sola todas las escalas empíricas. No ocurre así, sin embargo, pues cada

escala arbitraria tiene su correspondiente escala absoluta, por lo que, aun con la restricción impuesta por Rey Pastor, habría tantas especies de temperatura como escalas.

Desde luego, todos los autores citados tienen razón, cada uno desde su punto de vista, pues todo depende de lo que se entienda por magnitud física. Pero, a mi modo de ver, si la cuestión se plantea en sus debidos términos, se llega a la conclusión de que existe una sola temperatura, que adquirió el rango de magnitud física cuando se descubrió la escala termodinámica, y que no se altera aunque se cambie arbitrariamente el valor del grado.

## LA FILOSOFIA OPERACIONAL

Comencemos por analizar el párrafo de Mach transcrito más arriba. ¿Qué son esos *estados térmicos que existen* en la naturaleza? Creo que todos estarán conformes en que la existencia de tales estados nos es revelada por la sensación que nos permite afirmar que los cuerpos están más o menos calientes. Este adjetivo tiene su equivalente en todos los idiomas, lo que prueba que corresponde a un concepto o noción anterior a la Física e independiente de la misma. Esta concepción abstracta ha recibido recientemente el nombre de temperatura, pero la idea es tan vieja como la humanidad. ¿Cómo puede, pues, afirmar Mach que la temperatura existe gracias a una definición arbitraria?

Según los partidarios de la Filosofía operacional, todo conocimiento físico debe basarse en medidas, y es necesario que la operación de medir sea definida con toda precisión, describiendo los aparatos que han de utilizarse y las operaciones que con ellos se han de realizar a fin de atribuir un número a cada una de las cantidades que se trata de medir. Con las medidas crea nuestra mente las magnitudes, por lo que, según dicha Filosofía, cabe establecer la siguiente ordenación:

1.º Existen fenómenos.

2.º En cada fenómeno puede realizarse el físico diversas medidas definidas operacionalmente.

3.º De las medidas nacen las magnitudes, que son creaciones mentales.

Aplicando este orden de ideas al caso de la temperatura, resultaría que, de acuerdo con Mach:

1.º Existen diversos estados térmicos.

2.º El cambio de estado térmico se manifiesta por gran número de efectos observables y cada uno puede servir para establecer arbitrariamente infinidad de definiciones operacionales de la temperatura.

3.º Cada definición arbitraria conduce a una noción distinta de la temperatura.

Esta manera de exponer la cuestión se presta a varias objeciones. En primer lugar, lo que se dice de la temperatura es aplicable a cualquier otra magnitud, pues todas se prestan a múltiples definiciones operacionales. Las alturas, por ejemplo, podrían medirse con cualquiera de los variados tipos de altímetros usados en aviación.

Por otra parte, la noción de temperatura es anterior a todo intento de medirla. Es seguro que el hombre, en cuanto supo hablar, inventó palabras para decir que sentía frío o calor y que, al llegar a la edad de bronce, disponía de un vocabulario con el que expresar todo lo concerniente al tratamiento térmico de los metales, sin tener que esperar a que Galileo inventase el primer termómetro. Decir que la noción de temperatura se crea a partir de su medida equivale a afirmar que no se puede tener la noción de tamaño mientras, de un modo u otro, no se ha aprendido a medir volúmenes. Esa que llama Mach «idea platónica de la temperatura» existe en toda mente humana, como lo prueba el hecho de que en todos los idiomas haya palabras para expresarla.

Finalmente, las definiciones meramente operacionales no bastan para crear la ciencia, según haremos ver a continuación.

#### EL REQUISITO DE UNIVERSALIDAD

La Física es ciencia porque ha logrado descubrir *leyes universales*, esto es, regularidades que se cumplen en todos los fenómenos con independencia de la elección convencional de las unidades de medida. Por eso, la

Mecánica de Newton no sufrió ningún trastorno cuando se adoptó el sistema métrico decimal. Esta universalidad no hubiera podido lograrse con las definiciones meramente operacionales de las magnitudes. Así, tomando como patrón de longitudes una cinta métrica de divisiones desiguales y reproduciéndola exactamente, se podría atribuir un número, siempre el mismo, a cada longitud, y nadie podría negar que la medición de longitudes estaba perfectamente definida desde el punto de vista operacional. Tal definición podría bastar para muchos fines prácticos, pero no serviría para crear una Geometría universal. Con la tal cinta métrica, se podrían descubrir empíricamente ciertas regularidades entre los elementos de las figuras geométricas, pero cambiarían en cuanto se alterasen las normas para trazar las divisiones en la cinta; no serían universales.

Estas consideraciones van a conducirnos a la solución del problema que nos ocupa. Nos bastará basarnos en el siguiente hecho, que elevaremos a la categoría de postulado:

*Todas las leyes físicas fundamentales son relaciones de proporcionalidad entre potencias de las cantidades que intervienen en el fenómeno considerado.*

De aquí resulta que, para descubrir y comprobar una ley no es preciso elegir unidades, sino definir la razón entre cada dos cantidades de una misma magnitud. Así, la ley fundamental:

$$\text{fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración},$$

que sólo es válida con unidades convenientes de fuerza, de masa y de aceleración y que, por tanto, no es universal, adquiere carácter de universalidad si nos limitamos a decir que la aceleración adquirida por un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza que sobre él actúa y está en razón inversa de la masa del mismo. Según esto, para que el enunciado de dicha ley tenga sentido basta haber definido previamente lo que se entiende por razón entre aceleraciones, entre fuerzas y entre masas, sin que sea preciso establecer ningún convenio acerca de las unidades. Desde luego, dicha definición ha de ser operacional; pero, y en esto consiste la novedad, ha de ser también universal, lo cual significa que el número hallado como razón entre dos cantidades ha de ser independiente de la naturaleza de los cuerpos empleados en la construcción de dichos aparatos, pues de otro modo no tendrían

las leyes el carácter de universalidad que les es esencial.

#### CANTIDADES Y MAGNITUDES

Gracias al requisito de universalidad impuesto a la definición de la razón entre dos cantidades, tiene sentido afirmar, independientemente de todo convenio, que una de ellas es tantas o cuantas veces mayor que la otra.

*De dos entes observables diremos que son comparables entre sí y que son cantidades de una misma magnitud cuando se ha definido la razón entre los mismos por vía operacional y universal.*

Según este orden de ideas, las cantidades son los datos primarios de la observación y con ellas se originan las magnitudes, que son creaciones mentales debidas a nuestra ineludible facultad de abstraer. Lo primario no son las medidas, sino las cantidades y, por tanto, no es preciso partir de las primeras para adquirir la noción de magnitud. Esta ordenación corresponde al proceso natural en que se pasa de lo concreto, que son las cantidades, a lo abstracto, que son las magnitudes. Pero se puede proceder al revés, y decir que:

1.º Las magnitudes son conceptos abstractos que resultan de la contemplación de los fenómenos físicos.

2.º Se llama cantidad el estado particular con que una magnitud se presenta en un cuerpo o en un fenómeno determinado.

3.º De una magnitud se dice que es magnitud física cuando sus cantidades son comparables entre sí.

Aplicando estas consideraciones, que son las propias del realismo ingenuo, al caso de la temperatura, diremos que:

*Existen estados térmicos, los cuales son cantidades de una magnitud llamada temperatura. Para que la temperatura adquiriera el rango de magnitud física es preciso hallar el modo de definir la razón entre cada dos estados térmicos por vía operacional y universal.*

#### LAS ESCALAS CONVENCIONALES

Desde los tiempos de Galileo trataron los físicos de construir termómetros, o sea aparatos que permitiesen atribuir un número (grado de calor) a cada estado térmico. Esto basta para reproducir los referidos estados siempre

que se desee y para medir empíricamente todas aquellas magnitudes en cuya definición intervienen intervalos de temperatura, por ejemplo, coeficientes de dilatación térmica, calores específicos, etc. Pero estas medidas adolecían de varios inconvenientes. En primer término ocurría que la posición del cero en la escala era arbitraria, por lo que las escalas no eran absolutas y en ninguna fórmula podía intervenir la temperatura, sino sus diferencias \*).

Por otra parte, aunque se tomase para todos los termómetros el mismo cero convencional, y aunque se atribuyese siempre el mismo valor al intervalo entre dos puntos fijos convencionalmente elegidos, sucedía que cualquier otro intervalo adquiriría valores diferentes según fuese el tipo de termómetro o la sustancia utilizada en su construcción. Así, el intervalo entre el punto de fusión del mercurio y el del hielo daba medidas diferentes con el termómetro de mercurio que con los termómetros de gases o con los termómetros de resistencia eléctrica, aunque estuviesen graduados del mismo modo, por ejemplo, con la escala de Celsius o con la de Fahrenheit. De ello resultaba que los coeficientes de dilatación, la conductividad térmica, los calores específicos, etc., adquirirían valores diferentes según fuese el termómetro utilizado.

Con las escalas convencionales, hubiera sido imposible elaborar las teorías en que interviene la temperatura absoluta o cualquiera de

(\*) Niega Loedel, en contra de lo afirmado por Rey Pastor, que sea preciso conocer el cero absoluto o cero físico para que la temperatura adquiriera el carácter de magnitud, y aduce como razón el que también «para relacionar diversos instantes de tiempo (s.c) se elige convencionalmente un cero arbitrario que, en nuestra cronología, coincide con el 1.º de enero del año del nacimiento de Cristo».

Este ejemplo nada prueba, porque en Física se manejan siempre intervalos de tiempo, o sea duraciones, y para su medida no es preciso elegir convencionalmente ningún cero arbitrario. Para medir el período de un péndulo o la velocidad de un móvil, no hace falta mencionar si el tiempo se computa con la era cristiana o con la hebraica.

Si en Física se tratara tan sólo de medir intervalos entre puntos fijos de temperatura, no sería preciso averiguar si existía o no el cero absoluto, y podría ser magnitud física el intervalo y no serlo la temperatura. Pero hay leyes en Física que se enuncian como relaciones de proporcionalidad entre la temperatura y alguna otra magnitud. La ley de Stefan, por ejemplo, dice que la energía emitida por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura. Esta ley carecería de sentido si no existiera un cero absoluto.

Por creer Loedel que la elección del cero es siempre cosa convencional, niega que haya razón para distinguir entre las magnitudes (yo diría medidas) absolutas y las relativas. Propone, en cambio, que se distinga entre magnitudes sin signo y magnitudes con signo. A nuestro modo de ver, lo del signo importa poco, y no puede tomarse como razón para calificar de relativas a las que lo necesitan. Así, es ineludible atribuir signo al trabajo, al calor y a las cargas eléctricas, y, sin embargo, son magnitudes susceptibles de medida absoluta porque hay para ellas un cero físico o natural.

las magnitudes con ella relacionadas. En particular, las teorías cuantistas de la radiación y de los calores específicos estarían por hacer.

En defensa de las escalas no absolutas podrá aducirse el hecho de que todavía se hallen en uso la de Celsius y la de Fahrenheit, y de que se utilicen termómetros de tipos muy diversos. Pero ocurre que los termómetros en uso dan indicaciones que, salvo una constante aditiva (\*), difieren muy poco de las medidas que se obtendrían con la temperatura termodinámica, y existen tablas para efectuar la corrección oportuna. Los termómetros cuyas indicaciones, salvo una constante aditiva, difieren mucho de las obtenidas con la escala termodinámica han sido desechados (\*\*).

#### LA ESCALA DE AVOGADRO

Según nuestras normas, para que la temperatura sea magnitud física, es preciso hallar un criterio que permita definir la razón entre cada dos estados térmicos. Tal criterio ha de ser universal, esto es, independiente de la naturaleza de los cuerpos que se utilicen para aplicarlo.

Como la temperatura no es una magnitud aditiva por acumulación, al modo de la masa o del volumen, el referido criterio ha de derivar de un postulado comprobable experimentalmente. *El decir si la temperatura es o no una magnitud física no es resultado de un convenio, sino fruto de un descubrimiento.*

Por dos caminos se ha llegado a establecer el referido criterio, a saber: por el estudio de

(\*) Es esta ocasión de decir expresamente que todas las escalas convencionales han de satisfacer una condición para que puedan convertirse en escalas absolutas. Consiste en que, al tomar como cero el cero natural, no deben resultar valores infinitos para las medidas de las demás temperaturas. Por esta razón, la escala logarítmica de Dalton no sirve para el caso, pues el intervalo entre el cero absoluto y cualquier punto fijo adquiere un valor infinitamente grande. Por ejemplo, si se impone la condición de que la escala de Dalton coincida con la escala absoluta centígrada en los puntos de fusión del hielo y de ebullición del agua, las medidas  $\theta$  y  $T$  de cualquier otra temperatura en una y otra escala están relacionadas por la expresión:

$$\theta = T_0 + 100 \frac{\ln T - \ln T_0}{\ln T_{100} - \ln T_0}$$

que da  $\theta = -\infty$  para  $T=0$ .

(\*\*) No creemos que tenga éxito, ni teórico ni práctico la «temperatura calorimétrica» propuesta por Loedel y Sábalo (4), que se basa en suponer constante la capacidad calorífica de un cuerpo puro, por ejemplo de un trozo de hierro. Tal escala adolece de todos los defectos posibles; no es absoluta porque, en virtud de la ley del cubo de Debye, la posición del cero absoluto queda indeterminada; no es universal, porque otro cuerpo daría resultados diferentes para la razón entre las temperaturas de cada dos puntos fijos; finalmente, sus discrepancias con la escala termodinámica son enormes, según es fácil de ver aplicando la teoría de Debye de los calores específicos.

las propiedades de los gases y por el segundo principio de Termodinámica.

El estudio experimental de la compresibilidad de los gases a diferentes temperaturas ha permitido establecer la escala de Avogadro, o escala de los gases perfectos, que reúne los dos requisitos de ser absoluta y universal. En su forma más escueta y prescindiendo de por menores de carácter histórico, su definición operacional es la siguiente: Supóngase que se trata de hallar la razón entre dos temperaturas,  $(T)$  y  $(T_0)$ , por ejemplo, entre dos puntos fijos. Manteniendo constante la presión, hállese la razón entre los volúmenes  $(V)$  y  $(V_0)$  que ocupa una masa gaseosa al ser sometida a las temperaturas  $(T)$  y  $(T_0)$ . Repítase la operación con presiones cada vez más pequeñas. El límite a que tiende la razón  $(V):(V_0)$ , cuando  $p$  disminuye indefinidamente, resulta ser, con toda la precisión deseable, independiente de la naturaleza del gas, y la razón buscada vale:

$$\frac{T}{(T_0)} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{(V)}{(V_0)} \quad (\text{entre cantidades})$$

Para aplicar esta relación, no es preciso elegir unidades ni para las temperaturas ni para los volúmenes, sino saber comparar estos últimos entre sí. En la comparación de temperaturas, por tanto, no hay nada que sea arbitrario o convencional, ni en la elección del gas, que puede ser cualquiera, ni en la adopción de unidades, que es innecesaria. Se trata, por tanto, de un criterio universal.

Ante todo, salta a la vista que todas las temperaturas tienen el mismo signo, y basta atribuir convencionalmente un valor numérico al intervalo entre dos puntos fijos cualesquiera para que resulte determinada la posición del mismo. Supóngase, por ejemplo, que se trata de construir una escala centígrada. Si  $T_{100}$  y  $T_0$  son, respectivamente, las medidas de los puntos de ebullición y de congelación del agua a la presión de una atmósfera, habrá de ser:

$$T_{100} - T_0 = 100$$

y

$$\frac{T_{100}}{T_0} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{pV_{100}}{pV_0} \quad (\text{entre medidas})$$

La eliminación de  $T_{100}$  conduce a:

$$T_0 = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{V_0}{V_{100} - V_0}$$

de donde resulta que la medida en valor ab-

soluto del punto de fusión del hielo puede realizarse sin más que medir la dilatación relativa de un gas cualquiera entre dichos puntos fijos y extrapolando las medidas para hallar el valor correspondiente a  $p=0$ . Así es como se ha averiguado experimentalmente que el cero absoluto se halla 273,15 grados centígrados por debajo del punto de fusión del hielo.

Es de notar que la determinación del cero absoluto o natural de temperatura se ha logrado sin necesidad de realizarlo experimentalmente, puesto que basta comparar los volúmenes de una masa gaseosa en los dos puntos fijos elegidos. Ni siquiera se exige que la fórmula empleada sea aplicable cuando la temperatura es muy baja, cosa que, por otra parte, es imposible de comprobar experimentalmente, porque no hay ningún cuerpo en el que puedan hacerse medidas de compresibilidad en estado gaseoso cuando la temperatura desciende por debajo de cierto límite.

La universalidad de la escala de Avogadro ha sido confirmada, con toda la precisión apetecible hasta temperaturas para las cuales el helio se comporta todavía como un gas. Con temperaturas muy próximas al cero absoluto resulta inútil la ecuación de los gases perfectos, pero ello no obsta para que, con su auxilio y previa la elección del grado quede determinada la posición del cero.

OTRAS ESCALAS UNIVERSALES Y ABSOLUTAS

La escala de Avogadro es absoluta y universal por el hecho de que la razón entre los valores que la magnitud  $pV$  adquiere en dos recintos isotermos sólo depende de la temperatura de ambos y no de la naturaleza del gas. Por tanto, se puede afirmar que cualquier otra magnitud que se comporte del mismo modo podrá utilizarse para definir una escala absoluta. Tal es el caso, por ejemplo, con cualquiera de las magnitudes observables en la radiación del cuerpo negro, por ejemplo, la energía total emitida en un tiempo determinado, la presión de la radiación, etc. Como es sabido, en esta propiedad se basa la medida de temperaturas elevadas.

Merece especial mención la que debiera llamarse *escala de Curie*, porque se funda en la siguiente ley descubierta por los esposos Curie. *La razón entre las susceptibilidades que adquiere un cuerpo paramagnético perfecto en*

*dos temperaturas es independiente de su naturaleza.*

Gracias a esta ley ha sido posible la medición de temperaturas tan bajas que el termómetro de gases deja de ser utilizable.

LA ESCALA TERMODINAMICA

El segundo principio de la Termodinámica niega, como es sabido, la posibilidad de construir una máquina térmica que suministre trabajo si no se dispone de dos cuerpos que tengan diferente temperatura. De este principio se deduce la escala termodinámica o de Lord Kelvin, de la que puede decirse que goza aún de mayor universalidad que la escala de Avogadro porque es realizable con cuerpos cualesquiera, sólidos, líquidos o gases.

No es esta ocasión de exponer el nada sencillo razonamiento que, partiendo del referido postulado, conduce con todo rigor y sin necesidad de nuevas hipótesis a la existencia de la escala termodinámica. Nos limitaremos a decir que en esta escala la razón entre dos temperaturas cualesquiera está definida por la fórmula:

$$\frac{(T)}{(T_0)} = - \frac{(Q)}{(Q_0)} \quad (\text{entre cantidades})$$

en la que  $Q$  y  $Q_0$  son dos cantidades de calor necesariamente de signo contrario. Esta fórmula permite la comparación de temperaturas sin necesidad de introducir ningún elemento arbitrario, por ejemplo un sistema determinado de unidades. Desde luego, basta adoptar convencionalmente para valor del grado el intervalo entre dos temperaturas para que queden determinadas las medidas de todas las temperaturas en valor absoluto, lo que prueba la existencia del cero físico o natural. Finalmente, todas las temperaturas han de tener el mismo signo, y basta convenir en que todas sean positivas para poder afirmar que *el cero absoluto constituye el límite inferior de todas las temperaturas.*

RELACION ENTRE LAS DIVERSAS ESCALAS ABSOLUTAS

La temperatura se manifiesta en Física como una variable de la que, en mayor o menor grado, dependen todas las magnitudes físi-

casos\*). Toda magnitud,  $M$ , que dependa de la temperatura servirá para establecer una escala universal con tal de que la razón  $(M)/(M_0)$  entre los valores que toma en dos puntos fijos cualesquiera sea independiente de la naturaleza de los cuerpos que le sirven de soporte, pues bastará convenir en que sea

$$\frac{(T)}{(T_0)} = \frac{(M)}{(M_0)} \quad (\text{entre cantidades}).$$

La elección del grado queda arbitraria y, por tanto, siempre se puede imponer la condición de que resulte una escala centígrada, y así quedará definida la medida de cualquier temperatura con relación al cero físico respectivo. Si la magnitud considerada no cambia de signo, no habrá temperaturas negativas.

Como se ve, existe la posibilidad de definir diversas escalas universales centígradas, y se plantea la cuestión de averiguar la relación que ha de existir entre las mismas. La solución ha de hallarse en cada caso particular, sea empíricamente, sea con auxilio de las teorías vigentes, cosa que ya está hecha en los casos que más importan. Pero el Análisis dimensional conduce a un resultado curioso, según vamos a ver.

Sean  $M$  y  $N$  dos magnitudes aptas para definir sendas escalas universales mediante las igualdades:

$$\frac{(T)}{(T_0)} = \frac{(M)}{(M_0)} \quad [1]$$

$$\frac{(\theta)}{(\theta_0)} = \frac{(N)}{(N_0)} \quad [5]$$

Con su auxilio, y previa la elección del grado en cada una, será posible atribuir a cada punto fijo dos números,  $T$  y  $\theta$ , entre los que habrá de existir una relación funcional:

$$0 = f(T, k) \quad [6]$$

Por hipótesis, ambas escalas son universales, lo que lleva consigo el que en [6] no pueda figurar ninguna constante característica. Admitamos, sin embargo, que figura una constante universal,  $k$ . Puesto que al establecer las escalas [4] y [5] no ha sido preciso fijar las unidades en que se han de medir

(\*) Al escribir esta frase viene a la mente la idea de excluir el tiempo, por aquello de que es la variable independiente por antonomasia. Pero en Física no se opera con tiempos sino con duraciones, las cuales son función de diversas magnitudes que, a su vez, suelen depender de la temperatura.

( $M$ ) y ( $N$ ), dicha constante sólo podrá depender de las unidades que se adopten para medir  $T$  y  $\theta$ , por lo que su fórmula dimensional habrá de ser:

$$[k] = T^a \theta^b$$

y el problema de Análisis dimensional planteado por la ecuación [6] se formulará así:

	$T$	$\theta$	$k$
$T$	1	0	$a$
$\theta$	0	1	$b$
	$b/a$	1	$1/a$

y resulta un solo monomio de dimensión nula:

$$T^{b/a} \theta k^{1/a} = \omega$$

o bien:

$$\theta = CT^\alpha,$$

de donde  $C$  es una nueva constante universal y  $\alpha = -b/a$ .

Las medidas obtenidas con dos escalas universales diferentes están ligadas por una función monomía.

Este resultado lleva consigo los siguientes corolarios:

1.º Si  $\alpha > 0$ , será  $T = 0$  cuando  $\theta = 0$ , esto es, los ceros de ambas escalas coinciden.

2.º Si  $\alpha < 0$ , será  $T = \infty$  cuando  $\theta = 0$ , esto es, una de las escalas está invertida con relación a la otra.

3.º Basta que en una escala universal no pueda haber temperaturas negativas para que suceda lo mismo en todas las demás. Todas serán escalas absolutas.

Para comprobar las precedentes consecuencias, consideremos las escalas universales que hemos mencionado anteriormente.

Escala termodinámica de Lord Kelvin:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{Q}{Q_0} \quad (Q = \text{cantidad de calor tomada del recinto isotérmico } T \text{ en un ciclo de Carnot.})$$

Escala de Avogadro:

$$\frac{T_A}{T_{A0}} = \frac{pV}{(pV)_0}$$

Escala de Stefan:

$$\frac{T_s}{T_{s0}} = \frac{I}{I_0} \quad (I = \text{intensidad de la radiación total emitida por un cuerpo negro.})$$

Escala de Curie:

CONCLUSION

$$\frac{T_c}{T_{c0}} = - \frac{\mu_0}{\mu} \quad (\mu = \text{permeabilidad de un cuerpo paramagnético perfecto.})$$

Experimentalmente se ha comprobado que la escala de Avogrado coincide con la de Lord Kelvin, luego:

$$T_A = T; \quad \alpha = 1; \quad C = 1$$

En cambio, la ley de Stefan, hallada primero empíricamente y deducida luego como consecuencia del segundo principio de Termodinámica, dice que:

$$I = aT^4$$

y, por tanto, debe ser:

$$\frac{T_s}{T_{s0}} = \frac{T^4}{T_0^4} \quad \alpha = 4$$

y, en las escalas centígradas:

$$C = \frac{100}{T_{100}^4 - T_0^4}$$

El caso más curioso es el de la que hemos llamado escala de Curie, pues como

$$\mu = \frac{\text{const.}}{T}$$

resulta:

$$\frac{T_c}{T_{c0}} = \frac{T_0}{T}$$

o sea:

$$\alpha = -1 \text{ y } C = 1 \text{ si } (T_c)_{100} - (T_c)_0 = -100,$$

es decir:

$$T_c = \frac{1}{T}$$

si ambas escalas son centígradas. Resulta, por tanto, una escala invertida que podría llamarse *escala de frío*. Al actual cero absoluto corresponde un frío infinito, el mayor de todos los fríos posibles. Para lograr un frío nulo habría que realizar una temperatura infinitamente grande. Entre  $T=0$  y  $T=1$ , el frío pasa de  $\infty$  a 1, y luego es siempre menor que la unidad. En el ambiente en que nos desenvolvemos, todos los fríos tienen medidas pequeñas si se utiliza la escala centígrada.

Mientras no se descubrieron las leyes que han conducido a las escalas universales, había que atenerse a las escalas empíricas y no era imposible dar sentido a la razón entre dos temperaturas, aunque no fuera más que por la arbitrariedad en la elección del cero. En tales circunstancias, la temperatura no podía figurar en el enunciado de ninguna ley universal, pues todas ellas consisten en relaciones de proporcionalidad. No había, pues, razón para decir que la temperatura fuese magnitud física y, en todo caso, podía ser llamada magnitud relativa de acuerdo con la designación de Rey Pastor.

Construir la Termodinámica con las escalas empíricas de temperatura era cosa comparable a la de elaborar la Geometría con un metro dividido en porciones desiguales. Con él se podría atribuir un número a cada distancia, y se podría afirmar que todos los radios de una circunferencia eran iguales, pero ya no ocurriría que el diámetro fuese el doble del radio y el teorema de Pitágoras, por ejemplo, estaría por descubrir. De modo análogo, cualquiera de las escalas empíricas servía para comprobar la existencia de los puntos fijos y para reproducir cualquier temperatura, pero con ellas no hubiera sido posible hacer intervenir la temperatura en ninguna ecuación de carácter universal. En particular, puede darse por seguro que la fórmula de Planck referente a la distribución de la energía en el espectro del cuerpo negro estaría por descubrir.

La cosa cambió totalmente cuando, gracias al segundo principio de Termodinámica, se dedujo la existencia de una escala universal, con lo que la temperatura se elevó al rango de magnitud física. Ello no fué resultado de un convenio, sino fruto de un descubrimiento, y no puede decirse con Mach que «la temperatura existe en virtud de una definición arbitraria».

Para los lógico-positivistas, la Física ha de construirse a partir de las medidas; lo demás es Metafísica. Para ellos, la temperatura es lo que se mide con tal o cual termómetro, y hay tantas temperaturas como termómetros habidos y por haber. Desde nuestro punto de vista, puede construirse la Física sin elegir unidades y, por tanto, sin hablar de medidas, pues las leyes fundamentales consisten en relaciones de proporcionalidad cuya comprobación exige solamente saber hallar la razón

entre dos cantidades de una misma especie. La temperatura es un concepto que nace de la existencia de estados térmicos observables y de nuestra facultad de abstraer. Cada estado térmico es una manera particular de encontrarse la temperatura, por lo que puede decirse que cada estado térmico es una cantidad de temperatura, y si, como suele hacerse en otros casos, se omite la palabra cantidad, resulta que estado térmico y temperatura son sinónimos. La noción de temperatura es anterior a los termómetros, y éstos fueron inventados con el propósito de medir las temperaturas.

No debe decirse que en un recinto isotérmico pueden definirse muchas temperaturas empíricas (por la misma razón que no se debe decir que un cuerpo tiene muchos volúmenes) sino que una misma temperatura se mide mal o bien según se opere. Con las escalas em-

píricas, las medidas son incorrectas, y no sirven para construir teoría físicas.

En resumen, en contra de la moda tan extendida entre los físicos contemporáneos, ratifico lo dicho en otro lugar (5). Creo que el realismo ingenuo es la Filosofía propia de la Física, y que, en particular, la temperatura tiene esa manera de ser que los positivistas califican despectivamente de idea platónica.

#### REFERENCIAS

- (1) T. ISNARDI: «Ciencia y Técnica». *Revista del Centro de Estudios de los alumnos de Ingeniería de Buenos Aires*. Junio de 1942.
- (2) E. LOEDEL PALUMBO: *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. Tomo CXXXV (1943).
- (3) J. REY PASTOR: «Curso cíclico de matemáticas». Madrid-Buenos Aires (1933), pág. 3.
- (4) E. LOEDEL PALUMBO y E. R. SÁBATO: *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. Tomo CLXXXIII (1942), pág. 222.
- (5) I. PALACIOS: Discurso de ingreso en la Real Academia Española. «El lenguaje de la Física y su peculiar Filosofía.» (1953).