

SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

P. Kittl⁽¹⁾ y G. Díaz⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Casilla 2777, Santiago, Chile

⁽²⁾Departamento de Ciencia de los Materiales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Casilla 2777, Santiago, Chile.

E-mail: gediaz@ing.uchile.cl

RESUMEN

Se da dos ejemplos de paradigmas que surgen de una gran masa de hechos experimentales y teóricos, que no están de acuerdo con los antiguos paradigmas, como el caso de la termodinámica y la teoría de la relatividad. Pero se debe ser claro en que sin esta cantidad de hechos, que forman una masa crítica, no puede surgir nada nuevo. Agregamos la Cosmogonía basada en las constantes absolutas de las diferentes disciplinas, c la constante de la velocidad de la luz, h y k de la termodinámica y la teoría de la radiación y f la constante universal de la gravitación. A esto agregamos la relación cosmogónica de Einstein $M/R = c^2/f$, donde M es la masa del universo y R su radio de curvatura.

1.- INTRODUCCIÓN

En su libro *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. T. S. Kuhn [1,2] describe varios procesos de cambios en los paradigmas científicos. Entendemos por paradigma a un conjunto de principios y métodos operativos que se supone que resuelven todos los problemas que se plantean en un cierto campo. Por ejemplo, la Mecánica Newtoniana en el campo de la Mecánica Celeste. Kuhn discute varios mecanismos que ocurren en las ciencias exactas como la Mecánica, la Termodinámica, la Química, el Electromagnetismo, la Relatividad y otras. El desarrollo histórico [3] estudiado por él, desestima la mayor parte de los historiadores como Papp [4] y Mieli [5]. Pero esto último debe ser mirado como un punto de vista muy sesgado. Para un lector imparcial la diferencia entre todos los que se ocupan de la historia de la ciencia es difusa y un esquema que describa los múltiples caminos que producen el progreso científico es casi imposible. Aquí discutiremos dos procesos que creemos extremos, el de la termodinámica que se formó en base a principios que aparecieron en diferentes épocas sin una conexión fuerte y la relatividad que aparece en una forma que parece instantánea pero rodeada de varios hechos que debe unificar.

2.- DESARROLLO DE LA TERMODINÁMICA

En 1824 [6] Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832) publica sus “Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propes a Développer Cette Puissance” en este trabajo desarrolla el segundo principio de la termodinámica y prácticamente el primero. No haremos aquí un estudio exhaustivo de la obra de Carnot, trabajo ya hecho en extenso por Aries [7]. Esencialmente introduce lo que se denomina “ciclo de Carnot”. Si el estado de un cuerpo experimenta sucesivas variaciones, en su volumen y temperatura, hasta alcanzar nuevamente su estado inicial, decimos que recorre un ciclo. Si estas variaciones pueden efectuarse en sentido inverso entonces el ciclo se llama reversible. En el caso de un gas perfecto, en esa época Carnot estaba al tanto de los

trabajos de Gay – Lussac (Joseph Louis Gay – Lussac, 1778 – 1850), Poisson (Simson Denis Poisson, 1781 – 1840), Mariotte (Edmé Mariotte, 1620 – 1684), Dalton (John Dalton, 1766 – 1844), Davy (Humphry Davy, 1778 – 1829), Faraday (Michael Faraday, 1791 – 1867), para nombrar sólo a los principales. Así que estando el gas en un punto $A(V,p)$ a la presión p y con volumen V , se expande isotérmicamente hasta $B(V,p)$, luego de B a $C(V,p)$ mediante una expansión adiabática, luego se lo comprime isotérmicamente hasta $D(V,p)$ y finalmente de D a A comprimiendo adiabáticamente. Damos al gas el calor Q_0 durante el trayecto de A a B , de B a C no damos ni quitamos calor al cuerpo, de C a D le quitamos la cantidad Q_1 y de D a A no le entregamos ni le quitamos calor. El calor transformado en trabajo es $Q_0 - Q_1$ y el rendimiento $Q_0 - Q_1/Q_0$ esto último según las leyes de los gases que conocía Carnot. Carnot postula que $Q_0 - Q_1/Q_0 < 1$. Carnot enuncia en su trabajo varios principios que lo llevan al segundo principio:

“La producción de la potencia motriz es debido al transporte de calor de un cuerpo caliente a otro frío”

“Una máquina térmica, es decir, una máquina donde el calor es el motor, no puede producir trabajo sin el empleo de dos fuentes de calor a dos temperaturas diferentes”

“El calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo frío a otro caliente”

“Una transmisión de calor de un cuerpo frío a un cuerpo más caliente no puede tener lugar sin una compensación”

“Una máquina térmica no puede extraer o producir calor si funciona con una sola fuente”

En todo su trabajo respecto a estos principios no aparece la noción de trabajo, es entonces totalmente independiente. Además, esto puede verse teniendo en cuenta que la temperatura puede definirse como lo que se mide con un termómetro y el calor, o cantidad de calor, lo que se mide con un calorímetro. Así que el segundo principio y sus consecuencias pueden desarrollarse en forma totalmente independiente del concepto de trabajo mecánico, cosa que Carnot comprendió totalmente.

La vinculación con el trabajo se obtiene a través de una experiencia que vincula el trabajo con el calor. Carnot, a través de las leyes de los gases y la vinculación de la presión con la fuerza y , por lo tanto con el trabajo mecánico obtuvo un valor del equivalente mecánico del calor de 370 kilogrametros con una caloría, es decir, la energía para elevar en 1°C un gramo de agua pura entre 8° y 80°C . El valor actual es 4.184×10^7 ergios.

Infortunadamente el primer principio quedó en sus notas, publicadas en 1878, 46 años después de su muerte.

Por otro lado existían en Inglaterra máquinas de vapor [8] desde 1705 desarrollada por Newcomen y muy perfeccionada por Watt en 1769 (James Watt, 1736 – 1819) y por Woolf en 1804, sumamente usadas en Inglaterra y rápidamente en el resto del mundo.

Esto significa que para la época de Carnot existían numerosos hechos experimentales que usaban el primer y el segundo principios de la termodinámica y paralelamente una gran cantidad de teoría afín. Además, gran número de teóricos de gran valor, debían

entonces surgir los dos principios se había llegado a la masa crítica, si Carnot no lo hubiera hecho otro lo haría.

3.- DESARROLLO DE LA RELATIVIDAD

El primer principio de relatividad que conocemos es el llamado Principio de Relatividad de Galileo (Galileo Galilei, 1564 – 1642) [9,10]. “Un pasajero que se halla dentro del camarote de un barco que se mueve con velocidad uniforme y en línea recta, no puede percibir el movimiento del barco ni por el vuelo de los insectos, ni por la caída de las gotas de agua ni por cualquier otro fenómeno”. Esto fue escrito en 1632. Para el caso de la Mecánica Newtoniana, ella queda invariable con la transformación:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t \\m' &= m\end{aligned}\tag{1}$$

El sistema O'(x', y', z', t') se desplaza a velocidad uniforme v con x' moviéndose sobre x, con un tiempo absoluto t'=t, m y m' corresponden a las masas inertes en los sistemas O y O', respectivamente. La (1) se denomina transformación de Galileo.

En 1878 Maxwell (James Clerk Maxwell, 1831 – 1879) [11] desarrolló las ecuaciones del electromagnetismo que en su forma integral son [12]:

$$\begin{aligned}c \int_0 (H, ds) &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{\sigma} \varepsilon E_n d\sigma + \int_{\sigma} \lambda E_n d\sigma \\-c \int_0 (E, ds) &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{\sigma} \mu H_n d\sigma\end{aligned}\tag{2}$$

Donde E_n y H_n son las proyecciones normales a una superficie σ del campo eléctrico y magnético, respectivamente, ε la constante dieléctrica, λ la conductibilidad, c la velocidad de la luz. La superficie σ tiene el borde s por lo tanto $\int_0 (H, ds)$ y

$\int_0 (E, ds)$ son integrales curvilíneas del producto escalar de H y E con ds. En su forma diferencial son [12]:

$$\begin{aligned}c \operatorname{rot} H &= \frac{\partial \varepsilon E}{\partial t'} + \lambda E \\-c \operatorname{rot} E &= \frac{\partial \mu H}{\partial t}\end{aligned}\tag{3}$$

Estas ecuaciones son de 1878 y Voigt (W. Voigt, 1850 – 1919) [13] en 1887 encontró que estas ecuaciones son invariantes para la transformación:

$$\begin{aligned}
 x' &= (x - vt) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z \\
 t' &= \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Lo que es muy importante es que cuando $v \ll c$ las (4) coinciden con las (1).

Obviamente que introduciendo las (4) en las (3) se tienen nuevos E y H. Para los detalles ver los textos sobre teoría de la relatividad o en Lorentz (H. A. Lorentz, 1853 – 1928) [14].

En 1886 Michelson y Morley (Albert Abraham Michelson, 1852 – 1931; Edward Williams Morley, 1838 – 1923) [15] demostraron que la velocidad de la luz no varía si se le agrega o resta una velocidad. La idea era que como la teoría ondulatoria de luz era como una onda que se propaga en un medio, ese medio se suponía que era el “éter”, el espacio absoluto de Newton. Pero en 1888 Hertz demostró experimentalmente que la luz es una onda electromagnética. (Heinrich Rudolph Hertz, 1857 – 1894) [12,16], así que con experiencias de óptica no se puede cambiar la velocidad de las ondas electromagnéticas, la velocidad de la luz. En 1881 y 1904 [17,18] Lorentz interpretó toda esta fenomenología experimental y datos experimentales como que las longitudes y los tiempos variaban de tal manera que “Para todos los cuerpos, las dimensiones paralelas al movimiento en el éter tienen un acortamiento, debido solamente a ese

movimiento en la relación $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Las dimensiones perpendiculares a la

velocidad absoluta no se alteran. Un reloj en el origen marca $T = T_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Aquí L_0

y T_0 son en el sistema en reposo y L y T lo que se observa en el sistema en movimiento. Como $L_0/T_0 = L/T$ la velocidad de la luz queda invariable.

Ahora tenemos todos los datos experimentales y teóricos para desarrollar la teoría de la relatividad [19]. Einstein (Albert Einstein, 1879 – 1955) [19], lo que le ocurrió a Einstein. La teoría que desarrolló se basa en dos principios, el primero es una generalización del de Galileo:

“Si se tienen dos sistemas de coordenadas en movimiento de traslación uniforme uno respecto al otro, las leyes que expresan la variación de los estados de los sistemas físicos son independientes de que se enuncien empleando uno u otro sistema”.

El segundo principio puede ser considerado como una consecuencia del primero:

“Cada rayo de luz se propaga con respecto al sistema de coordenadas “en reposo” con velocidad v , independientemente de que haya sido emitido por un cuerpo en reposo o en movimiento. Aquí es velocidad = (camino de la luz/ intervalo de tiempo) donde “intervalo de tiempo” se entiende como fue discutido antes”.

Lo último se refiere a la definición de simultaneidad. Al hacer este trabajo Einstein disponía del principio de relatividad de Galileo, las ecuaciones de Maxwell, que son

relativistas, la transformación de Lorentz, cómo se transforman las ecuaciones de Maxwell, la constante de la velocidad de la luz e incluso, como leemos en Born (Max Born, 1882 – 1970) [20] que Hasenöhr (Friedrich Hasenöhr, 1874 – 1915) demostró en 1904 que la radiación electromagnética tenía una masa E/c^2 , cuando tiene una energía E.

Para especificar, el electromagnetismo era relativista, pero no la mecánica. Un indicio para solucionar el problema lo daba el que la transformación de Lorentz, cuando $v^2/c^2 \rightarrow 0$, coincidía con la de Galileo. Así que había que transformar la cinemática y la dinámica de la Mecánica Newtoniana en tal forma que cuando $v^2/c^2 \rightarrow 0$ se transformara en Newtoniana. Por ejemplo, la masa invariable en la Newtoniana se transformaba en:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad \lim_{v/c \rightarrow 0} m \rightarrow m_0 \quad (5)$$

la energía $mv^2/2$ en:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \quad ; \quad \lim_{v/c \rightarrow 0} E \rightarrow \frac{mv^2}{2} \quad (6)$$

Así que todas, o casi todas, las piezas del rompecabezas estaban, faltaban algunas que agregó Einstein y construyó la Relatividad Restringida.

4.- UNA COSMOGONÍA

En 1913 Planck da [20] como constantes absolutamente invariantes la constante universal de la gravitación f, las constantes de la termodinámica y la radiación k y h y la velocidad de la luz c. En 1917 [21] Einstein obtuvo la relación $M/R = c^2/f$ con M la masa del universo y R su radio de curvatura. El universo está sumergido en un espacio de cuatro dimensiones con un tiempo absoluto. La fórmula de Einstein, con correcciones suponiendo que el universo no sólo tiene materia, sino, además, calor y electricidad [22,23], en un espacio de cuatro dimensiones y tiempo absoluto tomando en cuenta la (5) se obtiene sin dificultad. Además, tenemos los datos experimentales, la distancia a la galaxia más lejana que podemos equiparar a R, la densidad del Universo, su edad aproximada y la constante de Hubble. Todas estas teorías y experiencias se acomodan en una sola estructura. Finalmente, se usa el principio de conservación de la energía, la energía total del universo es cero. Esto resuelve el problema del origen del universo. Pero se asienta en la existencia de un espacio de cuatro dimensiones, un tiempo absoluto y las leyes de la física. Que se supone que existen siempre.

CONCLUSIÓN

De los dos casos tratados se ve que cuando hay una masa crítica de hechos experimentales y teóricos no explicados por el antiguo paradigma, surge el nuevo paradigma. Esto se debe a que generalmente esa masa crítica fue producida por un conjunto numeroso de científicos, así que a alguno se le ocurriría la creación de una solución que coordine todo. De todos modos la masa de los antiguos científicos produce científicos nuevos que al no estar involucrados en la creación de los antiguos paradigmas, producirá un nuevo paradigma de acuerdo a lo nuevo, si no lo hicieron los antiguos científicos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Kuhn, Thomas S., The Structure of Scientific Revolutions, International Encyclopedia of Unified Science, Volume II, Number 2, The University of Chicago Press, Second Edition enlarged, 1970, Chicago.
- 2.- Kuhn, Thomas S., La Estructura de las Revoluciones Científicas, Traducción de A. Contin, Fondo de Cultura Económica, Alborada S. A., 1986, Santiago de Chile.
- 3.- Kuhn, Thomas S., La Historia de la Ciencia, en Ensayos Científicos, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1982. Publicado en Enciclopedia Internacional de Ciencias Sociales, Aguilar, 1974, Madrid.
- 4.- Papp, Desiderio, Ideas Revolucionarias de la Ciencia, tomos I, II y III, Editorial Universitaria, 1977, Santiago de Chile.
- 5.- Mieli, Aldo. Panorama General de la Historia de la Ciencia, Espasa Calpe Argentina S.A., tomos I a VII, 1945, Buenos Aires.
- 6.- Carnot, Sadi. Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer Cette Puissance, Chez Bachelier, Libraire, 1824, París.
- 7.- Aries, E., La Obra Científica de Sadi Carnot, Introduction A'Etude de la Thermodynamique, Payot & C^a, 1921, Paris.
- 8.- Klinckowstroem, Carl von. Historia de la Técnica, editorial Labor, 1965, Barcelona.
- 9.- Galilei, Galileo, Dialogo sopra due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano, Gio Batista Landini, 1632, Florencia, Segunda Jornada.
- 10.- Bublesnikov, F. D., Galileo Galilei, Editorial Tecniciencia, 1964, Montevideo, p.171.
- 11.- Maxwell, James Clerk, A Treatise on Electricity and Magnetism, Clarendon Press, 1891, Londres, Dover, 1954, N. Y.
- 12.- Gans, Richard, Introducción al Análisis Vectorial, traducción de la quinta edición alemana de Alvarez Ude, Editorial Labor, 1924, Barcelona.
- 13.- Voigt, W., Über das Dopplerche princip, Gottinger Nachrichten, 1887, Berlin.
- 14.- Lorentz, H. A., The Theory of Electrons, reimpresso en Dover, 1909, N. Y.
- 15.- Michelson, A. A. and Morley, E. W., Influence of motion of the medium on the velocity of light. Amer. J. Science, 31, 1886, p. 377
- 16.- Hertz, H., Die Kräfte Electricischen Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie, Am. Phy. Chem., 36,1888, p.1.
- 17.- Lorentz, H. A., Versuch einer Theorie der Electricischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körper, Leiden, 1895, pp. 89 – 92.
- 18.- Lorentz, H. A., Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity less than that of light (English version), Proceedings of the Academy of Sciences of Amsterdam, 6, 1904.
- 19.- Einstein, A., Sur Electrodinamik bewegter Körper, Annalen der Physik, 1905, Berlin.
- 20.- Planck, M., The Theory of Heat Radiation, traducción de Morton Masius de la segunda edición, Dover, 1959, N. Y.
- 21.- Einstein, A., Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzungberichte der Preussischen Akad. D. Wasenschaften, 1917, Berlin.
- 22.- Kittl, P. y Díaz, G., Modelo simple de universe cíclico como extensión a la celda generalizada de Planck, <http://www.ingenews.cl/web/download/publicaciones/Modelo-simple-de-Universo-Ciclico-2704.doc> (2012).
- 23.- Kittl, P. y Díaz, G., On the Planck's cell and the Einstein's cosmological realltion, <http://www.ingenews.cl/we/download/publicaciones/Planck-Cell-Einstein-Cosmology> (2012).