

# ¿Es La Masa Una Magnitud Física Fundamental o Derivada?

Dr. Jose Garrigues Baixauli

jgarrigu@eln.upv.es

**Resumen** En este trabajo se llega a la conclusión de que la masa es debida al espacio ocupado por las partículas en movimiento que hay en el interior de un volumen dado.

## 1. Introducción

En la física actual, la masa se define como la cantidad de materia de un cuerpo. La masa es una magnitud física fundamental que expresa la inercia o resistencia al cambio en el movimiento de un cuerpo. Es una propiedad intrínseca de las partículas.

Cuando se aplica una fuerza a un decímetro cúbico de agua se produce una aceleración. Si se aplica la misma fuerza a un decímetro cúbico de hierro se produce una aceleración distinta a la del agua. Para explicar esa diferencia, los físicos inventaron el concepto, que no realidad física, de masa inercial. Lo que se observa es que ambas masas ocupan un mismo volumen, pero al aplicar una misma fuerza su aceleración es diferente. Masa = fuerza/aceleración es sólo un número.

$$m = \frac{F}{a}$$

La masa gravitatoria se define a partir de la ley de Gravitación de Newton. Colocamos un decímetro cúbico de agua en un dinamómetro y medimos la fuerza. Si ahora colocamos un decímetro cúbico de hierro en un dinamómetro y medimos la fuerza, se observa que en este caso la fuerza es mayor. Para explicar esa diferencia de fuerzas, los físicos inventaron el concepto, que no realidad física, de masa gravitatoria. Por lo tanto, la masa gravitatoria es sólo un número que produce una atracción a otro número denominado masa, de acuerdo con la ley de Gravitación de Newton

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

En 1795, durante la Revolución francesa, se utilizaba el gramo como la masa de un centímetro cúbico de agua destilada a una atmósfera de presión y a la temperatura de 3,98 °C, correspondiente al punto de fusión del hielo.

Todas las magnitudes mecánicas se pueden definir en función de masa, longitud y tiempo. La unidad básica de masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo, que corresponde a la masa de un litro de agua. Pero debido a que la densidad del agua varía con la presión atmosférica, se utiliza como referencia una masa patrón.

Dicha masa patrón está formada por un cilindro de platino e iridio (90% y 10%, respectivamente), que se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) en Sèvres, cerca de París. Hay prototipos nacionales, que son copias del kilogramo patrón y se comparan con el prototipo de París. Sin embargo, el prototipo internacional del kilogramo, al compararlo con las copias parece haber perdido cerca de 50 microgramos en los últimos 100 años.

Por esa razón, a partir del 20 de mayo de 2019, el kilogramo se definió a partir de un valor fijo de la constante de Planck  $h = 6,626\ 070\ 040 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ . A su vez el metro se define a partir de la velocidad de la luz y el segundo a partir de la frecuencia de transición hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio 133. Por lo tanto, el valor del kilogramo depende de las definiciones del segundo y del metro.

En definitiva, la física actual no explica qué es la masa. Simplemente da dos formas de medir algo que se denomina masa inercial y masa gravitatoria. A un litro de agua se le asigna la unidad de masa, el kilogramo. De esa forma se tiene una referencia o patrón de masa.

## 2. ¿Qué es la masa?

En la definición de masa inercial se mide la aceleración (espacio/tiempo al cuadrado) de un decímetro cúbico de agua. En la definición de masa gravitatoria se mide el desplazamiento del agua (aguja del dinamómetro). Por lo tanto en ambos casos lo que se mide es espacio y tiempo.

De forma arbitraria, se asigna el kilogramo a la masa de un decímetro cúbico de agua bajo determinadas condiciones. Ya los antiguos romanos usaban la libra como unidad de peso (masa), en sus transacciones comerciales.

Ni Newton, ni los antiguos romanos sabían que tanto el agua como el hierro y en general la materia están formadas por partículas (electrones y quarks) más pequeñas que ocupan un volumen y que además se mueven en el interior de ese volumen formando átomos.

Para un mismo volumen, la cantidad de electrones y quarks que hay en el interior de un volumen dado, varía en función del objeto. Además también sabemos que los electrones y quarks se están moviendo en el interior de los átomos. Por lo tanto, la masa es el espacio en movimiento o simplemente espacio, que ocupan las partículas en el interior de un volumen dado. Cuanto mas espacio esté ocupado por las partículas mas masa tiene el objeto, para un mismo volumen. La masa, es un concepto derivado del espacio-tiempo, no es un concepto fundamental o intrínseco como afirma la física ortodoxa.

## 3. Constantes fundamentales relacionadas con la masa.

Relacionadas con la masa tenemos dos constantes: la constante de proporcionalidad  $G$  que aparece en la gravitación de Newton y la constante de Planck  $h$ , que aparece en la mecánica cuántica.

Una constante física es el valor de una magnitud física, cuyo valor permanece invariable en el tiempo para un proceso físico determinado. Las constantes fundamentales constituyen la base de las teorías físicas aceptadas mayoritariamente, relatividad, mecánica cuántica y modelo estándar. *Las constantes* fundamentales “*son*

*aquellas constantes que no pueden calcularse en nuestro nivel actual de conocimiento fundamental (o más bien ignorancia)” (Duff, Okun, & Veneziano; 2002).*

Si utilizáramos unidades diferentes, los valores numéricos serían otros, por lo tanto, aunque nos proporcionan información de la naturaleza, en realidad son artefactos humanos que no tienen nada que ver con el Universo.

Las constantes dimensionales se utilizan para relacionar las diferentes constantes entre sí. Por ejemplo, la velocidad de la luz se puede usar para convertir unidades de tiempo (como años) en unidades de longitud (como años luz), o viceversa. También relaciona las constantes del campo eléctrico ( $\epsilon_0$ ) y magnético ( $\mu_0$ ) en el vacío. Por lo tanto de las 3 constantes solamente 2 son independientes

Según Baez, *“la mayoría de los físicos preferirían no tener ninguna. El objetivo es crear una teoría que te permita calcular todas estas constantes, para que ya no sean “fundamentales”. Sin embargo, en este momento esto es solo un sueño” (Baez, 2011).*

*“Algunos físicos creen que al menos algunas de las constantes fundamentales son solo accidentes cósmicos, arreglados por la dinámica del Big Bang. Por lo tanto, las constantes son arbitrarias, dependiendo de los detalles del Big Bang. Obviamente en este caso no hay forma de calcular las constantes fundamentales” (Fritzsche, 2018).*

*“La multiplicidad y variedad de constantes fundamentales son estéticas y deficiencias conceptuales en nuestra comprensión actual de la física fundamental” (Wilczek, 2007).*

*“No existe una teoría de las constantes como tales. Por ejemplo, no hay un formalismo generalmente aceptado que nos diga cómo se originan las constantes, cómo se relacionan entre sí, sus tamaños relativos, o cuántas de ellas son necesarias para describir la física. Esta falta de antecedentes parece extraña para los parámetros que se consideran básicos” (Wesson, 1992).*

Para Duff, las constantes dimensionales, tales como  $\hbar$ ,  $c$ ,  $G$ ,  $e$ ,  $k$ , son construcciones humanas que no varían en el tiempo. *“La posible variación en el tiempo de las constantes fundamentales de la naturaleza adimensionales, como la constante de estructura fina  $\alpha$ , es un tema legítimo de investigación física. Por el contrario, la variación en el tiempo de las constantes dimensionales, como  $\hbar$ ,  $c$ ,  $G$ ,  $e$ ,  $k$ , ... que son simplemente construcciones humanas cuyo número y valores difieren de una elección de unidades a la siguiente, no tiene ningún significado operativo” (Duff, 2002).*

#### **4. Velocidad de la luz $c$**

La velocidad de la luz depende de dos parámetros: longitud y tiempo. La unidad de longitud es el metro y se define como la diezmilésima parte de la distancia entre el polo norte y el ecuador. La unidad de tiempo es el segundo que se define a partir de una fracción del día. Por lo tanto, el valor numérico de la velocidad de la luz depende de la arbitrariedad de las definiciones de longitud y tiempo. Actualmente el metro se define como la distancia que recorre la luz en el vacío en un intervalo de  $1/299\,792\,458$  s. De esta forma, la velocidad de la luz pasa a ser una constante fundamental.

Si hacemos  $c = 1$ , resulta:

$$299\,792\,458 \text{ m/s} = 1$$

Luego

$$1 \text{ s} = 299\,792\,458 \text{ m}$$

## 5. Constante de Gravitación G

La constante de gravitación universal  $G$  determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre objetos. Es una constante física obtenida de forma empírica y cuyo valor es:

$$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$$

Si hacemos  $G = 1$ , resulta;

$$6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2 = 1$$

De donde;

$$1 \text{ kg} = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

De forma arbitraria se elije un volumen de agua y se le asigna la unidad de masa. Pero también se puede asignar a ese mismo volumen de agua el valor de  $6.674 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$ . De esta forma resulta que  $G = 1 \text{ m}^3/\text{kg s}^2$ . Finalmente, si a ese litro de agua le asignamos el valor de  $6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2$ , desaparece la constante de gravitación y el kilogramo del sistema internacional.

Volumen de agua	Masa	Unidades de masa	Valor de G	Unidades de G
1 litro	1	kg	$6.674 \cdot 10^{-11}$	$\text{m}^3/\text{kg s}^2$
1 litro	$6.674 \cdot 10^{-11}$	kg	1	$\text{m}^3/\text{kg s}^2$
1 litro	$6.674 \cdot 10^{-11}$	$\text{m}^3/\text{s}^2$	-----	-----

Si hubiéramos asignado a un litro de aceite el valor de 1 kg, la constante de gravitación tendría un valor ligeramente diferente. Por lo tanto, el valor de la constante de gravitación viene determinado por nuestra elección arbitraria de las unidades de longitud, masa y tiempo.

Al fijar el metro como unidad de longitud, se fija también el valor de la longitud de Planck ( $l_p$ ). Al fijar el segundo como unidad de tiempo, se determina el valor de la velocidad de la luz ( $c$ ). Con lo que resulta que el producto  $l_p c^2$  queda fijado:

$$l_p c^2 = 1.453 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Al crear el concepto de masa, a partir de 1 litro de agua, se determina el valor de la masa de Planck ( $m_p$ ) y en consecuencia también queda determinado el producto  $G m_p$ .

$$G m_p = (l_p c^2/m_p) m_p = 1.453 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Por lo tanto, al crear el concepto de masa, a partir de 1 litro de agua, se crea también la constante de Gravitación ( $G$ ) dependiente de las unidades de masa, longitud y tiempo.

$$G = l_p c^2 / m_p$$

Un litro de agua es el volumen que nosotros observamos. Hoy sabemos, que no todo el volumen está ocupado. También sabemos que las partículas que forman ese volumen se mueven en su interior, luego:

$$1 \text{ dm}^3 \text{ de agua} \equiv 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{s}^2$$

Si ahora, ese litro de agua lo hacemos igual a 1 Kg, hemos creado el valor de  $G$ . En definitiva  $G$  es una construcción humana.

Sistema Internacional	Símbolo	Valor	Unidades	Dimensiones
Masa	$m$	$l$	$kg$	M
Constante. de Gravitación	$G$	$6.67408 \cdot 10^{-11}$	$m^3 kg^{-1} s^{-2}$	$L^3 M^{-1} T^{-2}$
Constante. de Planck	$h$	$1,0513 \cdot 10^{-34}$	$kg m^2 s^{-1}$	$L^2 M T^{-1}$
Fuerza	$F$	$l$	$kg m s^{-2}$	$L M T^{-2}$

Para Matsas et al., sólo hay dos constantes fundamentales: longitud y tiempo. Para ello, multiplica por  $G$ , la masa y la constante de Planck. De esa forma  $G$  desempeña el papel de un factor de conversión (de gramos a  $cm^3 / s^2$ ) de la misma manera que la constante de Boltzmann  $k$  (de ergios a Kelvin) (Matsas, Pleitez, Saa & Vanzella, 2007). Podemos hacer el siguiente cambio:

$$m' = G m$$

$$F' = G F$$

$$h' = G h$$

Nuevo SI	Símbolo	Valor	Unidades	Dimensiones
Masa patrón	$m'$	$6.67408 \cdot 10^{-11}$	$m^3 s^{-2}$	$L^3 T^{-2}$
Constante de Gravitación	$G$	-----	-----	-----
Constante de Planck	$h'$	$7.0378 \cdot 10^{-45}$	$m^5 s^{-3}$	$L^5 T^{-3}$
Fuerza patrón	$F'$	$6.67408 \cdot 10^{-11}$	$m^4 s^{-4}$	$L^4 T^{-4}$

L = longitud; M = masa, T= tiempo, kg = kilogramos, m =metros y s = segundos

Con lo que la constante de gravitación  $G$  ya no es necesaria y el kilogramo desaparece del Sistema Internacional de Unidades.

*“Uno puede utilizar  $M'=GM$  en lugar de  $M$  con el fin de reducir todas las medidas en física a medidas de espacio y a intervalos de tiempo y liberar  $G$  de todas las ecuaciones físicas, reduciendo así el número de constantes fundamentales dimensionales”* (Fiorentini et al., 2002).

En el sistema internacional la fuerza de Planck vale:

$$F_p = c^4 / G$$

De manera arbitraria se ha asignado el kilogramo a un litro de agua bajo determinadas condiciones. De la misma forma podemos asignar a la fuerza de Planck, el siguiente valor:

$$F_p = c^4$$

A continuación a un litro de agua le aplicamos una fuerza hasta que se produzca una aceleración de un metro por segundo cada segundo. Finalmente, si medimos el valor de esa fuerza se obtiene:

$$m = \frac{F}{a} = \frac{6.67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4 / \text{s}^4}{1 \text{ m} / \text{s}^2} = 6.67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{s}^2$$

Con lo que todo queda reducido a unidades de espacio y tiempo. Para Matsas et al. sólo hay dos constantes fundamentales: longitud y tiempo. “... *asumimos que todo lo que podemos medir directamente son intervalos de espacio y tiempo, y eso es suficiente para evaluar cualquier observable físicamente. Concluimos que el número de constantes fundamentales dimensionales es dos*” (Matsas, Pleitez, Saa & Vanzella, 2007).

También podemos asignar a la fuerza de Planck, el siguiente valor:

$$F_p = c^2$$

Sin embargo, esa forma de proceder, cambia los valores numéricos a los que estamos acostumbrados. Para no cambiar los valores numéricos y poder calcular las constantes fundamentales (Garrigues-Baixauli, 2020), se puede hacer el siguiente cambio:

$$m' = \frac{G_1}{c_1^2} m$$

Siendo  $G_1 = 1 \text{ m}^3 / \text{kg s}^2$  y  $c_1 = 1 \text{ m/s}$ . De esa forma la constante unitaria  $G_1 / c_1^2 = 1 \text{ m/kg}$ , transforma los kilogramos en metros y la masa conserva su valor numérico, sin embargo cambia la unidad de medida (Garrigues-Baixauli, 2020). La fuerza, tendrá ahora unidades de velocidad al cuadrado, es decir:

$$F' = \frac{G_1}{c_1^2} F \text{ m}^2 / \text{s}^2$$

## 6. Conclusión

Al aplicar la misma fuerza a objetos que tienen el mismo volumen se producen aceleraciones diferentes. Para distinguir unos objetos de otros, se crea el concepto de masa inercial (segunda ley de Newton). También diferentes objetos con el mismo volumen no pesan lo mismo. Para diferenciarlos se crea el concepto de masa gravitacional. Esto da lugar a que el producto  $l_p c^2$  se separe en dos constantes  $G$  y  $m_p$ .

$$G m_p = (l_p c^2 / m_p) m_p$$

La conclusión es que la masa es debida al espacio ocupado por las partículas en el interior de un volumen dado. Dicho espacio además está en movimiento. Por tanto, la masa es un concepto humano derivado del espacio-tiempo, que surge de la necesidad de

explicar las diferencia en las fuerzas, inerciales y gravitatorias, que aparecen en objetos del mismo volumen.

La masa se puede expresar en kilogramos, en  $m^3/s^2$  o en metros, dependiendo de la unidad de fuerza elegida. En cualquier caso, el número de constantes fundamentales dimensionales son dos: longitud y tiempo.

### Referencias

Baez, J. (2011). *How Many Fundamental Constants Are There?* Disponible en la red: <http://math.ucr.edu/home/baez/constants.html>

Duff, M. J. (2002). *Comment on time-variation of fundamental constants.* arXiv: hep-th / 0208093

Duff, M.J., Okun, L.B., & Veneziano, G. (2002). Dialogue on the number of fundamental constants. *Journal of High Energy Physics*, 03(2002), v.

Fritzsche, H. (2018). *The Fundamental Constants in Physics* arXiv: 0902.2989

Fiorentini, G., Okun, L., Vysotsky, M. (2002). *Is G a conversion factor or a fundamental unit?* *JETP Letters* 76(8):485-485

Garrigues-Baixaui, J. (2020). *G, h, c, e,  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$  y k, ¿Son Constantes Fundamentales o son Factores de Conversión?* Gsjournal.net

<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/8388>

Matsas, G. E. A., Pleitez, V., Saa, A. & Vanzella, D.A.T. (2007). *The number of dimensional fundamental constant.* arXiv: 0711.4276

Wesson, P.S. (1992). *Constants and cosmology: The nature and origin of fundamental constants in astrophysics and particle physics.* *Space Sci. Rev.* 59, 365–406.

Wilczek, F. (2007) *Fundamental Constants.* arXiv: 0708.4361