

Conflictos conceptuales entre masa y cantidad de sustancia. *Conflicts cognitives masse - quantité de substance*

Vílchez González, J.M.

López Serrano, C.J.

Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada

Reyes Camacho, M.

Consejería de Educación Junta de Andalucía

Carrillo Rosúa, J.

Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada

Objetivos

- Revisar el concepto y la definición de masa que aparece en los libros de texto de Educación Primaria y Educación Secundaria Obligatoria en España.
- Comprobar si la concepción y definición de masa que aparece en los libros de texto ha evolucionado con el tiempo.

Introducción

La historia de la Física muestra que los conceptos más fundamentales, en los que se ha basado en gran medida el desarrollo de la disciplina, han sido siempre los más difíciles de definir. Un buen ejemplo lo encontramos en los conceptos de *masa*, *peso* y *energía*. Desde que aparecen en la Física de forma más o menos neblinosa, hasta hoy, han sufrido importantes cambios y, por tanto, sus definiciones también lo han hecho.

Fue Isaac Newton quien distinguió por primera vez en la historia de la Física entre masa y peso. Así, en la Definición Primera de sus Principia Mathematica (Newton, 1686) podemos leer: “*Lo mismo (se refiere a la masa) se da a conocer mediante el peso de cada cuerpo: pues la masa es proporcional al peso, como he descubierto por experimentos muy precisos con péndulos,...*” Sin embargo, su definición de masa deja mucho que desear: “*La cantidad de materia es la medida de la misma, surgida de su densidad y magnitud (extensión) conjuntamente*” (obsérvese que es una definición circular, ya que no puede definirse la densidad de otro modo que mediante la relación entre masa y extensión). Más adelante, leemos: “*Es esa cantidad (de materia) la que en lo sucesivo menciono bajo el nombre de masa o cuerpo*”. No obstante, Newton no andaba muy lejos del concepto actual de masa como medida de la inercia. En su Definición III, donde define la inercia, aparece: “*Esta fuerza (vis inertiae) es siempre proporcional a su cuerpo (masa), y solo difiere de la inactividad de la masa por el modo de concebirla*”.

El concepto de energía es muy posterior y no fue hasta Einstein que se unificaron bajo el mismo concepto con su conocida ecuación $E = m \cdot c^2$ deducida en su trabajo *¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?*, donde afirma: “*La masa de un cuerpo es la medida de su contenido de energía* (Einstein, 1905, en Ruiz de Elvira, 2003).

En épocas más actuales, la definición de masa que aparece en muchos libros de texto, posiblemente influenciados por las definiciones de Newton, dificulta la diferenciación entre masa y cantidad de sustancia (o de materia). En muchas ocasiones encontramos expresiones del tipo “*La cantidad de materia de un cuerpo viene medida por su masa*” (Babor e Ibarz, 1979, p. 22). Nada más lejos de la realidad. La masa es la medida de la inercia, y en el SI de Unidades se expresa en kilogramos. La cantidad de sustancia ha sido un concepto confuso en química hasta que en 1961 se relacionó claramente con la naturaleza corpuscular de la materia, y en el SI se expresa en moles. Son dos magnitudes distintas que hacen referencia a diferentes propiedades de la materia.

Las dificultades para la enseñanza del concepto de energía han quedado plasmadas en algunas investigaciones (Pacca y Henrique, 2004; Solbes y Tarín, 2004; Moreno, 2006). Sobre la cantidad de sustancia también se han realizado diversas investigaciones (Furió et al., 2000; Garritz et al., 2002; Padilla y Furió, 2008). Pero no podemos decir lo mismo del concepto de masa, que parece haber quedado relegado al olvido y sigue enseñándose erróneamente, y bajo una concepción newtoniana. Ha sido menos investigado en lo que a propuestas didácticas se refiere, aunque tenemos constancia, desde hace tiempo, de que presenta dificultades para el alumnado (Hierrezuelo y Montero, 1991; Driver et al., 1992).

Es necesario, pues, revisar y replantear las definiciones didácticas de magnitudes tan básicas de la Física, como es la masa, para evitar la incorrecta comprensión futura de esta disciplina (y de otras ciencias experimentales que tienen en ella su fundamento) por parte del alumnado. Este será el hilo conductor de la presente investigación, que, en lo que respecta a los estadios cognitivos del alumnado, estará guiada por el trabajo de Shayer y Adey (1986).

Resultados

En cuanto al primero de nuestros objetivos, nuestra revisión bibliográfica comienza por los Reales Decretos de Enseñanzas mínimas de Primaria y Secundaria, en relación con el concepto de masa, y continúa con el análisis de libros de texto de Educación Primaria ($N_1 = 91$) y Educación Secundaria Obligatoria ($N_2 = 35$), orientado al momento y el modo de trabajar este concepto.

El Real Decreto 1513/2006 en el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria, en el área de Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural, hace referencia a la masa en:

- Primer ciclo, criterios de evaluación: “*identificar propiedades físicas observables como olor, sabor, texturas, peso/masa...*”
- Segundo ciclo, Bloque 6: con objeto de clasificar y ordenar diferentes objetos a partir de propiedades físicas observables.
- Tercer ciclo, Bloque 6: “*utilización de diferentes procedimientos para la medida de la masa y el volumen de un cuerpo*”.

En el área de Matemáticas aparece en:

- Primer ciclo, Bloque 2: “*la medida: estimación y cálculo de magnitudes. Longitud, peso/masa y capacidad*”.
- Segundo ciclo, Bloque 2: “*la medida: estimación y cálculo de magnitudes. Longitud, peso/masa y capacidad*”.
- Tercer ciclo, Bloque 2: “*la medida: estimación y cálculo de magnitudes. Longitud, peso/masa y capacidad*”.
- Tercer ciclo, criterios de evaluación: “*expresar con precisión medidas de longitud, superficie, peso/masa, capacidad y tiempo*”.

En el Real Decreto 1631/2006, que establece las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, en el área de Ciencias de la Naturaleza se hace referencia al concepto de masa en los siguientes apartados:

- Primer curso, criterios de evaluación: “establecer procedimientos para describir las propiedades de materiales que nos rodean, tales como la masa, el volumen, los estados en los que se presentan y sus cambios”.
- Tercer curso, Bloque 4: “interpretación de la conservación de la masa”.

Conocida la presencia del concepto en las etapas educativas, procedemos a los resultados de la revisión de los libros de texto de las editoriales con mayor presencia en el mercado (N = 126):

Educación Primaria (N₁ = 91)

- En los libros de Conocimiento del Medio consultados (N_{1A} = 43) no se define la masa hasta comienzos del segundo ciclo. Viene definida en 11 de ellos, en 8 de forma incorrecta, en 7 aparece confusión entre masa y cantidad de sustancia¹, y en 4 se confunde masa con peso.
- De los de Matemáticas (N_{1B} = 48), la masa se define en 45, en 26 de forma incorrecta, solo en 3 se habla de cantidad de sustancia, confundiéndola con la masa, y en 23 se confunde la masa con el peso.

Estos datos quedan reflejados en la Tabla I:

Tabla I. Resultados del análisis de los textos de Educación Primaria

Educación Primaria (N₁ = 91)	Conocimiento del Medio (N_{1A} = 43)	Matemáticas (N_{1B} = 48)
La masa viene definida en	11	45
Se define sin errores en	3	19
Confunden masa con cantidad de sustancia	7	3
Confunden masa con peso	4	23

Educación Secundaria Obligatoria (N₂ = 35)

- En el área de Ciencias de la Naturaleza (N_{2A} = 25) encontramos la definición de masa en 23 libros, en 17 de forma incorrecta², 12 confunden masa con cantidad de sustancia, y en ninguno se confunde masa con peso.
- De los consultados del área de Matemáticas (N_{2B} = 10), se define en 3, en 2 de forma incorrecta, todos confunden masa con cantidad de sustancia³, y ninguno la confunde con el peso.

Estos datos quedan reflejados en la Tabla II:

Tabla II. Resultados del análisis de los textos de Educación Secundaria Obligatoria

Educación Secundaria Obligatoria (N₂ = 35)	Ciencias de la Naturaleza (N_{2A} = 25)	Matemáticas (N_{2B} = 10)
La masa viene definida en	23	3
Se define sin errores en	6	1
Confunden masa con cantidad de sustancia	12	3

¹Definiciones del tipo “Todos los cuerpos tienen masa. Llamamos masa a la cantidad de materia o de sustancia que tiene un cuerpo” (Conocimiento del Medio, 5º, Editorial Anaya, 1994).

²Definiciones del tipo “La masa es una magnitud fundamental que expresa la cantidad de materia que posee un cuerpo. La unidad internacional de masa es el kilogramo (kg)” (Ciencias de la Naturaleza, 1º ESO, Editorial SM, 2009).

³Definiciones como “La masa es una magnitud que expresa la cantidad de materia de un cuerpo. La unidad de masa del sistema métrico decimal es el gramo (g), pero utilizamos también los múltiplos y submúltiplos de esta unidad” (Matemáticas, 1º ESO, Editorial Mc Gram Hill, 2006).

Confunden masa con peso	0	0
-------------------------	---	---

En definitiva, de los textos de Primaria de Conocimiento del Medio consultados, la masa se define en el 26%, y solo el 7% procede sin cometer errores. En general, existe tendencia a confundir masa con cantidad de sustancia, y con peso en menor medida. En el caso de los de Matemáticas, se define en el 94%, y sin errores en el 40%. La mitad de los que la definen confunde masa con peso, y los pocos que mencionan la cantidad de sustancia lo hacen en la definición de masa.

De los textos de Educación Secundaria Obligatoria, el 92% de los libros de Ciencias de la Naturaleza proporcionan una definición de masa, el 24% sin errores conceptuales. Aproximadamente el 50% mezclan masa y cantidad de sustancia en la definición, y en todos se diferencia masa de peso. Los textos de matemáticas no suelen introducir el concepto de masa (se define en el 30%), y cuando lo hacen, aunque no provocan confusión entre masa y peso, s  lo hacen entre masa y cantidad de sustancia.

En relación con el segundo objetivo, en un análisis inicial observamos que en los textos más recientes se está prestando mayor atención a no confundir los conceptos de masa y peso, aunque no se presta tanta a la confusión con la cantidad de materia. Podemos observar, por ejemplo, el paso de definiciones como *“Pesar es medir la cantidad de una sustancia comparándola con una unidad de medida. El gramo es la unidad principal de medida de pesos”* (Matemáticas 5  Ed. Anaya 1994), a expresiones del tipo *“La magnitud que expresa la cantidad de materia de un cuerpo es la masa. La unidad de masa del sistema internacional es el kilogramo (kg). En la vida cotidiana, cuando se mide la masa de un cuerpo se dice que se mide su “peso” y que ese cuerpo “pesa”. Sin embargo, el peso es una magnitud que expresa la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo. Esta fuerza es diferente según la masa del cuerpo, por eso ambas magnitudes están estrechamente relacionadas”*. (Matemáticas 6  Ed. laGalera 2006). De un análisis más profundo, podremos generalizar, o no, esta afirmación.

Conclusiones

En la actualidad, al igual que tiempo atrás, el concepto de masa no se está presentando correctamente al alumnado en gran cantidad de ocasiones, principalmente debido al modo en que se introduce en los libros de texto. Se aprecia una tendencia a no confundirla con el peso, aunque sigue siendo sinónimo de cantidad de sustancia. Esto puede suponer una lacra para el estudio futuro de algunas disciplinas científicas, en las que la correcta diferenciación entre masa y cantidad de sustancia es imprescindible.

Estamos de acuerdo en que las tareas propuestas deben estar dirigidas a la vivencia por parte del alumnado sobre los conceptos científicos objeto de estudio, y defendemos que todo deberia finalizar por una definición adecuada de los mismos. Aunque somos conscientes de que a ciertas edades el concepto de masa puede plantear dificultades, siendo indiferenciable del peso (Shayer y Adey, 1986), no podemos evitar hacernos algunas preguntas:  ser  conveniente definir (correctamente) el concepto de masa en la Educación Primaria?  Est n los alumnos preparados cognitivamente para comprender este concepto? Intentamos averiguarlo, por lo que el futuro de esta investigación supone proponer, en caso afirmativo, la forma de introducirlo de forma correcta en los distintos niveles educativos, comprobando posteriormente la eficacia de nuestra propuesta.

Bajo el punto de vista disciplinar es evidente que habrá que elaborar diferentes estrategias y definiciones que, paulatinamente, vayan aproximándose a las científicas, en función de la capacidad de abstracción del alumnado de las diversas edades. En general, la estrategia debe ser la de hacer comprender las propiedades que tiene la materia como la extensión, la inercia, la interacción o fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos, la cantidad de partículas de que está formado un cuerpo, los cambios que se producen en la materia, etc. Una vez que las propiedades son conocidas y el alumnado es capaz de reconocerlas en los objetos y materiales de su entorno,

habrá llegado el momento de enseñarle a medirlas y, para ello, habrá que introducir los conceptos de magnitud y unidad. Finalmente, vendrían las definiciones.

En Primaria puede ser difícil la diferenciación entre masa y peso, por lo que el tratamiento de la cantidad de sustancia, que implica la naturaleza corpuscular de la materia, es inviable. Lo que aquí se propone no está encaminado, pues, a la diferenciación entre masa y cantidad de sustancia en esta etapa, pero sí a evitar que desde edades tempranas se tomen ambos como sinónimos. Es imprescindible, para evitar confusiones futuras, que, si se introduce la definición de masa en la etapa de Primaria, se haga de manera correcta.

El futuro de la investigación

Con objeto de consolidar definiciones de masa lo más cercanas posible a la científica para cada ciclo de la etapa de Primaria, y siguiendo las recomendaciones de los Reales Decretos de enseñanzas mínimas, inicialmente nos guiaremos por los trabajos de Driver, Guesne y Tiberghien (1992), y Hierrezuelo y Montero (1991), de indole constructivista, persiguiendo en cada momento el uso de contraejemplos para cuestionar las ideas previas antes de introducir el concepto, para finalmente facilitar la aplicación de las nuevas ideas y comprobar su mayor poder explicativo y predictivo.

Las distintas propuestas para el tratamiento del concepto de masa en las aulas de Primaria se pondrán en práctica en colaboración con el Vicedecanato de Practicum de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada. Evaluaremos los resultados mediante la realización de pretest y postest, con grupo de control y experimental.

Cuestiones para el debate

- ¿Es conveniente introducir la definición de masa en los libros de Ciencias de Primaria, relacionándolo con la inercia, y diferenciándolo del peso?
- ¿Está el alumnado cognitivamente preparado para comprender correctamente estos conceptos?
- ¿Está la escuela contribuyendo a una deficiente comprensión de las disciplinas científicas, causando, en parte, el rechazo hacia ellas que se observa actualmente en el alumnado?

Bibliografía

- BABOR, J.A. e IBARZ, J. (1979). *Química General Moderna* (8ª edición). Barcelona: Ed. Marín.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Educación infantil y primaria*. Madrid: Ediciones Morata, S.A.
- FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA, J. y RATCLIFFE, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, 22 (12), pp. 1285-1304.
- GARRITZ, A., GASQUE, L., HERNÁNDEZ, G. y MARTÍNEZ, A. (2002). El mol: un concepto evasivo. Una estrategia didáctica para enseñarlo. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 33, pp. 99-109.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en didáctica de la Física y Química*. Vélez Málaga: Ed. ELZEVIR.
- NEWTON, I. (1686). *Philosophiae Naturales Principia Matemática*. Edición actual de Altaza, Barcelona, 1993.
- PADILLA, K. y FURIÓ-MAS, C. (2008). The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting Distorted Views of 'Amount of Substance' and 'Mole' Concepts in Chemistry Teaching. *Science & Education*, 17, pp. 403-424

REAL DECRETO 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria (BOE 293, de 8 de diciembre de 2006).

REAL DECRETO 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (BOE 5, de 5 de enero de 2007).

RUIZ de ELVIRA, A. (2003) *Cien años de relatividad. Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906*. Ed. Nivola.

SHAYER, M. y ADEY, P. (1986). *La ciencia de enseñar Ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Ed. Narcea.