



Estrategias del alumnado de Educación Secundaria para estimar la densidad

Strategies of Secondary School students to estimate density

María Napal Fraile

Didáctica de las Ciencias Experimentales. Dpto. Psicología y Pedagogía. Universidad Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
maria.napal@unavarra.es

Amaia Zulet González
Pamplona (Navarra, España) – Investigador independiente
amaia.zulet@unavarra.es

Leyre Santos Cervera
Pamplona (Navarra, España) – Investigador independiente
santoscerveraleyre@hotmail.com

Jesús Echeverría Morrás

Química Inorgánica. Dpto. Química Aplicada. Instituto de Materiales Avanzados. Universidad Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
jesus.echeverria@unavarra.es

Julia Ibarra Murillo

Didáctica de las Ciencias Experimentales. Dpto. Psicología y Pedagogía. Universidad Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
julia.ibarra@unavarra.es

RESUMEN • La densidad, o concentración de materia, es un concepto muy relevante pero que genera muchas dificultades de comprensión. Para medir la competencia en la estimación de la densidad del alumnado de la ESO, se pasó un cuestionario acompañado de un juego de materiales a 196 alumnos de los cuatro cursos de la ESO en dos colegios. La estimación de la densidad depende del peso percibido, el tamaño o la viscosidad, lo que a veces lleva a estimaciones erróneas. En todos los cursos, más del 40 % de los alumnos consideran la densidad como una propiedad extensiva; en torno a un 50 % usan modelos –no siempre coherentes– más cercanos a una propiedad intensiva y específica. Existen además dificultades para predecir los cambios en densidad con el estado de agregación o la temperatura, lo que sugiere que deben introducirse cambios en su enseñanza.

PALABRAS CLAVE: competencia; densidad; Educación Secundaria Obligatoria; materia; datos sensoriales.

ABSTRACT • Density, or concentration of matter, is a central concept in science, and yet creates many learning and comprehension difficulties. To estimate how competent Secondary School students at estimating density are, we administered a 4-item questionnaire to 196 students at the 4 courses in two schools. Our results suggest that the estimation of density is dependent on the quantity and quality of sensorial information available - perceived weight, size or viscosity-, which sometimes lead to wrong estimations. In all levels, more than 40 % of the students treated density as an extensive property; around 50 % used intermediate models –sometimes inconsistent– closer to the idea of density as an intensive and specific property. The students had difficulties to predict changes in density with the state of aggregation or temperature, which calls for changes in the way density is taught.

KEYWORDS: competence; density; Secondary School; matter; perception.

Recepción: abril 2017 • Aceptación: enero 2018 • Publicación: marzo 2018

INTRODUCCIÓN

El concepto de densidad es un concepto básico en ciencia por su gran valor explicativo sobre los fenómenos que son objeto de estudio de la física, la química o la biología, y por su relevancia social (Trinidad-Velasco y Garritz, 2003). Como propiedad intensiva, la densidad sirve para distinguir e identificar sustancias, y predecir su utilidad, o para calcular la masa y el volumen de un objeto. También sirve para entender la flotabilidad; interpretar la dinámica de las corrientes oceánicas o atmosféricas, o los fenómenos de convección en el seno de los fluidos, así como la estratificación de los lagos y sus repercusiones ecológicas. Resulta crucial para los cálculos en gases y fluidos e incluso para cuestiones básicas en la vida diaria como entender las normas de seguridad en caso de fuego.

La densidad es una propiedad intensiva que expresa la concentración de materia y, como tal, depende de la composición y de la estructura. La densidad se calcula como la relación entre masa y volumen ($d = m/V$). La densidad es también una propiedad específica: la densidad de una sustancia tiene un valor propio cuando son constantes otras variables como la presión y la temperatura. Puesto que guarda una proporción inversa con el volumen, para un mismo estado de agregación la densidad disminuye con el aumento de la temperatura, y aumenta con el aumento de presión. Esto puede explicarse por la aplicación de la teoría cinético-molecular de la materia: según esta teoría, al aumentar la temperatura aumenta la vibración de los átomos y las moléculas, lo que conlleva la dilatación de los cuerpos. En general, este cambio tiene menos efecto en los sólidos que en los líquidos y gases, puesto que en los primeros las distancias entre átomos son menores y las interacciones entre estos más fuertes. La densidad es función del estado de agregación: en general disminuye de sólido a líquido y de líquido a gas.

A pesar de su gran importancia, muchos estudios han demostrado las dificultades de los estudiantes con la comprensión científica de la densidad. Estas dificultades se atribuyen, en parte, a la naturaleza abstracta de este concepto. Cuando los estudiantes carecen aún de un modelo científico predictivo, explican la densidad y otras propiedades de la materia desde las ideas implícitas, que se caracterizan por atender la información sensorial y la representación mental que se hacen de ella (Pozo, 2002). Las explicaciones de fenómenos cotidianos se basan así en las concepciones intuitivas, o «teorías implícitas» (Pozo y Gómez Crespo, 1998), sobre la naturaleza de la materia, y los cambios que la materia experimenta son producto de lo que podríamos considerar el «sentido común» o el funcionamiento cognitivo intuitivo. Estas concepciones y representaciones, que están mediadas por nuestros sentidos y por la forma en que percibimos el mundo en que vivimos, se estructuran en torno a unos principios muy diferentes de los que estructuran las teorías científicas (Gómez Crespo, Pozo y Gutiérrez Julián, 2004), y resultan persistentes en ausencia de una instrucción que resulte eficaz en promover el cambio conceptual.

Si encuentran experiencias adecuadas, los estudiantes desarrollan ideas intuitivas sobre las propiedades de la materia, como masa, volumen o densidad, incluso antes de la instrucción formal; sin embargo, estas intuiciones raramente se desarrollan en una comprensión científica sofisticada, incluso tras finalizar la secundaria obligatoria (Dawkins *et al.*, 2003; Dawkins *et al.*, 2008). La idea intuitiva más estudiada ha sido, como ya se ha dicho, la identificación de la densidad con el peso (Maclin, Grosslight y Davis, 1997; Smith, 1985; Smith, Snir y Grosslight, 1987). En el caso de los líquidos, existen otras propiedades específicas, como la viscosidad, que pueden resultar más evidentes en el plano sensorial (se perciben por la vista), y utilizarse como indicativo de la densidad. Las diferencias en densidad son a veces atribuidas a que los objetos más ligeros están «repletos de aire» o huecos, pero con frecuencia los estudiantes no lo atribuyen a que estén hechos de una sustancia de menor densidad (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

La mayor fuente de dificultades de comprensión puede ser, como ya se ha dicho, el carácter abstracto de la densidad. La densidad se infiere como el cociente entre la masa y el volumen de la materia. Para entender la densidad hay que entender la causalidad relacional: ni la masa ni el volumen por separado

bastan para definir la densidad, sino que es necesario obtener la proporción cantidad de masa por unidad de volumen. Sin embargo los alumnos tienden a focalizar su atención en una sola propiedad, como el peso, en el tamaño o en la forma de los objetos, para inferir la densidad (Grotzer *et al.*, 2005). Del mismo modo, en el fenómeno de la flotabilidad los estudiantes focalizan la causa en el objeto que flota y no en el líquido (Houghton, Record, Bell y Grotzer, 2000; Raghavan, Sartoris y Glaser, 1998), ni en la relación entre la concentración de materia del sólido y del líquido.

Diversos estudios muestran que hasta los primeros años de la primaria los niños –que aún se hallan en la etapa preoperacional (Piaget, 1977)– tienden a generalizar por separado el peso (que se estima a partir del peso percibido) y el tamaño (volumen) o la forma, sin que el tamaño sea todavía un predictor del peso (Smith, Carey y Wiser, 1985; Smith, Snir y Grosslight, 1987). Es decir, tienden a focalizar en una sola las características de los objetos (peso, tamaño, textura o forma) o de los materiales; por ejemplo, un líquido se puede describir como delgado, grueso o flojo (Grotzer *et al.*, 2005). Hacia los 8-9 años, se diferencian el peso (aplicado a los objetos) y la densidad (como característica de los materiales), pero aún sin unidades, pues el razonamiento cuantitativo se alcanza más adelante. Sin embargo, la adquisición del concepto de densidad no es un mero producto del desarrollo cognitivo: existe una gran variabilidad entre poblaciones y estilos de instrucción, en el ritmo de adquisición de los sucesivos hitos (Wiser y Smith, 2008). En ocasiones, ideas de etapas iniciales, como la densidad asimilada al peso percibido, persisten hasta edades mucho más avanzadas.

La persistencia de obstáculos de aprendizaje puede estar relacionada, por tanto, por el modo en que se estructura la instrucción. Según la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación, en el tercer ciclo de Educación Primaria del área de «Conocimiento del medio natural, social y cultural», en el bloque 6 «Materia y energía» se trabaja la utilización de diferentes procedimientos para la medida de la masa y el volumen de un cuerpo, así como la explicación de fenómenos físicos observables en términos de diferencias de densidad: la flotabilidad en un medio líquido (Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria). Con esto, el concepto se da por sabido, pues no vuelve a aparecer específicamente en el currículum de la Educación Secundaria (Real Decreto 1631/2006 por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria). En esta etapa, únicamente se hace una mención general a las propiedades de la materia, dentro del bloque «La Tierra en el universo». De hecho, aunque en los libros de texto de secundaria obligatoria aparece el concepto de densidad, este se nombra dentro del tema de propiedades de la materia como una propiedad más, y únicamente se proporciona la fórmula para su cálculo numérico y aplicaciones sencillas en el tema de la flotación, a modo de repaso de lo visto en primaria.

De acuerdo con la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa, en la Educación Primaria la idea de material, o sustancia identificable por propiedades específicas, se trata en el bloque de «Materia y sus propiedades». A lo largo de la primaria se van utilizando criterios de creciente sofisticación, y solo en los últimos cursos se aborda un tratamiento sistemático de las propiedades generales de la materia (masa, volumen) y de la densidad, concepto que se desarrolla con más detenimiento en la secundaria (Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero).

En la Educación Secundaria, la asignatura de Física de 2.º y 3.º de la ESO incluye la determinación experimental de la masa y el volumen de un sólido, y el cálculo de su densidad. Este concepto se utiliza para explicar la ordenación de los materiales en las capas externas de la Tierra (Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del bachillerato).

Más allá de la formulación de los conocimientos en el currículum, el aprendizaje real se relaciona con la concreción que se hace de este en el aula. A pesar de que se trata de un concepto abstracto, la densidad deriva en realidad de dos características cuantitativas que sí tienen relación con la vida cotidiana

y son directamente perceptibles: masa y volumen (Hitt, 2005). Por tanto, la adecuada estimación de la densidad depende de la capacidad de calcular la masa y el volumen de los cuerpos, y de operar mentalmente con ellos. Para algunos autores las nociones de masa y peso se enseñan de manera muy superficial, y pueden ser un obstáculo para la comprensión de la densidad (Maclin *et al.*, 1997). Además, desarrollar las nociones independientes de densidad y peso requiere razonar sobre causas no obvias, y trabajar específicamente las relaciones de causalidad.

La realidad es que a lo largo de la secundaria muchos estudiantes son capaces de operar con los valores de masa y volumen, y de utilizar la ecuación de la densidad ($d = m/V$) para hallar su valor numérico, aplicando una resolución meramente algorítmica de los problemas. Pero fallan a la hora de asignarles unidades o de responder a cuestiones cualitativas sobre esta relación (datos no publicados) denotando un bajo nivel efectivo de competencia en el uso del concepto.

Por otra parte, comprender el concepto de densidad exige la integración de la visión macroscópica y la microscópica de la materia (Hitt, 2005). Para que el alumno sea capaz de extrapolar y predecir la densidad en función del estado y la temperatura, es necesario dominar ciertas reglas que derivan del modelo cinético-corpúscular de la materia. Las dificultades en el concepto de densidad van unidas a las que los alumnos muestran en entender la estructura atómica de la materia (Furió-Más, Domínguez-Salles y Guisasaola, 2012). La naturaleza corpúscular de la materia solo se trata en la etapa secundaria y los estudiantes parecen entenderla rápidamente. Sin embargo, los estudiantes no la utilizan para explicar fenómenos cotidianos, ya que prefieren emplear las ideas implícitas o de sentido común, y los criterios sensoriales aunque pueden estar revestidos de un vocabulario científico (Gómez Crespo *et al.*, 2004).

Las críticas a la enseñanza tradicional de la teoría atómica de la materia indican que no aporta el conocimiento epistemológico necesario para que los estudiantes reconcilien la experiencia cotidiana de la continuidad de la materia y la científica de átomos discontinuos, que existen en el vacío, sin color u olor. Además, el lenguaje y las ilustraciones de los libros de texto pueden resultar confusos (Wiser y Smith, 2008).

Parece conveniente, pues, investigar las siguientes cuestiones: ¿cuáles son las estrategias que utiliza el alumnado para estimar las diferencias en densidad entre dos objetos, y sus cambios?, ¿hasta qué punto son estas dependientes de la estimación sensorial? Y, en especial, ¿proporciona la Educación Secundaria Obligatoria –con el tratamiento que en ella se hace de materia, su naturaleza corpúscular y sus propiedades macroscópicas– al alumno las estrategias necesarias para estimar de modo adecuado la densidad y predecir sus cambios, utilizando el modelo científico de referencia, y abstrayéndose a la percepción directa?

Por tanto, los objetivos del presente trabajo son los siguientes: *a*) analizar la competencia de los alumnos para estimar de modo comparado la masa, el volumen y la densidad de objetos que pueden manipular; *b*) investigar si la densidad se confunde con otras propiedades sensorialmente más prominentes, como la masa y viscosidad en líquidos; *c*) describir si los alumnos son capaces de predecir cambios en la densidad de los cuerpos en función de otras variables (temperatura y estado de agregación), y *d*) analizar si hay una progresión en el nivel de competencia en la estimación de la densidad a lo largo de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

METODOLOGÍA

Se realizó un cuestionario con once preguntas, de las que cuatro se tratan en este trabajo. Las cuatro cuestiones incluían ítems abiertos, de opción múltiple, de representación, relacionados con la comprensión cualitativa del concepto de densidad (tabla 1).

El cuestionario estaba estructurado por bloques, estando el que se describe en este artículo dedicado a la estimación cualitativa de la densidad. Las cuestiones aparecían ordenadas de lo más simple a lo más complejo: las preguntas trataban aspectos básicos, con la estimación de la masa y volumen, y a partir de ellos la densidad, primero en un caso simple y posteriormente incluyendo factores como la forma, el material o situaciones dinámicas de cambio. Este cuestionario fue previamente validado en dos grupos de 2.º de ESO de un centro público de una zona rural de Navarra. Tras introducir las necesarias modificaciones, el cuestionario se aplicó a un total de 196 alumnos de los cuatro cursos de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) de dos colegios concertados de Pamplona (Navarra), en los que dos de las autoras del artículo llevaron a cabo su trabajo de fin de máster. La fiabilidad del instrumento, medida a partir de la *coherencia entre las partes de la prueba* (Prieto y Delgado, 2010), es de 0,60 ($p < 0,01$) (correlación ρ entre las puntuaciones de esta parte y el resto del test); la validez viene dada por la *validez de contenido* (Prieto y Delgado, 2010), puesto que los ítems han sido diseñados para responder a las preguntas de investigación, atendiendo a las ideas alternativas que se dan en los respectivos aspectos. Los estudiantes habían recibido una enseñanza fundamentada en la transmisión del conocimiento, con pocas oportunidades de desarrollar trabajo experimental en el aula o en el laboratorio, y ajustada al currículum marcado por la ley (Real Decreto 1631/2006, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria, que desarrolla la Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación). Todos los grupos encuestados habían seguido el mismo currículum, aproximadamente en el mismo orden, por lo que presentaban a priori un nivel de familiaridad con el tema similar. No se formaron grupos especiales, ni de control. Los alumnos no recibieron ninguna enseñanza específica, y los investigadores no intervinieron en la docencia de los temas relacionados (materia y densidad).

Tabla 1.
Enunciados de la encuesta

Q1	Comparad las dos bolas de poliestireno (una grande y otra pequeña). ¿Cuál tiene más masa, más volumen y más densidad?
Q2	¿Qué es más denso? Q2.1 ¿Un vaso de agua o la misma cantidad evaporada? Q2.2 ¿Un palillo de madera de pino o el tronco del que se ha fabricado? Q2.3 ¿Un cubito de hielo o la misma cantidad de agua líquida? Q2.4 ¿Un globo de aire frío o la misma cantidad de aire caliente?
Q3	Comparad cuatro pares de objetos metálicos, ¿cuál tiene más masa, más volumen, más densidad? Q3.1 Cilindro de cobre y cilindro de aluminio de la misma altura. Q3.2 Cilindros de aluminio de diferente altura. Q3.3 Cilindro de aluminio y cubo de aluminio, ambos de la misma altura.
Q5	Se dispone de tres botellas que contienen el mismo volumen de agua, miel y aceite. Ordénalos de mayor a menor <i>a</i>) viscosidad, <i>b</i>) densidad y <i>c</i>) masa.

El cuestionario se presentó con un juego de materiales para uso individual, que incluía las siguientes piezas (figura 1): tres cilindros de aluminio, un cubo de aluminio, un cilindro de cobre y dos esferas de poliestireno. Antes de que comenzasen a responder el cuestionario, se instruyó a los estudiantes sobre el contenido del juego, indicando el material del que estaba hecha cada una de las piezas, para evitar ambigüedades. Las dimensiones, la masa, el volumen y la densidad de los objetos se incluyen en la tabla 2.

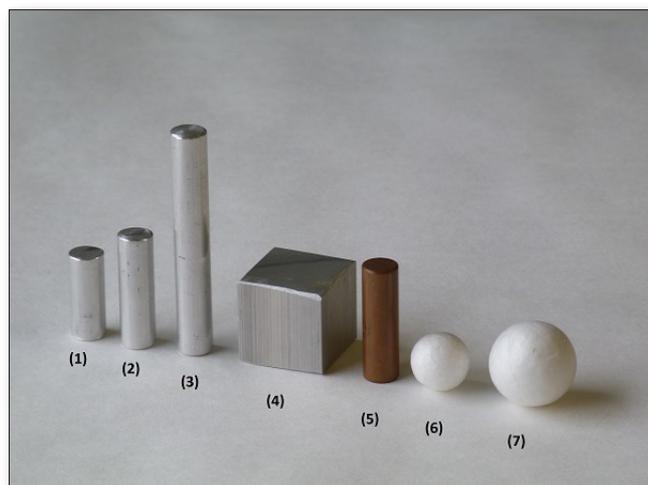


Fig. 1. Objetos puestos a disposición de los alumnos durante la encuesta: (1-3) cilindros de aluminio, (4) cubo de aluminio, (5) cilindro de cobre, (6 y 7) esferas de poliestireno.

Tabla 2.

Dimensiones, masa, volumen y densidad de los objetos puestos a disposición de los alumnos mientras respondían a las cuestiones de la encuesta

<i>Objeto</i>	<i>Dimensiones</i> ^(a)		<i>Masa</i>	<i>Volumen</i> ^(b)	<i>Densidad</i> ^(b)
	<i>/ mm</i>		<i>/ g</i>	<i>/ cm³</i>	<i>/ g cm⁻³</i>
<i>Esferas</i>	<i>Diámetro</i>				
Esfera PS menor	19,1		0,0851	3,65	0,0233
Esfera PS mayor	27,7		0,2835	11,13	0,0255
<i>Cilindros</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Altura</i>			
Al menor	12,0	30,4	9,2536	3,44	2,69
Al mediano	12,0	40,0	12,0954	4,52	2,67
Al mayor	12,0	80,0	24,2503	9,05	2,68
Cu	12,0	40,3	40,3068	4,56	8,84
<i>Cubo</i>	<i>Lado</i>				
Al	30,0		75,0872	27,00	2,78

^(a) Medida utilizando un calibre; ^(b) Calculado aplicando la fórmula matemática.

Para facilitar el análisis de los resultados, las preguntas fueron reorganizadas en ítems discretos que permiten explicar aquellos en función de la intensidad de la información sensorial que proporcionan (tabla 3), o según la variable que cambia (tabla 4).

Tabla 3.
Estimación de la masa en objetos sólidos

Cuestión	Clave	Información sensorial				Densidad
		Material	Masa	Volumen	Forma	
Q3.1	Cilindros Cu - Al	Diferente	Diferente	Igual	Igual	Diferente
Q1	Esferas PS- PS	Igual	Diferente ^(a)	Diferente	Igual	Igual
Q3.2	Cilindros Al - Al	Igual	Diferente	Diferente	Igual	Igual
Q3.3	Cilindro Al - cubo Al	Igual	Diferente	Diferente	Diferente	Igual
Q2.2	Palillo - tronco ^(b)	Igual	Diferente	Diferente	Diferente	Igual

^(a) La diferencia de masa no es apreciable sensorialmente. ^(b) Material no incluido en el juego a disposición de los alumnos. Para cada comparativa se identifica el número de pregunta y se señalan las magnitudes que se perciben sensorialmente (vista, tacto, sopesar) como diferentes o no y la comparación de densidades.

Tabla 4.
Densidad como función del estado de agregación y de la temperatura

Cuestión	Variable	Comparativa	Clave
Q2.1	Estado de agregación	Líquido <i>vs.</i> gas	$d_L > d_G$
Q2.3	Estado de agregación	Sólido <i>vs.</i> líquido	$d_S < d_L$ ^(a)
Q2.4	Temperatura	Gas frío <i>vs.</i> caliente	TEMP

(a) La cuestión pedía comparar la densidad del hielo con la del agua líquida. El agua es una excepción, pues a diferencia de otras sustancias $d_S < d_L$. Para cada comparativa se identifica el número de la pregunta, el factor que varía, la comparativa que se solicita y los códigos en las figuras de resultados.

RESULTADOS

El volumen fue la propiedad cuantitativa con mayor porcentaje de aciertos, seguido por la masa y la densidad. El porcentaje de aciertos en la estimación del volumen fue superior al 80 % en todos los cursos ($91 \pm 5,4$ %) (figura 2). No se observaron diferencias significativas entre los diferentes cursos de la ESO, ni tampoco en las cuestiones que difieren en la información sensorial. Es decir, los alumnos identificaron acertadamente las diferencias de volumen en objetos que varían en el material, en la forma o en el tamaño.

Un 81 ± 10 % del alumnado estimó correctamente el sentido de las diferencias de masa entre objetos (figura 3). No se apreciaron diferencias significativas entre cursos ni entre cuestiones. Los aciertos fueron más bajos cuando las diferencias de masa apenas se percibían al tacto, como es el caso de las dos esferas de poliestireno (esferas PS-PS). En este caso la diferencia clara de volumen entre ambas no fue indicio suficiente para deducir la diferencia en las masas, asumiendo que para un mismo material la densidad es constante: entre un 20 y un 40 % de los alumnos de tres cursos atribuyeron la misma masa a las dos esferas de poliestireno.

Cuando los alumnos tuvieron que comparar la densidad de los materiales, el porcentaje de aciertos fue menor que en las cuestiones sobre el volumen y masa ($K = 32.498$; $gl = 2$; $p < 0,01$). No se observaron diferencias significativas entre cursos ni entre los materiales comparados, globalmente (figura 4). El

par cuya densidad mejor se estimó fueron los cilindros de aluminio y cobre (64-82 %). Estos cilindros son iguales en forma y volumen (tabla 2), aunque el color y las masas son sensiblemente diferentes. El alumnado identificó adecuadamente el cilindro más denso, que a igual volumen es también el más pesado.

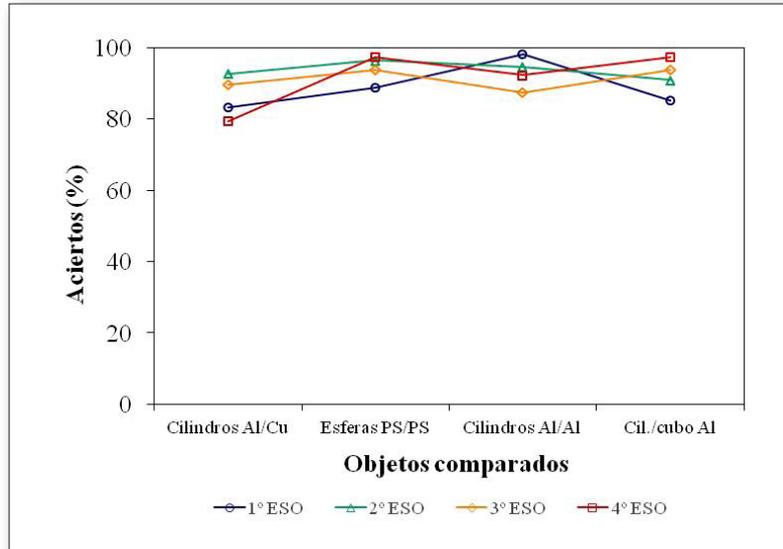


Fig. 2. Evolución en la estimación del volumen de los objetos comparados.

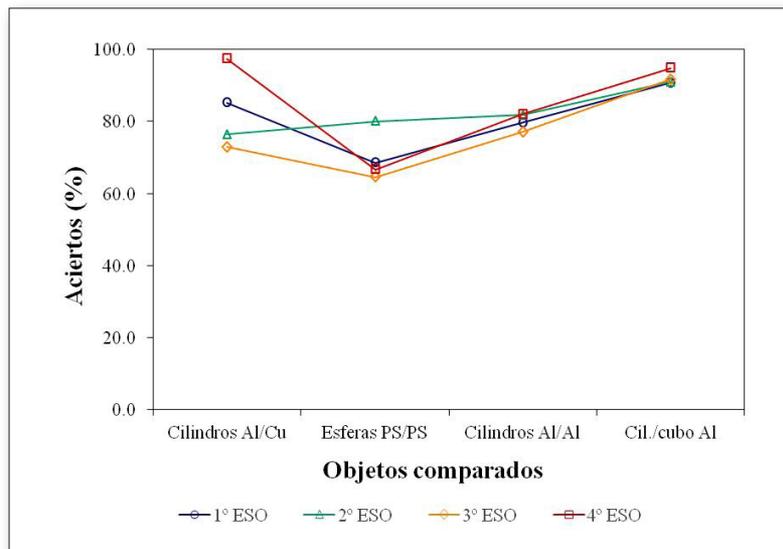


Fig. 3. Evolución en la estimación de la masa de los objetos comparados.

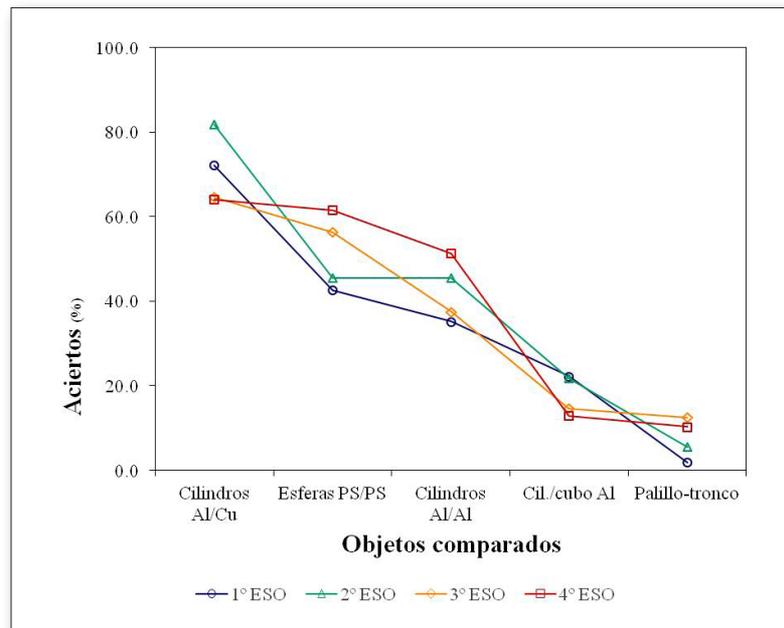


Fig. 4. Evolución en la estimación de la densidad de los objetos comparados.

En la comparativa de densidad de dos esferas de poliestireno de distinto volumen, los aciertos disminuyeron con respecto a la anterior; variaron desde un 45 % en primero hasta el 62 % en cuarto curso. A pesar de la diferencia real de masas (3 veces más), esta no es perceptible al sopesarlas, lo que les permitió adjudicar la misma densidad a masas percibidas como iguales. Las respuestas erróneas se debieron a que adjudicaron mayor densidad a la más grande. Los aciertos bajaron en los cilindros de aluminio (35-51 %); la diferencia de masas también se percibe al sopesarla, y la diferencia en volumen es notable. La mayoría de los fallos adjudicaron erróneamente mayor densidad al cilindro de mayor masa.

Solo un 20 % del alumnado, para los 4 cursos, acertó cuando se le pidió comparar la densidad de un cilindro y un cubo de aluminio de la misma altura (figura 4, Cil./cubo Al) o la densidad de un palillo de madera de pino y el tronco del que se había fabricado (figura 4, palillo-tronco). Los alumnos contestaron mayoritariamente que el objeto de mayor masa y volumen era el más denso de los dos que se comparaban, aunque sean el mismo material.

En definitiva, los alumnos en todos los cursos identificaron como más denso el objeto más pesado, cuando al sopesar el material la diferencia de masas se percibía claramente. Cuando esta diferencia era pequeña, indicaron que la densidad era la misma. Si las diferencias sensitivas (tangibles o imaginadas) en la masa eran muy grandes, y también lo eran la forma o el tipo de objeto, adjudicaron mayoritariamente la mayor densidad al de más masa, obviando que eran el mismo material. El porcentaje de aciertos alcanzó un mínimo en la comparativa palillo-tronco, donde no tenían delante los objetos para efectuar las comparaciones.

Tabla 5.

Porcentaje de alumnos de cada curso que se adscriben a cada modelo explicativo de la densidad

<i>Modelo</i>	<i>¿consistente?</i>	<i>1.º ESO</i>	<i>2.º ESO</i>	<i>3.º ESO</i>	<i>4.º ESO</i>
		<i>(n = 49)</i>	<i>(n = 50)</i>	<i>(n = 42)</i>	<i>(n = 38)</i>
Intensivo	SÍ	8,9	10,2	6,0	11,9
Extensivo		48,0	57,1	48,0	42,9
<i>Ext - inconsistente</i>	<i>NO</i>	<i>24,6</i>	<i>24,5</i>	<i>30,0</i>	<i>19,0</i>
<i>Ext - peso</i>	<i>SÍ</i>	<i>8,9</i>	<i>12,2</i>	<i>6,0</i>	<i>7,1</i>
<i>Ext - tamaño</i>	<i>SÍ</i>	<i>14,5</i>	<i>20,4</i>	<i>12,0</i>	<i>16,7</i>
Otros modelos	NO	43,0	32,7	46,0	45,2

Los porcentajes se calculan sobre las respuestas válidas de cada curso (n).

Esto significa que entre un 43 y un 57 % de los alumnos se mantuvieron en un modelo extensivo basado en el peso o en el tamaño percibidos. Los alumnos que utilizaban este modelo asignaron más densidad a más peso (6-12 %) o a mayor tamaño (12-20 %) o, en otras ocasiones (19-30 %), de modo inconsistente, recurriendo según la pregunta al modelo extensivo o al criterio científico correcto (a igual sustancia, igual densidad) (tabla 5). Frente a esto, solo un 6-12 % de los alumnos demostraron manejar un modelo científicamente correcto coherente, que asigna igual densidad a las mismas sustancias, sea cual sea su forma y tamaño. Cerca de un 50 % de los alumnos para todos los cursos mantuvieron modelos inconsistentes, que aplican criterios incompatibles entre sí, como indicar mayor densidad para el más grande/pesado en algunos casos, y en otros para el más pequeño/ligero. No se observa una evolución notable en la cantidad de alumnos identificados con cada modelo de 1.º a 4.º.

Cuando se pidió ordenar tres botellas iguales e imaginadas de miel, aceite y agua según su viscosidad, densidad y masa (Q4), más de un 90 % de los alumnos de todos los cursos acertaron el orden correcto de la viscosidad (miel - aceite - agua) (figura 5). Una mayoría de alumnos, igual o superior al 60 % para todos los cursos, predijeron un orden para la masa de las sustancias que sigue el orden de la viscosidad; es decir, los estudiantes estimaron que, para el mismo volumen, una sustancia más viscosa tiene más masa. Esta identificación entre masa y viscosidad se mantiene en tercero y cuarto curso. Solo un número de alumnos inferior al 10 % utilizaron otros criterios.

El porcentaje de aciertos al ordenar estas sustancias según su densidad aumentó del 30 % para 1.º y 2.º de la ESO al 50 % para 4.º. Un número comparable de alumnos (50-30 %), que descendió de primero a cuarto, identificaron la densidad erróneamente con la viscosidad. Es decir, los alumnos de primero confiaron mucho más en el criterio de viscosidad (perceptible) como indicativo de la densidad que los de cuarto. En este curso (cuarto) casi un 50 % de los alumnos aportaron el orden correcto de densidad, abstrayéndose de la viscosidad. Aproximadamente otro tercio (20-40 %) de los alumnos ordenaron las tres sustancias según otras cuatro diferentes combinaciones, en las cuales el aceite o el agua eran las sustancias de mayor viscosidad o densidad, o al azar, sin que se pudiese observar un patrón claro en las respuestas (figura 7). En primer curso porcentajes similares de alumnos acertaron al ordenar por masa y por densidad, aunque solo un 15 % de los alumnos aplicaron simultáneamente ambos criterios. Este porcentaje subió progresivamente al 30 % en 4.º curso.

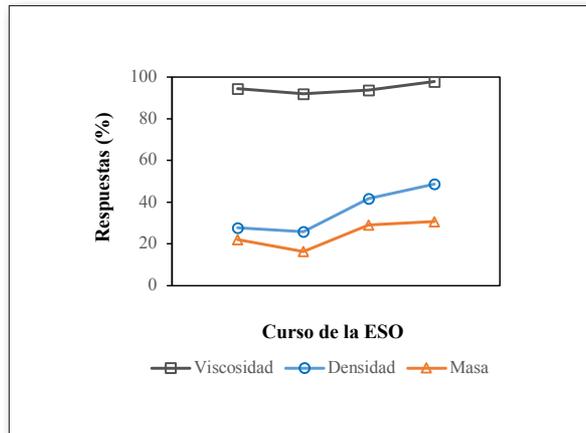


Fig. 5. Porcentaje de alumnos que identifican el orden correcto de (1) viscosidad, (2) densidad y (3) masa.

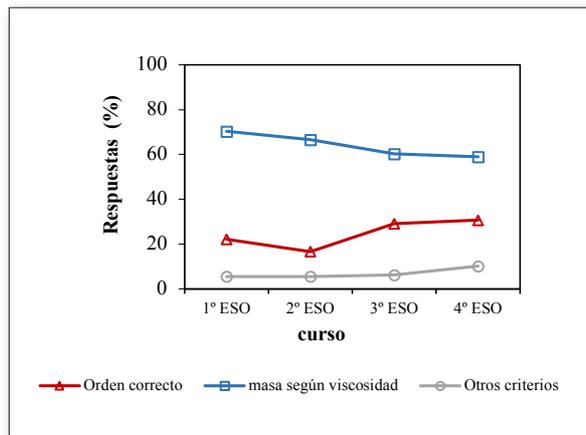


Fig. 6. Identificación de masa y viscosidad. Porcentaje de alumnos que (1) identifican el orden correcto de masa; (2) utilizan el orden de viscosidad, o (3) utilizan otros criterios.

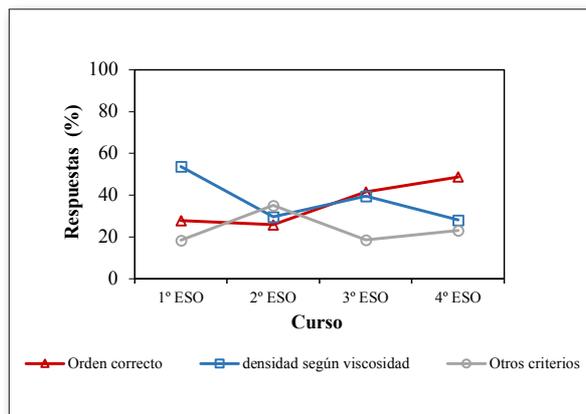


Fig. 7. Identificación de densidad y viscosidad. Porcentaje de alumnos que (1) identifican el orden correcto de densidad; (2) utilizan el orden de viscosidad, o (3) utilizan otros criterios

Las preguntas Q2.1, Q2.3 y Q2.4 abordan la predicción de la densidad según el estado de agregación de la materia o de la diferencia de temperatura. Cabe destacar que los alumnos no contaban con elementos manipulables para responder a estas preguntas, aunque son sustancias con las cuales los estudiantes tienen experiencia cotidiana. Cuando se preguntó a los alumnos qué tenía más densidad, si un vaso de agua o la misma cantidad de agua evaporada ($d_L > d_G$), más del 80 % de los alumnos de 1.º y 2.º de la ESO respondieron correctamente que el agua líquida es más densa que el agua evaporada. El porcentaje disminuyó al 61 % en los cursos superiores (figura 8). El 40 % restante de los alumnos de 3.º y 4.º incidieron en respuestas incorrectas e incoherentes con la experiencia, al menos en este contexto formal que implica movilizar el conocimiento académico.

Entre el 19 % de los alumnos de 3.º y el 44 % de los alumnos de 4.º (figura 8) predijeron correctamente que la densidad de un cubito de hielo era menor que la misma cantidad de agua líquida ($d_S < d_L$). Un 35 % de los alumnos de todos los cursos acertaron al indicar que el aire frío contenido en un globo es más denso que el aire caliente (TEMP).

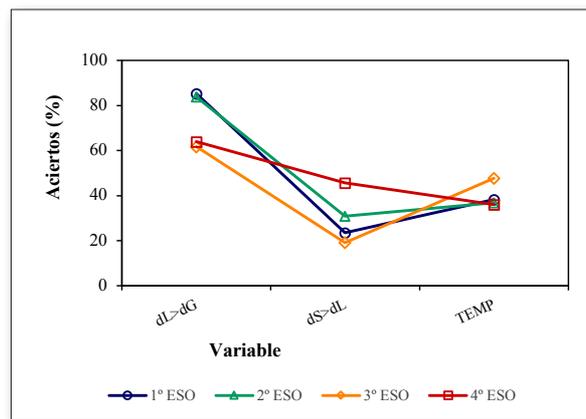


Fig. 8. Predicción de la variación de la densidad con los estados de agregación del agua y con la temperatura del aire (clave en tabla 4).

DISCUSIÓN

Los estudiantes estimaron mejor el volumen y la masa de los objetos que la densidad de los materiales. Los alumnos de todos los cursos estimaron la masa de los sólidos por el peso percibido al sopesarlos y, por tanto, mostraron las máximas dificultades para estimar masas de objetos ligeros o que tenían poca diferencia de masa, lo que evidencia que se dejaron guiar por la percepción, y no por la aplicación del razonamiento, sabiendo que la densidad es una propiedad específica e intensiva. La estimación de la densidad estuvo guiada en gran medida por la información sensorial más disponible; es decir, las magnitudes ya citadas y que podían ser evaluadas directamente (peso, volumen y forma). La densidad se valoró en gran medida (*ca.* 40 %) a partir del peso o del volumen (criterio extensivo).

La masa de los líquidos se predijo a partir de la viscosidad de las sustancias (figura 6). A la hora de estimar la densidad, el porcentaje de alumnos que ordenaron correctamente la densidad fue similar al de alumnos que recurrieron al orden de viscosidad o utilizaron otros criterios. No se expresó una relación directa entre masa y densidad.

Los bajos porcentajes de acierto sugieren que, en general, los alumnos tuvieron dificultades para predecir los cambios en la densidad con el estado de agregación o la temperatura de las sustancias (figura 8), a pesar de que se trataba de materiales con los que tenían una amplia experiencia cotidiana. En gran medida, los estudiantes utilizaron la regla general que predice que los sólidos son más densos que los líquidos, y estos que los gases. Este criterio lo utilizaron también en el par hielo-agua, a pesar de que el agua es una excepción bien conocida a esta norma, y con la que los alumnos tenían sobrada experiencia. En general, no derivaron un cambio en la densidad, del cambio en temperatura.

Densidad: propiedad intensiva y específica

En primer lugar, destaca la dificultad en estimar correctamente la densidad que varió fuertemente con la cantidad y calidad de datos sensoriales (figura 4). Sin embargo, la estimación de la masa y el volumen (figuras 2 y 3) fue estimada correctamente en todos los cursos. Si bien la densidad es un concepto abstracto, necesariamente mediado por una operación mental entre dos variables cuantitativas (masa y volumen), para los alumnos pasa por la percepción directa de estas variables, y se ve afectada por la cantidad y tipo de pistas sensoriales proporcionadas. Como señalan Grotzer *et al.* (2005), peso o volumen resultan tan obvios que pueden atraer la atención del estudiante, haciendo poco probable que se sustraigan a estas características para estimar la densidad.

La densidad reviste una especial dificultad pues es una propiedad intensiva, que depende de la proporción entre dos dimensiones (masa/peso o volumen), y ninguna de ellas, aisladamente, basta para definirla. Pero el carácter proporcional de ciertos conceptos científicos (temperatura, presión, velocidad...) no se entiende intuitivamente, y estos son interpretados como propiedades extensivas, o dependientes de la cantidad de sistema (Fassoulopoulos, Kariotoglou y Koumaras, 2003). De hecho, al menos en algunos casos, los estudiantes tienden a evitar el razonamiento proporcional a la hora de resolver problemas científicos que, a menudo, les resulta más arduo que la aplicación directa de fórmulas matemáticas (Dawkins *et al.*, 2008). Nuestros resultados muestran que los alumnos identifican la densidad de los objetos sólidos con el peso percibido (Smith, Snir y Grosslight, 1987), o con su volumen; por tanto, como una propiedad extensiva de la materia. Estos resultados confirman que los estudiantes fijan su atención en una sola propiedad del objeto presentado.

Ahondando más en el tema, debemos hablar de «peso percibido» y no de «masa», aunque estas dos dimensiones sean directamente proporcionales. En el ideario popular se puede entender la densidad como la ratio entre el peso y el volumen de los cuerpos (Smith *et al.*, 1985), y entre la masa y el volumen. El peso de un objeto puede estimarse levantándolo en la mano, mientras que la masa es un concepto más abstracto; la distinción entre estos dos conceptos no se alcanza hasta la edad de 14-15 años (Fassoulopoulos *et al.*, 2003). Si bien los alumnos se guiaron por el peso percibido para estimar la densidad de los sólidos, al ordenar los tres líquidos (miel, aceite, agua), no establecieron una relación directa entre la masa de los líquidos y su densidad, tomando el volumen constante (figuras 5 y 6). Tampoco fueron capaces de usar el volumen para predecir la masa, conocida la densidad (figuras 2 y 3). Es decir, densidad y masa no se perciben como necesariamente relacionados, lo cual indica que esta relación fundamental no está adecuadamente interiorizada.

La densidad tampoco se interpreta como una característica propia de cada material. Como queda patente en la comparativa de cilindros de cobre y aluminio, y de líquidos, los estudiantes sí atribuyen a los diferentes materiales diferentes densidades. Sin embargo, no se posee la idea de que el mismo material tiene la misma densidad (en similares condiciones de T y P). Si los estudiantes tuvieran clara esa noción, el porcentaje de aciertos sería mayor en todas las comparativas de cilindros y cubos sólidos de aluminio, donde deberían identificar como igualmente densos todos los cuerpos hechos del mismo material. Esta regla tampoco se utiliza en el sentido inverso para predecir la masa en función del volumen: en el caso de las esferas de poliestireno, de haber percibido la densidad como propiedad específica

los estudiantes habrían sido capaces de predecir que la bola mayor debería tener una masa mayor, siendo su densidad constante. Una alta proporción de los alumnos indicaron que las masas eran iguales.

El modelo de densidad intensivo o científico es utilizado por un bajo número de alumnos (9 % para los cuatro cursos), frente a los que recurren a un modelo extensivo (48 %), basado en la masa, en el tamaño, o en un criterio intermedio mixto extensivo-intensivo. El modelo de densidad incoherente corresponde a un porcentaje de alumnos alto (43 %), y semejante en todos los cursos, lo que invita a repensar las estrategias de enseñanza y aprendizaje de este concepto.

Evolución entre cursos

En general, en cuanto a la estimación comparativa de la densidad entre sólidos, los porcentajes de aciertos y fallos son semejantes en todos los cursos, lo que advierte de la falta de mejora en el aprendizaje a lo largo de la ESO. No hay un desplazamiento en el tipo de modelo explicativo utilizado a lo largo de los cuatro cursos estudiados. Hay mejores respuestas en cuarto y tercer curso cuando el peso percibido de los objetos es muy pequeño, si su densidad es baja y cuando la diferencia percibida entre objetos también es pequeña. Los resultados superiores en uno de los cursos de 2.º de la ESO pueden deberse a las particulares características de ese grupo concreto, puesto que la muestra es incidental.

Con el paso de los cursos, paulatinamente se confunden menos masa y densidad con la viscosidad de las sustancias, y crece el porcentaje de respuestas correctas. En el sentido contrario, los alumnos de 1.º y 2.º, aun sin dar formulación científica a sus intuiciones, son más competentes para aplicar el concepto de densidad en la explicación de fenómenos cotidianos como el cambio de fase líquido-vapor: en la comparativa entre estados de agregación aportan un mayor porcentaje de respuestas correctas, que casan con la observación cotidiana (el hielo flota sobre el agua), y no tanto con las reglas predictivas generales aprendidas en la escuela (la densidad de los materiales aumenta de gas a líquido, y de líquido a sólido), que en cursos superiores se aplican incorrectamente, pues no se encuentran adecuadamente interiorizadas.

Los alumnos elaboran a lo largo de la escolaridad un modelo de densidad, adecuado en unos casos, semiacorde con el científico en otros y acientífico en otros. Estos modelos en formación son asimilables a los «modelos sintéticos» (Vosniadou, 2008) que sustituyen a las ideas ingenuas donde se identifican peso y densidad, destruyen su coherencia para construir modelos que son inconsistentes y alternativos, que dependen más de la cantidad y calidad de los datos sensoriales disponibles que de un conocimiento profundo del concepto de densidad. Los alumnos de 3.º y 4.º de la ESO ya han destruido los modelos ingenuos (basados en la percepción directa) pero consistentes, aunque aún no tienen bien elaborado el criterio científico.

La enseñanza tradicional de la física en secundaria tiene un importante componente teórico. La densidad se estudia como la relación matemática entre la masa y el volumen. Mediante la aplicación mecánica de la fórmula matemática y la relación con la flotabilidad se aborda también en ocasiones de modo puramente algorítmico. A la luz de nuestros datos, nos atrevemos a decir que la introducción teórica-algorítmica del concepto de densidad, sin un tratamiento experimental explícito, tiene poco efecto práctico, y proponemos algunas pautas para una enseñanza más efectiva.

Propuesta didáctica

Nuestros datos sugieren que la densidad, lejos de poder aprenderse como un concepto teórico, depende fuertemente de la percepción directa de las variables implicadas, masa y volumen, las dos magnitudes en las que tiene que apoyarse la operación de cálculo. Una enseñanza basada en aproximaciones meramente teóricas que incluya la resolución de problemas puramente algorítmica tiene un efecto

escaso, como denota la ausencia de evolución de 1º a 4º. En cualquier caso lleva a un conocimiento superficial, en el que los alumnos pueden resolver adecuadamente operaciones de cálculo o preguntas directas, pero que no puede ser aplicado a la resolución de tareas prácticas complejas («competencia», según Eurydice, 2002).

Esto no significa que deba abandonarse la aproximación cuantitativa. La comprensión intuitiva y la basada en conceptos matemáticos se complementan para desarrollar un concepto adecuado de densidad (Maclin *et al.*, 1997). Es decir, las intuiciones sobre densidad pueden involucrar conceptos cuantitativos, aunque no se les dé un tratamiento matemático formal (Dawkins *et al.*, 2008). De hecho, ignorar las conexiones que se establecen entre la comprensión basada en la experiencia que se desarrolla durante la primaria y las relaciones matemáticas, representadas mediante fórmulas que se introducen en la secundaria, puede crear vacíos cognitivos que impidan una adecuada adquisición de conceptos complejos como la densidad (Dawkins *et al.*, 2008).

Por tanto, defendemos que el aprendizaje de la densidad debe basarse en la experimentación directa. En primer lugar, la determinación sistemática de la masa y del volumen, incluyendo su medición, primero aplicado a cuerpos concretos y extrapolando posteriormente a materiales, como paso para la identificación de la densidad como propiedad específica. Para superar la dependencia de los datos sensoriales inmediatos, conviene trabajar especialmente la distinción entre peso percibido y peso real (Wiser y Smith, 2008). La percepción directa aporta la noción de espacio, y de la masa que está presente en ese espacio. Además, desarrollar las nociones independientes de densidad y peso se necesita razonar sobre causas no obvias, y trabajar específicamente las relaciones de causalidad, para lo que es adecuado el uso de objetos sólidos de diferentes tamaños y materiales, que ayuden a desarrollar primero una idea intuitiva de la densidad (Grotzer *et al.*, 2005). Esta cantidad puede entenderse con más facilidad si se trabaja e ilustra la relación lineal entre peso (masa) y volumen para un mismo material (Rower y Dawson, 1977; Fassoulopoulos *et al.*, 2003).

Los modelos visuales (mediados por ordenador) podrían ayudar a percibir la densidad como propiedad intensiva: es más sencillo conceptualizar una propiedad intensiva en los modelos que la densidad en los objetos reales (Smith, 1985). Igualmente, las conclusiones extraídas en este trabajo sobre los obstáculos de aprendizaje extendidos entre el alumnado podrían servir para mejorar algunos de los modelos informáticos ya existentes (por ejemplo, http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/propiedades/densidad.htm; <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/density>, o <http://www.concivi.didacticacienciasugr.es/index.php?module=Mediashare&func=browse&aid=2&mid=4>).

Más adelante sería adecuado trabajar la idea de la densidad misma, y de sus relaciones con otras propiedades (e.g. viscosidad) y fenómenos (e.g. flotabilidad), mediante tareas y situaciones ricas y variadas, que mediante el conflicto permitan ir refinando progresivamente esta noción. El conflicto cognitivo no siempre produce cambio conceptual, sino que, para ser efectivo, tiene que ir acompañado de la oportunidad de reflexionar sobre sus concepciones para reconstruirlas (Tao y Gunstone, 1999)

Para que todos los estudiantes mejoren su representación del modelo de densidad no basta con el desarrollo cognitivo y el mayor nivel científico, sino que hay que afrontar cambios en los procesos de aprendizaje que incluyan, entre otras actividades, experimentación y modelización, etc. (Wiser y Smith, 2008).

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a dos revisores anónimos sus valiosas sugerencias que sirvieron para mejorar una versión anterior de este manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAWKINS, K. R., DICKERSON, D. L. y BUTLER, S. (2003). Pre-Service Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Density. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, pp. 1-13.
- DAWKINS, K. R., DICKERSON, D. L., MCKINNEY, S. E. y BUTLER, S. (2008). Teaching Density to Middle School Students: Preservice Science Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Practices. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 82(1).
- ESPAÑA. REAL DECRETO 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria, Boletín Oficial del Estado 19349-19420 (2014). Spain, Spain.
- EURYDICE. (2002). Las competencias clave: un concepto en expansión dentro de la Educación Secundaria Obligatoria, 1-194.
- FASSOULOPOULOS, G., Kariotoglou, P. y KOUMARAS, P. (2003). Consistent and inconsistent pupils' reasoning about intensive quantities: The case of density and pressure. *Research in Science Education*, 33(1), pp. 71-87.
<http://doi.org/10.1023/A:1023658419034>
- FURIÓ-MÁS, C., DOMÍNGUEZ-SALES, M. C. y GUIASOLA, J. (2012). Diseño e implementación de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de Las Ciencias*, 30(1), pp. 113-128.
- GÓMEZ CRESPO, M. Á., POZO, J. I. y GUTIÉRREZ JULIÁN, M. S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), pp. 198-209.
- GROTZER, T., HOUGHTON, C. y BASCA, B. (2005). *Causal Patterns in Density*. (National Science Foundation, Ed.). Cambridge.
- HITT, A. M. (2005). Attacking a Dense Problem: A Learner-centered Approach to Teaching Density. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*. ERIC. <http://doi.org/10.3200/sats.42.1.25-29>
- HOUGHTON, C., RECORD, K., BELL, B. y Grotzer, T. A. (2000). Conceptualizing density with a relational systemic model. In *National Association for Research in Science Teaching (NARST) Conference*. New Orleans, LA.
- LEY ORGÁNICA 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa, Boletín Oficial del Estado 97858-97921. BOE 295, del 10 de diciembre de 2013.
- MACLIN, D., GROSSLIGHT, L. y DAVIS, H. (1997). Teaching for Understanding: A Study of Students' Preinstruction Theories of Matter and a Comparison of the Effectiveness of Two Approaches to Teaching About Matter and Density. *Cognition and Instruction*, 15(3), pp. 317-393.
<http://doi.org/10.1207/s1532690xci1503>
- PIAGET, J. (1977). *Epistemología genética*. Argentina: Solpin.
- POZO, J. I. (2002). La adquisición de conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 7(3), pp. 245-270.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ed. Morata.
<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- PRIETO, G. y DELGADO, A. R. (2010). Fiabilidad y validez. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), pp. 67-74.
- RAGHAVAN, K., SARTORIS, M. L. y GLASER, R. (1998). Why does it go up? The impact of the MARS curriculum as revealed through changes in student explanations of a helium balloon. *Journal of Research in Science Teaching*.
[http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199805\)35:5<547::AID-TEA5>3.0.CO;2-P](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199805)35:5<547::AID-TEA5>3.0.CO;2-P)

- REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del bachillerato. Spain, Spain.
- SMITH, C. L. (1985). *Weight, Density and Matter: A Study of Elementary Children's Reasoning about Density with Concrete Materials and Computer Analogs*.
- SMITH, C. L., CAREY, S. y WISER, M. (1985). *On differentiation: a case study of the development of the concepts of size, weight, and density*. *Cognition* (vol. 21).
[http://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90025-3](http://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90025-3)
- SMITH, C. L., SNIR, J. y GROSSLIGHT, L. (1987). *Teaching for conceptual change using a computer-based modeling approach: The case of weight/density differentiation*. *Technical Report 87-11*. Educational Technology Center, Cambridge.
- TAO, P.-K. y GUNSTONE, R. F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), pp. 859-882.
[http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J)
- TRINIDAD-VELASCO, R. y GARRITZ, A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, (14), pp. 92-05.
- VOSNIADOU, S. (2008). *International handbook of research on conceptual change*. *Learning*. (S. Vosniadou, Ed.) (Vol. 1). New York: Routledge.
- WISER, M. y SMITH, C. L. (2008). Learning and Teaching about Matter in Grades K-8: when should the atomic-molecular theory be introduced. In *International handbook of Research on conceptual change*, pp. 2015-239.

Strategies of Secondary School students to estimate density

María Napal Fraile
Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Dpto. Psicología y Pedagogía. Universidad
Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
maria.napal@unavarra.es

Amaia Zulet González
Pamplona (Navarra, España) –
Investigador independiente
amaia.zulet@unavarra.es

Leyre Santos Cervera
Pamplona (Navarra, España) –
Investigador independiente
santoscerveraleyre@hotmail.com

Jesús Echeverría Morrás
Química Inorgánica. Dpto. Química Aplicada.
Instituto de Materiales Avanzados. Universidad
Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
jesus.echeverria@unavarra.es

Julia Ibarra Murillo
Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Dpto. Psicología y Pedagogía. Universidad
Pública de Navarra. Pamplona (Navarra, España).
julia.ibarra@unavarra.es

Density is a central concept in science, necessary to explain many phenomena in biology, physics, and chemistry. Density is not directly measurable, and must instead be inferred as the ratio between mass and volume. As a consequence, this property is dependent on the composition and structure of the matter, although is constant for a given material (given constant pressure and temperature). In part due to the abstract nature of this relative magnitude, students have difficulties to understand density, which is often mixed with weight and, at later stages, with mass. Lacking a predictive scientific model, students resort to implicit ideas, which rely heavily on sensory information. These representations, mediated by senses and perception, are very persistent in absence of an efficient instruction which succeeds in provoking conceptual change. By the time the students finish High School, they are often able to make calculations involving the formula for density ($d = m/V$), but fail to interpret qualitative questions, or to apply the concept to explain everyday phenomena.

In this context, the objectives of our research were (a) to analyse the competence of students in the estimation and comparison of the mass, volume and density of some objects; (b) to investigate whether density is mixed with some other properties, more conspicuous to senses, such as mass in solids, or viscosity in liquids; (c) to verify whether students are able to predict changes in the density of objects, in relation with changes in other variables (temperature, state of aggregation); and (d) to analyse the existence of any progression in the level of competence in the estimation of density during High School.

We administered a questionnaire to 196 students in two schools. The questionnaire included four questions about estimation of the density in several situations, each with presence of different distractors or associated variables (differences in shape, mass or volume; changes of state; viscosity). Our results suggest that the estimation of density is dependent on direct perception of sensory information such as the perceived weight, size or viscosity, which may prevail over scientific reasoning and lead to wrong estimations. In all levels, a high percentage of students (>40%) estimated density from directly evaluable criteria (mass or volume), which are extensive magnitudes. Around 50% of the students used intermediate models –sometimes inconsistent– closer to the idea of density as an intensive and specific property. The students showed difficulties to predict changes in density with the state of aggregation or temperature, despite of being questioned about quotidian materials they were familiar with. There was no clear progression among courses (1-4 ESO) in the estimation of the density.

These results might be in part attributable to the nature of received instruction. Traditionally, teaching of physics at school is very theoretical, and this seems to promote a superficial learning, not applicable to the interpretation of real situations. We propose that teaching of density should be based on direct experimentation: starting from a systematic measurement of mass and volume of distinct objects, and then extrapolate to materials, as a requisite to identify density as a specific property. Later on, the concept of density should be addressed, best in relation with other properties such as viscosity, or phenomena like flotability, by means of rich and complex tasks, which generate conflict and help refine the concepts.