

Densidad: un concepto para razonar

Andrés Raviolo es Profesor en Química y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales

La densidad es un concepto inicial para las ciencias experimentales dado que se aplica, o está involucrado, en muchos otros fenómenos como: identificación de sustancias, flotación, estados de agregación de la materia, separación de sistemas materiales, hidrostática, etc. Además, es una noción básica, debido a que relaciona dos propiedades generales de la materia (masa y volumen) que son incluidas en las primeras mediciones que se realizan en contextos educativos. Sin embargo, el enfoque de enseñanza del mismo es, habitualmente, superficial y centrado en la resolución numérica de ejercicios.

A pesar de que la densidad es un tema que está presente desde la escuela primaria, se observa la persistencia en estudiantes de distintos niveles educativos, incluso universitarios, de dificultades y concepciones alternativas sobre este concepto (Cuadro 1). Estas dificultades persisten por las características de su enseñanza, como la aplicación en forma mecánica de la fórmula $d = m/V$.

Dificultades en la comprensión del concepto densidad

- no diferencian los conceptos masa, volumen y densidad: atribuyen características de uno a otro
- relacionan a la densidad con una de las variables (masa o volumen) y no con la relación entre ellas
- asocian a la densidad con la masa en términos absolutos y no en términos relativos: masa por unidad de volumen
- confunden cambios de forma con cambios de volumen y, por lo tanto, con cambios de densidad
- no consideran que es una propiedad intensiva, que no cambia con la cantidad
- no la perciben como una propiedad característica o específica de una sustancia, que permite diferenciarla de otras sustancias
- no tienen en cuenta la influencia de la temperatura (o la presión en los gases) sobre la densidad
- confunden densidad con viscosidad en el caso de líquidos

Por otro lado, es un tema que posee un gran potencial para desarrollar razonamientos. Muchos razonamientos se ponen en juego al operar con este concepto en cuatro aspectos fundamentales, que permiten que las y los estudiantes: (I) identifiquen y diferencien las variables involucradas en su definición (m , V y d), (II) reconozcan la naturaleza de estas variables (extensivas: m y V ; intensivas: d), (III) establezcan las relaciones entre ellas (de proporcionalidad directa y de proporcionalidad inversa) y (IV) reconozcan a la densidad como una propiedad específica (que permite diferenciar sustancias).

I) Identificación y diferenciación de las variables

La comprensión de la densidad entraña la apreciación simultánea de dos variables: masa y volumen; lo que demanda identificar y diferenciar ambos conceptos. Se suele asociar cada una de las cantidades masa, volumen y densidad con el tamaño, de modo que el cuerpo de mayor tamaño tiene más masa, más volumen y más densidad. Sin asumir que la densidad es una relación entre masa y volumen.

La masa es la cantidad de materia de un cuerpo. Toda materia tiene masa. Esta magnitud tiene como unidades frecuentes al gramo y al kilogramo. El volumen es la cantidad de espacio que ocupa un cuerpo. Toda materia tiene volumen. Esta magnitud tiene como unidades frecuentes al m^3 , cm^3 , L y mL. La densidad se define como la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa, como el cociente entre la masa y el volumen del cuerpo. Sus unidades frecuentes son g/mL , g/cm^3 , kg/m^3 . Desde el punto de vista epistemológico es un concepto de segundo orden dado que relaciona dos magnitudes directamente medibles.

Cabe aclarar que a la masa se la denomina cotidianamente como peso aunque, para la ciencia, masa y peso son dos conceptos diferentes. La forma del objeto puede influir en la percepción de su peso, por ejemplo un cuerpo achatado da la percepción de que pesa menos, por la “sensación de presión” sobre la mano. La “superficie percibida” o la forma de un objeto pueden influir en la apreciación de su volumen. Ya en niños de primaria aparece la noción de “pesado para su tamaño”, aunque esto no implica que diferencien apropiadamente masa de densidad.

Se recomienda llevar adelante actividades experimentales orientadas a la construcción del concepto y a desafiar las concepciones alternativas. Por ejemplo, la medición de masas y volúmenes de muestras de plastilina de distinto tamaño, en balanza granataria (+0,1 g) y en probeta de 250 mL (+- 2 mL) por desplazamiento de agua. Luego discutir los resultados y la influencia del tamaño en los errores relativos. Realización del gráfico masa versus volumen, discutiendo sobre la pendiente de la recta obtenida.

El planteo de situaciones relacionadas con la vida cotidiana aproxima al estudiantado con la problemática. Por ejemplo, comparar qué tienen en común y de distinto botellas de litro y medio, una de aceite y otra de agua, orientando a que comparen (masa, volumen, densidad y viscosidad), discutiendo sobre el uso del vocablo cotidiano.

II) Naturaleza de las variables

La noción de propiedad intensiva, de propiedad que no depende del tamaño de la muestra homogénea, se corresponde matemáticamente con una razón ($a = x/y$), con el cociente de dos propiedades extensivas, donde el denominador es el volumen y el numerador la masa del cuerpo. La propiedad intensiva se distribuye uniformemente en el cuerpo y por lo tanto no varía con la cantidad considerada, es constante por unidad de volumen. Lo anterior es válido a temperatura constante.

Al ser masa por unidad de volumen es independiente de la cantidad considerada o volumen del objeto. El hecho de que las y los estudiantes no conciban a la densidad como una relación entre masa y volumen, como una noción relativa, hace que fijen su atención en una sola propiedad del sistema como el volumen, trasluciendo una concepción extensiva de la densidad.

Muchas/os estudiantes que poseen una visión extensiva de la densidad expresan frases como “la densidad es mayor en el vaso que contienen más agua”. Es decir, tienden a reducir las dos variables (la intensiva y la extensiva) en una, de acuerdo a las características perceptuales de la tarea.

Otras magnitudes intensivas abordadas en investigaciones de didáctica de las ciencias son velocidad, concentración de disoluciones, temperatura, etc. Al respecto, la comparación analógica puede resultar otro recurso eficaz; por ejemplo, resaltar las similitudes con el concepto de temperatura. Si se junta el contenido de dos recipientes, que contiene cada uno un litro de agua a $50^{\circ}C$, no se obtienen dos litros de agua a $100^{\circ}C$. La temperatura es una propiedad intensiva.

Una forma de priorizar en la enseñanza el carácter intensivo de la densidad, y fortalecer la comprensión de las dos variables extensivas (masa y volumen) de las que

depende, es llevar adelante un enfoque cualitativo, complementario al uso de la fórmula, que defina a la densidad como la masa de una unidad de volumen de la sustancia, por ejemplo la masa de un cm^3 . De forma que las y los estudiantes construyan la representación interna (visualicen) de que 1 cm^3 de agua (un cubito similar a un dado) pesa 1 gramo; en cambio, 1 cm^3 de mercurio pesa 13,6 g. Esto es la expresión, en planteos matemáticos, de la relación unitaria, “si cada cm^3 de oro tiene una masa de 19,3 g, la masa de 15 cm^3 será...”.

III) Relaciones entre las variables

Al comparar densidades entre muestras de distintas sustancias, o en general entre distintos cuerpos homogéneos de composición constante, la densidad es proporcional a la masa (a igual volumen de las muestras) e inversamente proporcional al volumen (a igual masa de las muestras). La densidad es la constante de proporcionalidad entre la masa y el volumen.

En el razonamiento de muchas/os estudiantes, la densidad se relaciona directamente con la masa, estableciendo una relación absoluta y monocausal, a mayor masa mayor densidad. Cuando en realidad, al comparar dos sustancias, la más densa será la que pesa más por una unidad de volumen. Entender esto supone concebir a la densidad como un concepto relativo. En cuestiones sobre flotación se transfiere este razonamiento monocausal si se considera que la flotación depende solamente de la densidad del objeto, sin considerar la densidad del líquido.

En general, la principal dificultad surge con la proporcionalidad inversa: a masa constante, la densidad es inversamente proporcional a su volumen. Podemos tener el mismo peso de dos sustancias diferentes, la que ocupe un menor volumen tendrá mayor densidad. Nuevamente la analogía con otras propiedades intensivas, como la velocidad, puede ayudar. Dado que suele resultar más sencillo admitir la proporcionalidad inversa para el concepto de velocidad, aceptar la relación inversa entre velocidad y tiempo: si tarda menos tiempo va a mayor velocidad.

Arribar a respuestas correctas en ejercicios donde se aplica la fórmula de la densidad, no significa, de por sí, la comprensión de las relaciones de proporcionalidad entre las variables. Dado que puede basarse en una resolución algorítmica, en el uso mecánico de regla de tres sin la comprensión de las magnitudes físicas involucradas. Al respecto es útil escribir la igualdad entre distintos cocientes (masa sobre volumen de una sustancia) e identificar a la densidad como la constante de proporcionalidad.

El cuestionario “Razonando con Densidad” (Cuadro 2) constituye un recurso muy apropiado para diagnosticar y enseñar el concepto. En el cuestionario se indagan las 6 relaciones entre las variables de la densidad desde tareas de proporcionalidad de comparación cualitativa. Resulta un instrumento con grado creciente de dificultad y de fácil administración. Se indica al estudiantado que deben resolverlo mentalmente, sin calculadora y sin realizar cálculos en la hoja.

Cuestionario Razonando con Densidad (RCD)

- 1) ¿Cuál de las siguientes muestras de una sustancia en estado líquido de densidad $1,2 \text{ g/mL}$ tiene mayor masa?
 - a. 300 mL
 - b. 500 mL
 - c. 100 mL
- 2) ¿Cuál de las siguientes muestras de una sustancia en estado líquido de densidad $1,1 \text{ g/mL}$ ocupa un volumen menor?
 - a. 10 gramos
 - b. 50 gramos

- c. 25 gramos
- 3) ¿Cuál de las siguientes muestras de sustancias en estado líquido tiene mayor masa, si todas tienen un volumen de 800 mL?
- a. 0,9 g/mL
 - b. 1,0 g/mL
 - c. 1,1 g/mL
- 4) ¿Cuál de las siguientes muestras de sustancias en estado líquido tiene menor densidad, si todas tienen un volumen de 500 mL?
- a. 500 gramos
 - b. 400 gramos
 - c. 600 gramos
- 5) ¿Cuál de las siguientes muestras de sustancias en estado líquido tiene mayor densidad, si todas tienen una masa de 100 gramos?
- a. 110 mL
 - b. 120 mL
 - c. 130 mL
- 6) ¿Cuál de las siguientes muestras de sustancias en estado líquido ocupa un volumen menor, si todas tienen una masa de 50 gramos?
- a. 0,9 g/mL
 - b. 1,0 g/mL
 - c. 1,1 g/mL

La aplicación de este cuestionario muestra que las y los estudiantes mantienen dificultades con el razonamiento inversamente proporcional, al asumir erróneamente que a mayor volumen mayor densidad, por más que se mencione que la masa de las muestras es la misma. Se obtiene un número de respuestas correctas muy bajo en el ítem 6, comparado con los otros, esto se explica por la complejidad de la tarea asociada al tipo de variables que tienen que relacionar. En el ítem 6 se debe considerar la misma masa en distintas densidades, es decir, la relación entre m y d , y arribar a la conclusión de que la de mayor densidad (opción c), ocupa menor volumen (la mayoría elige la opción opuesta, la opción a). En el ítem 5 se arriba a una relación de proporcionalidad inversa a partir de dos variables extensivas; en cambio, en el ítem 6 se debe arribar a esta relación de proporcionalidad inversa a partir de una variable extensiva y una variable intensiva (una razón). Esto genera un mayor desafío cognitivo, que se traduce en un visible desconcierto en los y las estudiantes cuando se enfrentan a este ítem del cuestionario.

IV) Propiedad específica

La densidad es una propiedad específica muy utilizada para caracterizar y diferenciar sustancias entre sí. Al respecto, resulta necesario que el concepto de sustancia esté consolidado en sus tres características: (a) materia homogénea, (b) de composición fija (definida por su fórmula química) y (c) con propiedades específicas (que la caracterizan y diferencian de otras sustancias). En el análisis que se viene realizando se consideran no solo sustancias, sino también propiedades específicas de materiales homogéneos de composición uniforme, por ejemplo una aleación.

El hecho de que las y los estudiantes consideren a la densidad como una propiedad característica de la sustancia, que en los cuestionarios asuman que si no cambia la sustancia la densidad es la misma, no implica que tengan una comprensión profunda del concepto, es decir, que dominen los tres primeros aspectos de la densidad mencionados anteriormente. Por ejemplo, en tareas piagetianas de conservación se halló que a las y los estudiantes les resultan más complejas las situaciones sobre volumen que sobre densidad, dado que suelen resolver exitosamente cuestiones de conservación de la

densidad apoyándose en la premisa “a misma sustancia misma densidad”, en el hecho de que la densidad es una característica propia o específica de cada sustancia. Es decir, no ponen en juego todas las relaciones entre las variables involucradas en el concepto, como lo hace el cuestionario que presentaremos anteriormente.

En los dos primeros ítems del cuestionario RCD, se trata de muestras de la misma sustancia. Los porcentajes altos de respuestas correctas que se obtienen, podrían deberse a que las y los estudiantes asociaron que “a igual sustancia igual densidad”, asumiendo a la densidad como una propiedad específica de la sustancia. Nuevamente se puede recurrir al recurso de la analogía y compararlo con el concepto de concentración, dado que la concentración de una disolución (mezcla homogénea) no es una propiedad que permite identificarla, reconocerla. Por ejemplo, no tiene sentido decir que son diferentes una disolución de sal en agua de una de azúcar en agua porque tienen distintas concentraciones, o argumentar que si la disolución tiene una concentración de 10 g/L es una disolución de cloruro de sodio. La concentración de una disolución es una propiedad intensiva pero no específica.

Densidad como concepto potente en la enseñanza de las ciencias experimentales

Se insta a llevar adelante la enseñanza del concepto densidad con un enfoque cualitativo, profundizando los cuatro aspectos desarrollados en este artículo.

El dominio del concepto de densidad implicaría una comprensión sólida que le permita al estudiantado resolver cualquier situación que involucre el concepto independientemente de su complejidad. Esto supone entender el concepto de materia homogénea, de sustancia, y reconocer a la densidad como una variable intensiva que relaciona dos variables extensivas. Limitarse a la resolución de problemas de densidad basada en el uso mecánico de procedimientos algorítmicos, impide que las y los estudiantes puedan despegarse de los números y abstraer las relaciones cualitativas-conceptuales entre las variables involucradas y operar eficientemente con ellas.

El tema densidad, como ocurre con otras propiedades intensivas, constituye una oportunidad para trabajar sobre razonamientos y representaciones propias de las ciencias experimentales. Razonamientos como: proporcionalidad directa e inversa, decambio y conservación (identificar qué cambió y qué se mantuvo constante ante una acción), de control de variables (cómo es la relación entre dos variables dejando una tercera constante) y de conservación de la sustancia. Razonamientos que se establecen sobre la base de representaciones internas, como visualizar que un centímetro cúbico de distintas sustancia tienen diferentes masas.

La enseñanza debería orientarse a brindar oportunidades para razonar con los conceptos, a través de variadas y complementarias estrategias (experimentales, situaciones de lápiz y papel, analogías, animaciones, etc.) que permita al estudiantado visualizar, diferenciar y controlar las variables involucradas en el concepto de densidad.

Referencias

Raviolo, A., Moscato, M. y Schnersch, A. (2005). Enseñanza del concepto de densidad a través de un modelo analógico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(2), 93-103.

Raviolo, A., Carabelli, P. y Ekkert, T. (2022). Aprendizaje del concepto de densidad: la comprensión de las relaciones entre las variables. *Latin American Journal of Physics Education*, 16(2), 2310-1-9.

Andrés Raviolo. Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (LIDCIN). Universidad Nacional de Río Negro. Bariloche. araviolo@unrn.edu.ar