

Enseñanza del concepto de densidad a través de un modelo analógico

Andrés Raviolo¹, Mónica Moscato² y Ana Schnersch²

¹ Universidad Nacional del Comahue
San Carlos de Bariloche. Río Negro
araviolo@bariloche.com.ar

² Instituto de Formación Docente Continua

A pesar de que algunos conceptos básicos e iniciales del currículo de ciencias, como masa, volumen y densidad, se enseñan en varios niveles educativos persisten dificultades en estudiantes que cursan el nivel terciario y el universitario. En este trabajo se presenta el Modelo de Cuadros y Puntos y se evalúa la eficiencia de un material de enseñanza, basado en la aplicación de este modelo analógico pedagógico, en la construcción del concepto de densidad. Los resultados obtenidos en esta experiencia fueron positivos; aunque, a pesar de verificarse mejoras estadísticamente significativas entre dos cuestionarios, un tercio de los alumnos mantuvieron la tendencia a reemplazar números en la fórmula de una manera mecánica, manifestando la no consideración de la relación directa entre masa y volumen de una sustancia. Se analizan las razones de la persistencia de dificultades y se discuten algunas implicaciones didácticas.

Palabras clave: densidad, concepciones alternativas, modelo analógico

Even if the basic concepts in science, as mass, volume and density, are taught since early education many difficulties persist in students at college and university levels. We present a Square and Dots Model and we evaluate the efficiency of a work guide, based on the application of this analogical pedagogic model for the comprehension of the density concept. The obtained results were positive. Even if a statistical improvement between two questionnaires was verified, one third of the students maintained the tendency to mechanically replace numbers in the formula, ignoring the direct relationship between mass and volume of a substance. We analyzed the reasons of these difficulties and discuss the didactical implications.

Keywords: density, alternative conceptions, analogic model

Introducción

Este trabajo se inserta en el marco del proyecto de investigación de la Universidad Nacional del Comahue titulado “El uso de modelos en la enseñanza y en el aprendizaje de las ciencias”. Una de sus líneas de investigación se refiere a la utilización de modelos analógicos en la construcción de conceptos básicos de ciencia, en esta línea se estudió la efectividad de un modelo analógico en el aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones (Raviolo y otros, 2004) y, también, en el aprendizaje del concepto de densidad (Raviolo y otros, 2003), el presente trabajo es una continuación de este último.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados obtenidos de la implementación de una nueva guía de actividades con el Modelo de Cuadros y Puntos (MCP) y verificar la eficacia de este modelo analógico para la comprensión del concepto densidad y su diferenciación de los conceptos masa y volumen. La primera versión de esta guía no fue lo suficientemente eficaz en apoyar el proceso de superación de las dificultades y concepciones alternativas que sostenían alumnos terciarios y universitarios sobre el concepto densidad (Raviolo y otros, 2003); en especial, las relacionadas a la consideración de la densidad como una propiedad intensiva y característica de las sustancias. Como se detalló en esa oportunidad

esto se debió a la secuenciación de las actividades y a la necesidad de modificar y agregar otras actividades.

La investigación en torno a las concepciones alternativas ha mostrado que estrategias de enseñanza basadas en la transmisión verbal del conocimiento, y en la resolución de ejercicios que se apoyan en el uso mecánico de un algoritmo, no garantizan el aprendizaje significativo de los contenidos científicos. Es necesario emplear otros tipos de estrategias didácticas en la enseñanza, una de las cuales puede ser el uso de modelos analógicos.

En la enseñanza se emplean analogías para comunicar conceptos nuevos y/o abstractos, dado que permiten transferir conocimientos de unas áreas a otras, facilitando la visualización de un dominio desconocido (Duit, 1991). El uso de una analogía consiste en la comparación de estructuras entre dos dominios: un dominio familiar (análogo-base) y un dominio desconocido (análogo-objetivo). El análogo-base es previamente conocido, o premeditadamente se hace conocer, con el objetivo de que a partir de sus similitudes o correspondencias con el análogo-objetivo permita acceder a ese nuevo o parcialmente nuevo dominio de conocimiento. El análogo-base puede ser presentado con esa intención por otros; por ejemplo, a través de un juego, un experimento, una historia, un modelo, etc.

El Modelo de Cuadros y Puntos, como su nombre lo indica, asigna a cuadrados iguales la unidad de volumen (u.v) y a puntos iguales la unidad de masa (u.m) de la sustancia (Ver Actividad A en el Anexo); la cantidad de puntos por unidad de volumen constituye la unidad de densidad (u.m/u.v). Este modelo está inspirado en el trabajo de Smith, Snir y Grosslight (1992) que presentaron un modelo similar para el concepto de densidad (grid-and-dots model). Estos autores persiguieron el objetivo de representar visualmente a la densidad, de modo tal que dicho modelo está construido sobre una analogía visual que tiene la misma estructura de relaciones que el concepto físico abstracto de densidad.

De acuerdo con la tipología de los modelos usados en las clases de ciencias, presentada por Harrison y Treagust (2000), el MCP pue-

de ser considerado como un modelo analógico pedagógico: "analógico", porque el modelo comparte información con el objetivo, y "pedagógico", porque forma parte de las explicaciones que dan los profesores sobre entidades no observables y accesibles a los estudiantes. Los autores aclaran que dado que los modelos analógicos reflejan para ciertos atributos una correspondencia punto a punto entre el análogo y el objetivo, frecuentemente son simplificados o exagerados con el fin de resaltar estos atributos conceptuales. El MCP es adecuado en virtud a las intenciones con que fue diseñado. Contribuye con una buena representación del fenómeno estudiado, dado que resalta atributos que se consideran conceptualmente importantes como la extensividad de la masa y del volumen y la intensidad de la densidad.

Varios estudios han probado intervenciones didácticas con el fin de favorecer el aprendizaje de los conceptos masa, volumen y densidad. Hewson y Hewson (1983) llevaron adelante una propuesta basada en el conocimiento previo de los alumnos de secundaria con el fin de lograr el cambio conceptual, concebido como la diferenciación o el reemplazo de las concepciones alternativas por las concepciones científicas. Las estrategias y materiales de enseñanza buscaron la integración de las nuevas concepciones con las existentes, su diferenciación e intercambio, procurando que las nuevas concepciones fueran: inteligibles, plausibles y útiles. Como resultado de la experiencia obtuvieron diferencias significativas en la adquisición de los conceptos científicos y en la superación de concepciones alternativas, con respecto a un grupo de control que llevó adelante una enseñanza tradicional basada en el libro de texto.

Por su parte, Hewson (1986) comprobó que, en alguna medida, estudiantes de edades comprendidas entre 14 y 22 años aplicaban a la densidad el modelo corpuscular de la materia. Aunque las explicaciones que ofrecían resultaban inadecuadas o incompletas, dado que sus concepciones sobre masa y volumen dependían de sus concepciones sobre la ubicación, la concentración y la masa de las partículas.

En otro estudio con alumnos de secundaria, Bullejos y Sampedro (1990) comprobaron que

una enseñanza basada en la consideración de las ideas previas en procura del cambio conceptual y metodológico se mostró más eficaz, que una enseñanza basada en la transmisión verbal, en favorecer la diferenciación de los conceptos masa, volumen y densidad. Aunque, no obstante, persistieron algunas dificultades después de dicha propuesta innovadora.

Dificultades en el aprendizaje de la densidad

Los conceptos masa, volumen y densidad, son conceptos básicos e iniciales en el currículo de ciencias. Sin embargo, la diferenciación conceptual entre ellos no es un logro muy extendido en la mayoría de los alumnos, incluso se encuentran dificultades en estudiantes de nivel terciario y universitario.

Los estudiantes poseen ideas previas sobre los conceptos masa, volumen y densidad, construidos en su interacción cotidiana con los materiales y en su interacción social. Ya en niños de primaria aparece la noción de “pesado para su tamaño”, aunque esta noción no implica que diferencien apropiadamente masa de densidad (peso de peso específico) (Driver y otros, 1994).

Seguendo a Pozo y Gómez Crespo (1998), se distinguen tres tipos de concepciones de acuerdo al origen de las mismas: las concepciones espontáneas o de origen sensorial basadas en la interacción cotidiana con los objetos, por ejemplo la sensación de “más liviana” de la plastilina aplastada y apoyada sobre la palma de la mano; las representaciones sociales o de origen cultural basadas en la interacción con el entorno social, por ejemplo la influencia del lenguaje, los distintos significados que se dan en el ámbito cotidiano a los términos densidad o denso: “pesado”, “viscoso”, “apretado”, “numeroso”, “opaco”, “espeso” (Llorens, De Jaime y Llopis, 1989); y las concepciones analógicas o de origen escolar, cuando se asimila un nuevo conocimiento por semejanza a otro similar (o análogo) que se posee.

Una revisión de las dificultades que presentan los alumnos con respecto a los conceptos masa, volumen y densidad se encuentra en

Gabel y Bunce (1994). Para estos autores la naturaleza abstracta de estos conceptos es la causa de la falta de comprensión que se observa en los estudiantes y la razón por la cual recurren a algoritmos para resolver problemas.

Algunas dificultades y concepciones alternativas sobre estos conceptos que se observan frecuentemente en los estudiantes son:

- 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
- no consideran que es una propiedad intensiva, que no cambia con la cantidad
- no la asocian como una propiedad característica 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 cambios de forma con cambios de volumen y, por lo tanto, con cambios de densidad
- confunden viscosidad con densidad

Diseño de investigación

Se llevaron adelante dos etapas de investigación. En la primera se exploraron las dificultades que poseen alumnos de nuestro medio acerca del concepto de densidad. En la segunda etapa se analizó la evolución de las concepciones de los estudiantes como producto de la aplicación del material de enseñanza basado en la utilización del modelo analógico pedagógico MCP.

Etapas 1: Exploración de las dificultades de alumnos de distintos niveles educativos sobre la densidad

Metodología Etapa 1

• **Diseño:** En esta etapa de investigación se indagó a estudiantes de distintos niveles educativos a través de un cuestionario sobre la densidad. Los resultados obtenidos constitu-

yen los datos iniciales, o provenientes de los grupos de control, en una investigación más amplia que se continúa en la Etapa 2.

• **Muestras:** Dos grupos de primer año de universidad (15 alumnos de la carrera de Técnico en Acuicultura y 49 de la Licenciatura en Biología), un grupo de alumnos terciarios futuros maestros (22 estudiantes de 2° año), tres grupos pertenecientes a escuelas de nivel medio: Colegio 1 (21 alumnos de 4° año), Colegio 2 (18 alumnos de 5° año) y Colegio 3 (28 alumnos de 4° año). Todos de la ciudad de San Carlos de Bariloche.

• **Instrumento:** Cuestionario escrito, constituido por tres preguntas, cada una de ellas compuestas por dos partes. Este cuestionario se presenta en el siguiente recuadro:

- 1) a. ¿Qué es la densidad de una sustancia? b. ¿Cómo se determina?
- 2) a. ¿Cuál es la densidad del mercurio si 10 cm³ tienen una masa de 136 g? b. ¿La densidad del mercurio cambia con la cantidad considerada? Explicar.
- 3) a. Un volumen de 10 cm³ de oro tiene una masa de 193 g ¿el oro es más denso que el mercurio? b. ¿Cuál será la densidad del oro si se tienen 20 cm³ (a la misma temperatura)?

Resultados Etapa 1

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de la administración del cuestionario, incluyendo el promedio de edad de cada grupo de alumnos.

Tabla 1. Porcentajes de respuestas correctas

GRUPO	N	EDAD	1a	1b	2a	2b	3a	3b
UNC, Téc.	15	20,1	87	87	67	60	67	27
UNC; Lic.	49	19,9	73	82	94	43	92	39
IFDC 2°	22	24,8	45	27	45	32	41	32
Colegio 1, 4°	21	15,5	48	67	95	48	95	43
Colegio 2, 5°	18	17,0	55	90	95	28	89	22
Colegio 3, 4°	28	16,3	43	43	32	11	32	14

A continuación se analizan las respuestas dadas en cada una de las preguntas y se incluyen ejemplos de frases emitidas por los estudiantes.

- Pregunta 1a:

Casi la totalidad de las definiciones emitidas sobre la densidad se desprendieron de la fórmula, así la respuesta típica a esta pregunta fue: “La densidad es el resultado de la división entre la masa y el volumen”, “La densidad es la masa de la sustancia sobre el volumen”.

Algunos estudiantes confundieron densidad con otros conceptos afines:

• **Confusión con peso:** “La densidad es el peso de la sustancia”, “Es el peso de la masa”, “Es lo que tiene un cuerpo en cuanto al peso”, “Fuerza que ejerce la Tierra”.

• **Confusión con masa:** “Creo que es la cantidad de materia que contiene”, “Es la cantidad de materia que hay en una sustancia”, “La densidad de una sustancia es la cantidad de materia de la misma, mientras más masa mayor será la densidad”.

• **Confusión con volumen:** “La densidad es el espacio que ocupa una sustancia”, “Es la cantidad de lugar que una sustancia ocupa en el espacio”.

• **Confusión con viscosidad:** “La densidad es cuando una sustancia es más o menos espesa que otras”.

• **Confusión con propiedades de las disoluciones:** “Es la cantidad de solución por unidad de volumen”, “La densidad depende de la solubilidad de una sustancia”.

- Pregunta 1b:

Con respecto a cómo se determina la densidad, ningún alumno hizo alusión a que la densidad se puede hallar experimentalmente o midiendo. Todos se refirieron a que se determina a través de la fórmula $d = m/v$: “La densidad se determina mediante la fórmula”, “Se determina a través de reglas de tres simples”, “Se obtiene a través de una ecuación matemática”.

Algunos recurrieron a un algoritmo incorrecto: “Es el cociente entre el volumen y la masa de un objeto”, “Se determina multiplicando el peso por la masa”, “Peso por volumen”, “Masa por volumen”.

- Pregunta 2a:

La mayoría de los alumnos que conocían la fórmula de la densidad no tuvieron dificultades para calcular la densidad del mercurio a partir del dato de la masa correspondiente a un volumen dado.

- Pregunta 2b:

Ante la pregunta si la densidad cambia con la cantidad considerada, un 20% de los estudiantes trataron en forma independiente la masa y el volumen de una muestra de una sustancia: “Si la masa aumenta, la densidad será mayor”, “Aumenta proporcionalmente”, “Que a menos volumen mayor densidad o la inversa”, “Sí, porque si tiene diferente masa, va a ser distinta la densidad”, “La densidad cambia porque el volumen sigue siendo el mismo. Cuando más masa tenga es más denso, será menos denso si al mismo volumen le sacamos gramos”, “Sí, porque al tener más o menos masa, su densidad aumenta o disminuye respectivamente”, “Cuanto más volumen haya, menos denso va a ser”.

No mencionaron que la densidad depende de la temperatura, por ejemplo, la dilatación del mercurio dentro de un termómetro. Sólo un alumno hizo referencia a la temperatura: “No cambia la densidad, salvo que cambien algunas condiciones como la temperatura”. Otros utilizaron un esquema de dilatación – compresión, sin hacer alusión a sus posibles causas: “Creo que porque tiene la propiedad de comprimirse y puede haber más masa de mercurio en 10 cm^3 y cambia la relación m/v ”.

Muchos explicaron haciendo mención a la proposición: “No cambia porque es una propiedad intensiva”. Muy pocos presentaron argumentos donde reconocen que las masas son proporcionales a los volúmenes, por ejemplo: “No, porque si aumenta la masa, aumenta el volumen, entonces presenta una proporcionalidad constante”.

- Pregunta 3a:

Los estudiantes que conocían, al menos, la fórmula para calcular la densidad resolvieron bien esta cuestión y mencionaron que el oro es más denso que el mercurio.

- Pregunta 3b:

Esta fue la cuestión en la que se observaron mayor cantidad de equivocaciones. La respuesta incorrecta más frecuente (40% del total) fue: $193 \text{ g}/20 \text{ cm}^3 = 9,65 \text{ g/cm}^3$; es decir estos alumnos introdujeron en la ecuación los datos disponibles en el enunciado del problema, de una forma mecánica. Por ejemplo, diez alumnos de un colegio mencionaron, a lo largo del cuestionario que la densidad es una propiedad intensiva, a pesar de ello cuatro de ellos resolvieron la cuestión 3b como si fuera extensiva.

Otros presentaron inconvenientes con las unidades: “ $19,3 \text{ kg/cm}^3$ ”, “densidad oro = $0,193 \text{ g/cm}^3$ ”, “La densidad del oro es 386 g ”, “ $193/2000 = 0,0965 \text{ g}$ ”. Pocos explicaron correctamente esta cuestión, por ejemplo un alumno mencionó: “Será igual, porque si se duplica su volumen, también lo hace su masa”.

Discusión resultados Etapa 1

La respuesta generalizada a la primera pregunta: “la densidad de una sustancia es el cociente masa/volumen y se determina haciendo la división entre la masa y el volumen” y los errores que presentaron los estudiantes al resolver la última cuestión, muestran un aprendizaje de la fórmula de la densidad más que del concepto. El hecho de que no hicieron mención al proceso de medición o a su determinación experimental está indicando la forma predominante de cómo se ha abordado el tema en la enseñanza.

Los estudiantes que no contestaron alguna

de las cuestiones pusieron en evidencia que no disponían de otro recurso que no sea la fórmula, por ejemplo carecían de la noción conceptual de la densidad como la masa respecto a su tamaño. Así expresaron: “Se determina con una fórmula, pero tampoco me acuerdo”, “No recuerdo la fórmula para resolver dicho problema”, “En realidad para resolver los problemas no recuerdo bien la fórmula. Pero si el volumen es mayor será menos denso”. Tampoco el hecho de tener memorizadas las proposiciones: “La densidad es una propiedad intensiva” o “La densidad es siempre la misma” constituyeron una garantía para que resolvieran correctamente la última cuestión. Por ejemplo, un alumno expresó: “En teoría la densidad de una sustancia debe ser siempre la misma pero a mi me parece que cambia”.

Frases como: “La densidad cambia ya que es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional al volumen. Por lo tanto, si la masa aumenta la densidad aumenta, pero si aumenta el volumen la densidad disminuye”, demuestran que no tienen presente la dependencia entre la masa y el volumen de una sustancia.

Las respuestas obtenidas en la pregunta 3b estuvieron relacionadas con las ofrecidas en la 2b, por ejemplo, muchos de los estudiantes que consideraron que la densidad de una sustancia varía con la cantidad considerada (porque manipularon la masa, o bien el volumen en forma independiente uno del otro) dejaron, al resolver la cuestión 3b, la masa fija (19,3 g, correspondientes a 10 cm³ de oro) y cambiaron su volumen, llegando al resultado 9,65 g/cm³ (193g/20 cm³). Parecería que estos alumnos recurren, de una forma no conciente, a un esquema de dilatación o compresión, que les permitiría modificar el volumen de la sustancia independiente de la masa de la misma (o viceversa); aunque, cabe aclarar que en sus respuestas no están considerando la influencia de la temperatura sobre la densidad o la influencia de la temperatura y la presión en el caso de los gases.

El hecho de que muchos alumnos no expresen el valor obtenido de densidad con sus respectivas unidades es otra prueba de la mecanización matemática. Las unidades son funda-

mentales para la interpretación física del resultado y, en general, para la comprensión conceptual.

Tampoco se encontró en alumnos, por ejemplo de los niveles educativos superiores, el uso de explicaciones o interpretaciones microscópicas. Un solo estudiante universitario argumentó sobre la densidad: “Me da una especie de distancia entre las partículas en un espacio dado”.

Etapa 2: Evaluación del material de enseñanza basado en el MCP

Metodología Etapa 2

- **Diseño:** El cuestionario inicial, al que se hizo referencia en la Etapa 1, se administró a los alumnos a comienzos del año lectivo. Luego de un período de tiempo de dos semanas se llevó adelante la resolución del material de enseñanza con el MCP cuyas dos últimas cuestiones constituyen el cuestionario final. Se evaluó el cambio en las respuestas brindadas a cuestiones equivalentes en dos momentos, antes y después de trabajo con el MCP, para verificar la influencia de este modelo en la construcción de los conceptos.

- **Material de enseñanza:** El material de enseñanza (ver Anexo) consta de 11 cuestiones que incluyen actividades de presentación del modelo MCP y actividades de consolidación y aplicación del mismo. El tiempo de aplicación es de 1 hora, incluyendo el tiempo necesario para contestar algunas preguntas de autoevaluación sobre lo realizado.

- **Instrumentos:** En la etapa anterior se presentó el cuestionario inicial, que consta de tres preguntas con dos partes cada una. El cuestionario final lo constituyen las últimas dos preguntas del material de enseñanza con el MCP. Estas dos cuestiones coinciden con las dos últimas del cuestionario inicial, las correspondencias son: 2a con 10a, 2b con 10b, 3a con 11a y 3b con 11b. Finalmente, este cuestionario culmina con tres preguntas de autoevaluación sobre la comprensión y aplicación del MCP a los problemas propuestos.

- **Muestras:** Dos grupos de alumnos, uno de terciaria y otro universitario. El grupo de ter-

ciaria está conformado por 22 estudiantes de segundo año, futuros maestros, del IFDC (edad promedio: 24,8 años) y el grupo universitario está formado por 49 estudiantes de la licenciatura en biología de la UNC (edad promedio: 19,9). Ambos grupos pertenecientes a la ciudad de San Carlos de Bariloche.

Resultados Etapa 2

La mayoría de los estudiantes de ambos grupos no tuvieron dificultades en realizar correctamente las primeras 9 actividades de aplicación y consolidación del MCP.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos, por cada grupo y en las dos oportunidades (inicial y final), en las cuatro cuestiones que interesan particularmente.

Tabla 2. Porcentajes de respuestas correctas en preguntas equivalentes del cuestionario inicial y del cuestionario final

GRUPO	Cuestionario	2a-10a	2b-10b	3a-11a	3b-11b
IFDC N = 22	Inicial	45	32	41	32
	Final	95	77	95	64
UNC N = 49	Inicial	94	43	92	39
	Final	100	76	100	66

En los resultados de las cuestiones 2a y 3a se observó que los estudiantes universitarios inicialmente poseían, en su mayoría, una definición de densidad y el conocimiento de la ecuación $d = m/v$. En cambio, sólo el 40 % de los alumnos terciarios pudieron dar al inicio una definición y aplicar la fórmula; luego del trabajo con el MCP esta situación se superó (cuestiones 10a y 11a) y ambos grupos se nivelaron.

En las cuestiones 2b y 3b, tanto alumnos terciarios como universitarios, mostraron dificultades (60-70%) en reconocer a la densidad como una propiedad intensiva y, especialmente, en aplicar este concepto en un problema

donde figuraban números en el enunciado. Luego del desarrollo de la guía de trabajo con el MCP, esta situación se revirtió considerablemente.

Para analizar si los cambios producidos por la utilización del MCP fueron estadísticamente significativos se empleó la prueba t de Student de comparación de medias para muestras relacionadas. Para ello se otorgó un puntaje de 2,5 a cada una de las cuatro cuestiones analizadas (puntaje máximo 10) en los dos cuestionarios (inicial y final). En la Tabla 3 se muestran los resultados provenientes de dicho análisis, donde se indican los grados de libertad y la probabilidad asociada.

Tabla 3. Comparación estadística de medias

GRUPO	media inicial	media final	t	g.l.	p
IFDC	3,8	8,2	4,7	21	<0,00
UNC	6,7	8,3	4,6	48	<0,0

Si bien las mejoras son más notables en los alumnos terciarios, por partir de una situación inicial más desfavorable, en ambos grupos de estudiantes se determinó una evolución positiva, estadísticamente significativa, atribuible al trabajo

realizado con el modelo de cuadros y puntos.

Del análisis en conjunto de la primera pregunta del cuestionario de autoevaluación se observa que el 95% de los estudiantes manifestó que el MCP les resultó fácil de comprender:

“Porque es muy gráfico y explícito”, “Porque podés ver lo que se explica”, “Porque es sencillo y práctico y ayuda a entender mejor el tema”. En cambio, en las preguntas b y c sobre la aplicación del modelo en los problemas 10 y 11, se aprecia una mayor diversidad de respuestas: un 15% afirma que el MCP no le sirvió porque ya sabía el tema: “Porque ya sabía que la densidad no cambia, que es una propiedad intensiva”. Un 25% sostuvo que le sirvió para comprenderlo más: “No, porque apliqué la fórmula, pero sí para comprenderlo”, “No, pero sí para justificar la respuesta”, “Ya que los modelos te ayudan a entender relaciones”. Estos dos grupos de alumnos resolvieron bien los ítems 10b y 11b. La respuesta esperada para alumnos universitarios y terciarios sería del tipo: “Ya lo comprendía pero igual el modelo sirve para visualizarlo un poco mejor”, “Ya que muestra que el volumen guarda una proporcionalidad directa con la masa y por lo tanto la densidad es siempre la misma”.

En la autoevaluación, un 37% afirmó que el MCP no les sirvió porque fue más fácil aplicar la fórmula (la mayoría de ellos -90%- respondió incorrectamente los ítems 10b y 11b): “No porque me basé en la fórmula y no en la representación”, “No, porque sabiendo la masa y el volumen se puede calcular”, “No, porque es más fácil haciendo la cuenta”.

Discusión resultados Etapa 2

A pesar de los resultados positivos obtenidos de la aplicación del MCP, un tercio de los alumnos no resolvió bien la última cuestión (11b), no mantuvo constante la densidad porque, en su mayoría, aplicó en forma mecánica la fórmula con los números disponibles en el enunciado del problema.

Respuestas, de estudiantes que contestaron mal las cuestiones 10 b y 11b, como: “No porque con la fórmula m/v no necesité representarlo”, “No, porque no me vino a la mente el modelo, principalmente lo deduje con la fórmula de densidad”, muestran que estos alumnos no construyeron una imagen mental adecuada del fenómeno que les permitiera emitir una respuesta correcta sobre una base conceptual.

Varios estudiantes hicieron explícita la dificultad que tuvieron para relacionar el MCP con

la situación real: “Sí, pero no estoy segura si entiendo cómo se relaciona el modelo con el fenómeno”. Incluso varios intentaron aplicarlo de una forma textual al problema con gramos y mililitros: “Esquemáticamente serviría, pero sería muy poco práctico debido a que habría que trabajar con decenas de unidades de volumen debido a que la unidad de masa y la de volumen no permiten fracciones”, “No, porque la $u.m/u.v$ no da un número natural”. Estas contestaciones ponen de manifiesto confusiones sobre la naturaleza y función de los modelos.

Varias razones pueden explicar los hechos anteriores, una es el tipo de enseñanza que se imparte con frecuencia, que prioriza la resolución mecánica o algorítmica de los problemas sin la reflexión o aprovechamiento conceptual del mismo. Otra razón es la falta de trabajo con modelos analógicos en el aula, o la falta de conciencia de que están trabajando con ellos. Existe un desconocimiento del tipo de utilidad que se puede extraer de este tipo de recurso didáctico. Ante un modelo analógico los alumnos suelen realizar una lectura textual, no conceptual, del mismo; es decir, prestan atención a lo presentado no a lo representado. Muchos se quedan con la figura y no reflexionan sobre el objetivo del modelo: todo modelo se realiza con una finalidad.

El MCP es útil para superar las dificultades encontradas porque constituye una forma gráfica de trabajar la proporcionalidad; donde $m = dV$, las masas son directamente proporcionales a los volúmenes, tanto en la realidad como en el modelo, y la densidad constituye la constante de proporcionalidad: $m_1/v_1 = m_2/v_2 = cte$. Sin embargo, muchos estudiantes tienden a considerar a las variables masa y volumen de una sustancia como independientes una de otra. En este sentido, mayores dificultades podrán esperarse en la comprensión de relaciones que no son lineales como la energía cinética ($E_c = m v^2$) y relaciones en que participan más de dos variables (por ejemplo: $E_{potencial} = m g h$).

Conclusiones

Los alumnos de secundaria, de terciaria y de universidad mantienen dificultades en temas

iniciales del currículo de ciencias, como la masa, el volumen y la densidad. La principal causa de estas dificultades parece hallarse en las características de la enseñanza recibida y en el tipo de cuestiones solicitadas en las evaluaciones. La enseñanza frecuente se basa en la presentación verbal, deductiva y matemática del tema y en la resolución de ejercicios numéricos, más que en la resolución de verdaderos problemas; se lleva a cabo poca experimentación y, en general, pocas actividades que favorezcan la reflexión y construcción conceptual.

En los alumnos indagados se observó la tendencia a recurrir de una forma acrítica y mecánica a algoritmos, como el uso de la fórmula $d = m/v$, en lugar de recurrir a una reflexión conceptual. Esto los lleva a proceder como si se pudiera modificar la masa o el volumen de una sustancia independientemente uno del otro (presuponiendo temperatura y presión constantes).

La utilización de MCP resultó eficaz en favorecer la comprensión del concepto de densidad y su diferenciación con los conceptos masa y volumen. Este modelo analógico pedagógico contribuyó a “visualizar” el concepto de densidad, a construir imágenes que puedan ponerse

en juego en modelos mentales adecuados, que le permitan a los sujetos describir, explicar y predecir correctamente distintas situaciones.

Aunque un tercio de los estudiantes, que resolvió correctamente las actividades iniciales con el MCP, no pudo realizar una transferencia de correspondencias del análogo al objetivo, porque no pudieron superar la tendencia a utilizar mecánicamente la fórmula. La presencia de números en el enunciado del problema no promovió la reflexión conceptual del mismo.

De las dificultades encontradas surge como sugerencia para la enseñanza no dar como obvio que los alumnos tienen una comprensión acabada de estos conceptos básicos y recurrir a una diversidad de estrategias complementarias de enseñanza.

Las dificultades en establecer relaciones entre el modelo y el fenómeno, o los intentos de aplicación textual del MCP a la situación real, ponen de manifiesto la carencia de experiencias de aula donde se presenten con un fin didáctico modelos similares y se discuta el objetivo o utilidad del modelo conjuntamente con las correspondencias y no correspondencias del modelo con la realidad.

Referencias

- Bullejos, J. y Sampedro, C. (1990). Diferenciación de los conceptos de masa, volumen y densidad en alumnos de BUP, mediante estrategias de cambio conceptual y metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), pp.31-36.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science*. Routledge: London.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), pp. 649-672.
- Gabel, D. L. y Bunce D. M. (1994). Research on problem solving: chemistry. En Gabel D.L. (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp.301-326. Macmillan: New York.
- Harrison, A. y Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp.1011-1026.
- Hewson, M. G. (1986). The acquisition of scientific knowledge: analysis and representation of student conceptions concerning density. *Science Education*, 70(2), pp.159-170.
- Hewson, M. G. y Hewson, P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8), pp.731-734.
- Llorens, J. A., De Jaime, M. C. y Llopis, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp.111-119.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata: Madrid.
- Raviolo, A., Schnersch, A. y Moscato, M. (2003). Uso de un modelo analógico sobre densidad: evaluación de un material didáctico. *Memorias Duodécima Reunión Nacional de Educación en Física (REF XIII)*, Río Cuarto.
- Raviolo, A., Siracusa, P., Gennari, F. y Corso, H. (2004). Utilización de un modelo analógico para facilitar la comprensión del proceso de preparación de disoluciones. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), pp.379-388.
- Smith, C., Snir, J. y Grosslight, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9(3), pp.221-283.

ANEXO: Material de enseñanza




A. Actividades de presentación del modelo de cuadros y puntos (MCP)

1) Presentación del MCP:

cuadro:  unidad de volumen (u.v)

punto:  unidad de masa (u.m)


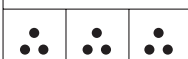
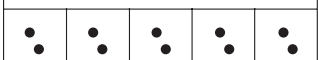

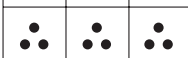

ejemplo:

	= 9 u.v = 36 u.m
	:> densidad: la masa de una unidad de volumen
	:> densidad: n° de puntos por cuadrado : 4 u.m/ u.v

B. Actividades de consolidación y aplicación del modelo

2) Representar 10 u.v de una sustancia cuya densidad es 6 u.m/u.v. ¿Cuál es su masa?



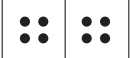



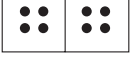





3) Dadas las siguientes tres sustancias líquidas:

(a) (b) (c)

- i ¿En cuál recipiente hay mayor volumen?
- ii ¿En cuál recipiente hay mayor masa?
- iii ¿En cuál recipiente hay mayor densidad?

4) Abajo se muestran distintos cuerpos de la misma sustancia (y a la misma temperatura) ¿qué conclusión puedes sacar?

- 5) Clasifica a la masa, al volumen y a la densidad en propiedades extensivas e intensivas de la sustancia. Las *intensivas* son las propiedades que no cambian con la cantidad de sustancia que se considera y son características propias de la sustancia. Las *extensivas* cambian con la cantidad o extensión de la sustancia.
- 6) a. Realiza con el MCP una posible representación de dos cuerpos de igual forma y tamaño, uno de acero y otro de plastilina.
b. ¿Cuál tiene mayor masa?
- 7) Realiza con el MCP una posible representación de dos cuerpos de igual masa, uno de acero y otro de plastilina.
- 8) Representa con el MCP dos cuerpos distintos de la misma sustancia.
- 9) a. ¿Cuál es la densidad de una sustancia si 12 u. m ocupan 4 u. v? Representar.
b. Representar 6 u. v de esa sustancia;
c. ¿Cuál es la densidad de 6 u. v de esa sustancia?
- 10) a. ¿Cuál es la densidad del mercurio si 10 cm³ tienen una masa de 136 g?
b. ¿La densidad del mercurio cambia con la cantidad considerada? Explicar.
- 11) a. Un volumen de 10 cm³ de oro tiene una masa de 193 g ¿el oro es más denso que el mercurio?
b. ¿Cuál será la densidad del oro si se tienen 20 cm³ (a la misma temperatura)?

C. Cuestionario de autoevaluación

- a) ¿El modelo de cuadros y puntos (MCP) te resultó difícil de comprender? ¿por qué?
- b) ¿El MCP te sirvió para comprender y resolver el problema 10? ¿por qué?
- c) ¿El MCP te sirvió para comprender y resolver el problema 11? ¿por qué?