

ANÁLISIS CUANTITATIVO EN EL DIAGNÓSTICO DE LAS CONCEPCIONES SOBRE CALOR Y TEMPERATURA

A. Cervantes
J. L. Moreno
J. M. Garrido
J. Lardón

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidad de Granada*

INTRODUCCIÓN

En diferentes trabajos de revisión bibliográfica sobre las concepciones de los alumnos acerca del calor y de la temperatura (Tiberghien, 1983; Sánchez, 1987 (a) y (b), y Cervantes, 1987), se han analizado detenidamente las concepciones más usuales detectadas por los diferentes investigadores en muestras tan diversas que podrían representar, globalmente, a la población de alumnos que reciben enseñanzas de Educación Primaria y Secundaria tanto a nivel nacional como internacional.

Los tratamientos cualitativos de las respuestas dadas por los niños a diferentes pruebas, ya sean escritas u orales, ponen de manifiesto que tales concepciones no están de acuerdo, en términos generales, con las aceptadas por la ciencia. También se constata que la gran mayoría de las concepciones suelen perdurar a lo largo del tiempo, característica implícita a la naturaleza de las mismas, pues hay una reticencia clara

del alumno a llevar a cabo cambios conceptuales que le sean realmente plausibles para su desenvolvimiento (Hewson, 1981 y Strike y Posner, 1982), y, al menos, tales cambios no suelen ser espontáneos.

Por el contrario, los análisis cuantitativos han tratado de estudiar los porcentajes dados por los alumnos a las preguntas de las pruebas escritas diseñadas para, mediante los mismos, establecer correlaciones entre diferentes variables, contrastar hipótesis estadísticas según las diferencias de medias entre muestras, analizar las diferentes variables educativas que intervienen, etc. Hemos de decir que tales tratamientos cuantitativos, en términos generales, han entrado a formar parte en menor número que los estudios cualitativos según la bibliografía revisada.

Creemos, pues, que es necesario disponer de una mayor base de datos en el estudio del diagnóstico conceptual que nos permita sacar conclusiones más generales y, de esta forma, elaborar las correspondientes estrategias de

enseñanza para desarrollar los cambios conceptuales que se diagnostiquen.

MUESTRA Y PRETEST

El estudio para detectar las concepciones de los alumnos se llevó a cabo mediante el análisis de las respuestas dadas a una prueba escrita, que después debería ser tratada tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. El pretest recogía contenidos relacionados con la propiedad intensiva de la temperatura, conducción del calor, cambio de estado y distinción entre calor y temperatura. Como se puede ver en el Anexo I, la prueba abarcaba 14 preguntas en la que las dos últimas han sido subdivididas cada una en otras dos para su posterior tratamiento estadístico.

La prueba escrita se pasó a un grupo de 96 alumnos, con igual procedencia social y de edades comprendidas entre los 8 y 14 años, procurando que en cada grupo de edad (8, 10, 12 y 14 años) se encontrasen igual número de niños que de niñas.

El tratamiento cualitativo de las respuestas dadas a la prueba ha sido publicado con anterioridad (Cervantes y Fernández, 1987). En el presente estudio nos remitiremos al tratamiento cuantitativo de los resultados

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En la Tabla I aparecen los porcentajes de respuestas correctas dadas por los

alumnos a cada pregunta de la prueba escrita. En la figura 1 se muestran en los distintos gráficos tales porcentajes. Podemos observar un comportamiento muy similar en las respuestas dadas a cada pregunta de la prueba para cada grupo de edad, lo que nos indica, en cierta forma, que las preguntas aquí planteadas presentan semejante dificultad para cada grupo; teniendo en cuenta a su vez que los porcentajes de respuestas correctas aumentan con la edad, lo que era lógico esperar. Esto no nos parece una casualidad puesto que, en el caso que nos ocupa, los métodos de enseñanza desarrollados puede que no hayan sido los apropiados. En términos generales no se tienen en cuenta las dificultades que a los niños les plantean estos conceptos.

Es curioso destacar que un estudio comparativo entre las concepciones detectadas en alumnos de diferentes países y continentes sobre estos mismos fenómenos (Sánchez Real, 1988) pone de manifiesto la similitud entre las mismas, así como también el orden de porcentajes correspondientes a indagaciones con análogo contenido.

En la Figura 2 mostramos los resultados correspondientes a la propiedad intensiva de la temperatura desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Para ello se han promediado los tantos por ciento de respuestas correctas correspondientes al punto de vista cualitativo (las cuestiones 1, 2, 3 y 4) y al cuantitativo (las cuestiones 5, 6, 7 y 8). Como cabría esperar según los resultados obtenidos en trabajos anteriores (Brook et al, 1984 y Driver y Russell 1982), los porcentajes de

respuestas, para el punto de vista cualitativo son mayores que para el cuantitativo.

Podemos también observar en la Figura 2 que las distancias entre ambos porcentajes para cada grupo de edad se van haciendo menores conforme aumenta la edad, lo que nos indica que la intensividad de la temperatura va conceptualizándose de una forma más completa, desapareciendo las típicas contradicciones que se dan para los niños más pequeños cuando éstos responden correctamente desde el punto de vista cualitativo, pero no desde el punto de vista cuantitativo.

Hemos ampliado el estudio de la propiedad intensiva de la temperatura, desde el punto de vista cualitativo versus cuantitativo, analizando la posible correlación lineal existente entre las respuestas dadas por los alumnos a las preguntas agrupadas por las siguientes parejas: 1/5, 2/6, 3/7 y 4/8. Correspondiendo cada pareja a un mismo planteamiento, la primera cuestión bajo un punto de vista cualitativo y la segunda bajo un punto de vista cuantitativo. Como cada alumno viene calificado en cada pregunta mediante un "1" para representar la respuesta dada cuando ésta es correcta y un "0" cuando ésta es incorrecta, se ha tenido que aplicar la prueba del coeficiente de correlación F para variables dicotómicas, una variable del coeficiente de correlación de Pearson (Glass y Stanley, 1970).

En la Tabla 2 mostramos el estudio de la correlación entre las variables dicotómicas correspondientes a cada pareja de preguntas y para cada grupo de edad.

Una correlación directa ($\Phi > 0$ y $|\Phi| \geq f$ teórico) entre una pareja de preguntas, al nivel de confianza del 95% y para N-2 grados de libertad, se interpreta como que los alumnos cuando responden correctamente la pregunta "cualitativa" (1, 2, 3 ó 4) responden correctamente también, en términos generales, la correspondiente "cuantitativa" (5, 6, 7 ó 8) y al contrario; es decir, cuando no se responde correctamente la "cualitativa" tampoco se hace correctamente la "cuantitativa". Cuando se da una correlación inversa ($\Phi < 0$ y $|\Phi| \geq \Phi$ teórico) entonces corresponden a respuestas correctas "cualitativas" (o "cuantitativas") respuestas incorrectas en las correspondientes "cuantitativas" (o "cualitativas"). Como podemos ver en la Tabla 2 los grupos de edad que presentan menos correlaciones son los de 10 y 14 años, siendo los grupos de 8 y 12 años los que presentan más correlaciones entre preguntas. Las correlaciones que se dan en el grupo de niños con edad de 8 años corresponden a respuestas dadas incorrectamente tanto a la pregunta "cualitativa" como a la "cuantitativa". Por el contrario, en el grupo de 12 años, y para las dos correlaciones directas que se dan, corresponden un mayor número de casos a las respuestas correctas tanto "cualitativas" como "cuantitativas". En el caso de la correlación inversa corresponde el mayor número de casos a respuestas correctas "cualitativas" e incorrectas "cuantitativas".

También se ha ampliado el análisis de la correlación lineal en la conceptualización de la propiedad intensiva de la temperatura, desde el punto de vista cualitativo frente al

cuantitativo, teniendo en cuenta el número de respuestas correctas dadas por los alumnos a las preguntas cualitativas (1, 2, 3 y 4) y a las cuantitativas (5, 6, 7 y 8). En este caso cada alumno viene calificado con un número comprendido entre 0 y 4 para cada punto de vista cualitativo y cuantitativo. Ahora las dos variables ya no son dicotómicas y se ha podido entonces aplicar la prueba del coeficiente de correlación de Pearson. En la Tabla 3 aparecen los mencionados valores del coeficiente de correlación calculados para cada grupo de edad, así como la existencia o no de correlación entre la propiedad intensiva cualitativa/cuantitativa de la temperatura para $\sqrt{N-2}$ grados de libertad y nivel de significación $\alpha=0.05$.

Podemos observar que sí existe correlación significativa en la comprensión de la propiedad intensiva de la temperatura, entre el punto de vista cualitativo y cuantitativo, para los alumnos de 12 y 14 años, lo que significa que a estas edades cuando un alumno conceptualiza la temperatura como una propiedad intensiva bajo un punto de vista cualitativo también es conceptualizada, en términos generales, bajo un punto de vista cuantitativo.

Finalmente, el tratamiento cuantitativo de los resultados de la prueba escrita lo hemos completado con un Análisis Factorial Booleano. Este Análisis Factorial Booleano difiere del Análisis Factorial clásico, puesto que aquí se hace un tratamiento aritmético booleano mediante el producto de dos matrices con puntuaciones binarias.

Se ha utilizado el programa de Análisis

Factorial Booleano P8M del paquete de programas BMDP Statistical Software (Mickey et al., 1983), con el fin de poder determinar las variables, en nuestro caso las preguntas de la prueba escrita, que presentaban comportamientos similares cuando fueron contestadas por los alumnos y, a su vez también, los alumnos que presentaron comportamientos similares en las respuestas dadas a la prueba.

En la Tabla 4 presentamos los resultados obtenidos en el Análisis Factorial Booleano llevado a cabo mediante las preguntas agrupadas por comportamientos similares según el número de factores utilizados.

Se puede observar cómo conforme aumenta la edad son menos los agrupamientos de variables por comportamiento similar, aumentando por el contrario el número de variables dentro de cada grupo. Podemos destacar cómo las preguntas 1 y 2 de la pruebas (relativas a los aspectos cualitativos de la propiedad intensiva de la temperatura) coinciden en un comportamiento similar para todos los grupos de edad; esto quiere decir que sería posible descartar una de ellas en la prueba escrita, puesto que los alumnos dan respuestas similares en una y en otra. Cabe destacar, como puede verse en la Tabla 4, el gran número de preguntas de la prueba que presentan un comportamiento similar para los alumnos de 14 años. Precisamente, la mayor parte de ellas, corresponden a la propiedad intensiva de la temperatura, lo que indica que a esta edad la comprensión de la temperatura desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo se encuentra prácticamente

al mismo nivel y las diferencias, al menos, son menos acusadas que para anteriores edades, Figura 2. Podemos también observar que las preguntas 7, 10 y 12 nunca aparecen agrupadas por comportamientos similares, correspondiendo éstas, a su vez, a los menores porcentajes de aciertos para todos los grupos de edad.

Otro resultado que se obtiene del Análisis Factorial Booleano emprendido que puede tener importantes aplicaciones educativas, es la posibilidad de agrupamientos de alumnos por comportamientos similares en los resultados obtenidos en la prueba. Estos agrupamientos pueden ser útiles, entre otras cosas, para emprender la enseñanza de determinados tópicos en base a los conocimientos previos que poseen los alumnos cuyo comportamiento similar ha sido detectado.

En la Tabla 5 ponemos, a modo de ejemplo, el listado de los resultados del programa aquí aplicado para el grupo de los 24 alumnos de 10 años. Según los factores que aparecen, podemos agrupar los alumnos por comportamientos similares en cuatro tipos:

- A) 1, 10, 16 y 17.
- B) 3, 13, 14, 15 y 18.
- C) 4, 5, 11 y 12.
- D) 6, 8, 9 y 22.

El resto de los alumnos que no presentan comportamientos comunes en los resultados de la prueba podrían recibir, por ejemplo, una instrucción más individualizada en función de sus particulares conocimientos previos.

De los estudios realizados sobre las

concepciones que los alumnos poseen sobre el calor y la temperatura, se pueden derivar importantes implicaciones educativas (Cervantes y Fernández, 1987). Tales resultados ayudan a una mejor planificación de la enseñanza y al diseño de las estrategias que provoquen los cambios conceptuales previstos.

REFERENCIAS

- Brook, A.; Briggs, H. 1984. Bell, B. and Driver, R. Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat, Children's Learning in Science Project. The University of Leeds.
- Cervantes, A. 1987. Los Conceptos de Calor y Temperatura: Una Revisión Bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, **5**, 66-70.
- Cervantes, A. 1987. Fernández, J. M. Los Conceptos de Calor y Temperatura en los niños de 8 hasta 14 años. *Cuadernos de Física y Química*, **IX**, 173-189.
- Driver, R. and Russel, T. 1982. An Investigation of the Ideas of Heat, Temperature and Change of State of Children Aged between 8 and 14 Years. University of Leeds and Chelsea College, London.
- Glas, G. V. and Stanley, J. C. 1970. Statistical Methods in Education and Psychology, Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc.
- Hewson, P. W. 1981. A Conceptual Change Approach to Learning Science, *European Journal of Science Education*, **3**, 383-396.
- Sánchez Real, J. 1987. (a). Calor y

Temperatura. Bibliografía comentada I. *Cuadernos de Física y Química*, VIII, 99-128.

Sánchez Real, J. 1987. (b). Calor y Temperatura. Bibliografía comentada II. *Cuadernos de Física y Química*, IX, 220-237.

Sánchez Real, J. 1988. Revisión de una Prueba sobre Calor y Temperatura. *IX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Tarragona.

Strike, K. A. and Posner, G. J. 1982. Conceptual Change and Science Teaching, *European Journal of Science Education*, 4, 231-240.

Tiberghien, A. 1983. Critical Review on Research Aimed at Elucidating the Sense that Notions of Temperature and Heat have for the Students Aged 10 to 16 Years. *Proceedings of the First International Workshop*, 75-90, La Londa, Les Maures .

ANEXO I

PRUEBA ESCRITA

1.ª)

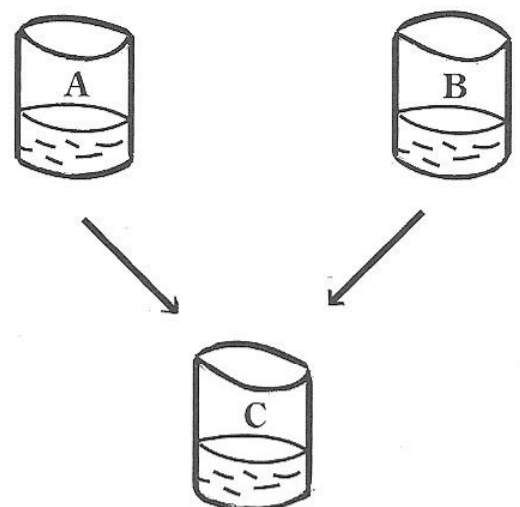
Propiedad intensiva de la temperatura (cualitativa):

1.ª) Tenemos dos vasos A y B con la misma cantidad de agua fría en cada uno. Echamos el agua del vaso A y del vaso B en el vaso C. ¿Cómo estará el agua en el vaso C?:

- O más fría O igual de fría
O templada O caliente

Explica tu respuesta:

.....
.....
.....



2.^a) Tenemos dos vasos A y B con la misma cantidad de agua caliente en cada vaso. Echamos el agua del vaso A y del vaso B en el vaso C. ¿Cómo estará el agua contenida en el vaso C?:

- O fría
- O igual de caliente
- O templada
- O más caliente

Explica tu respuesta

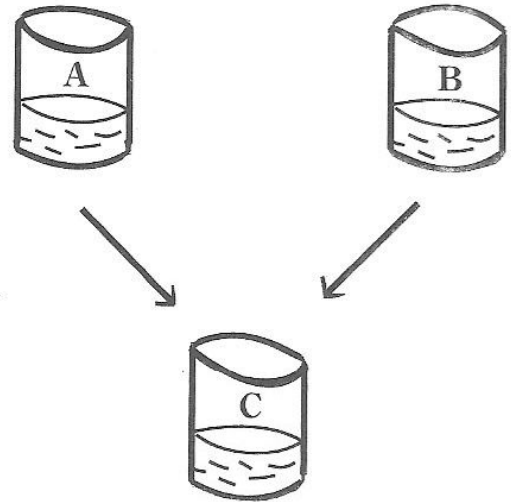
.....

.....

.....

.....

.....



3.^a) Tenemos en el vaso A agua caliente y en el vaso B la misma cantidad de agua, pero fría. Echamos el agua del vaso A y del vaso B en el vaso C. ¿Cómo estara el agua en el vaso C?:

- O muy fría
- O caliente
- O fría
- O templada

Explica tu respuesta:

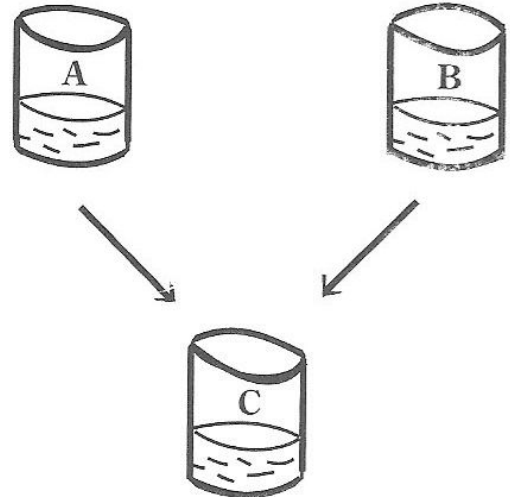
.....

.....

.....

.....

.....



4.^a) De un mismo congelador sacamos dos bloques de hielo A y B. El bloque B es dos veces más grande que el A. ¿Cómo será la temperatura de los dos bloques?:

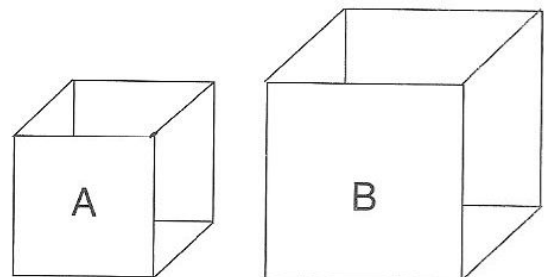
- O igual
- O diferente

¿Por qué?.....

.....

.....

.....



.....
• Propiedad intensiva de la temperatura (cuantitativa):

5.^a) Tenemos la misma cantidad de agua en los vasos A y B. La temperatura del agua en los dos vasos es de 10°C . Si echamos el agua del vaso A y la del vaso B en el vaso C. ¿A qué temperatura se encontrará el agua en el vaso C?:

Explica tu respuesta:

.....
.....
.....
.....

6.^a) Tenemos la misma cantidad de agua en los vasos A y B. La temperatura del agua en los dos vasos es de 60°C . Si echamos el agua del vaso A y la del vaso B en el vaso C. ¿A qué temperatura se encontrará el agua en el vaso C. ¿A qué temperatura se encontrará el agua en el vaso C?:

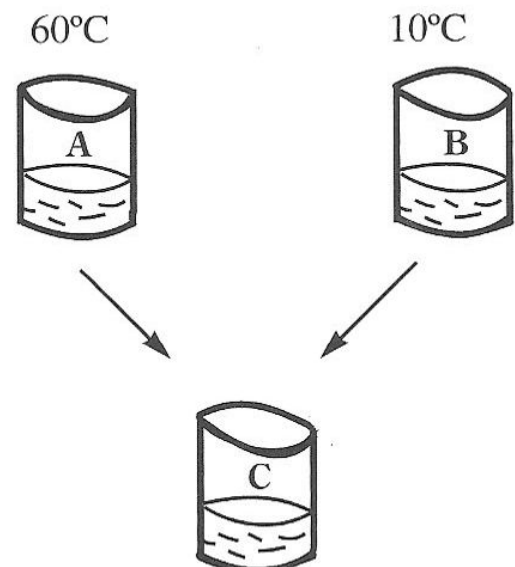
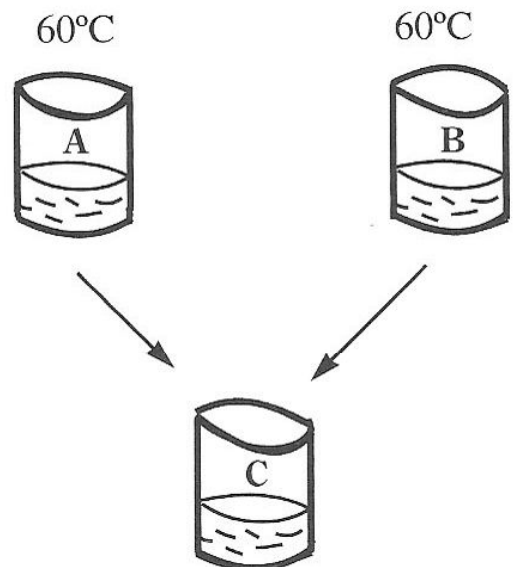
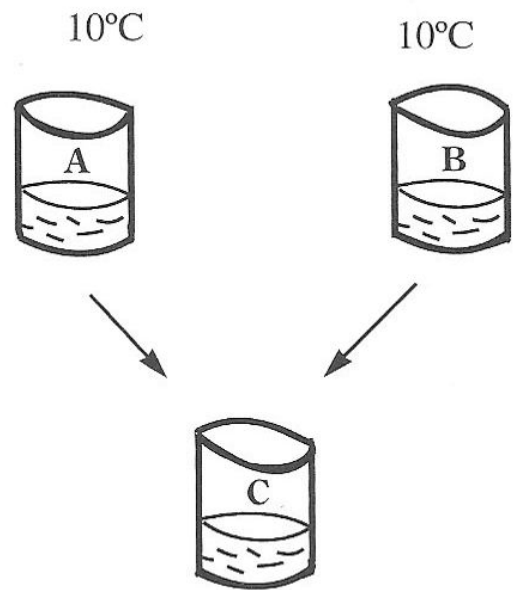
Explica tu respuesta:

.....
.....
.....
.....

7.^o) Tenemos la misma cantidad de agua en los vasos A y B. El agua del vaso A está a 60°C y la del vaso B a 10°C . Echamos los contenidos de los dos vasos en el vaso C. ¿A qué temperatura se encontrará el agua en el vaso C?:

Explica tu respuesta:

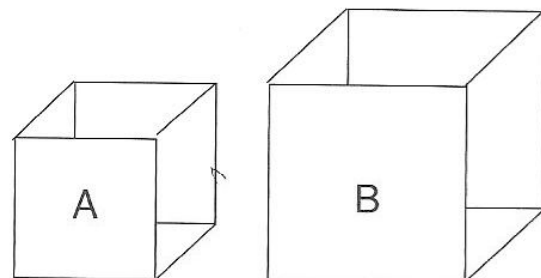
.....
.....
.....
.....



.....
 8.ª) De una barra de hielo que se encuentra a seis grados centígrados bajo cero, cogemos dos bloques de hielo A y B. El bloque B es de dos veces más grande que el A. ¿A qué temperatura se encontrarán ambos bloques?:

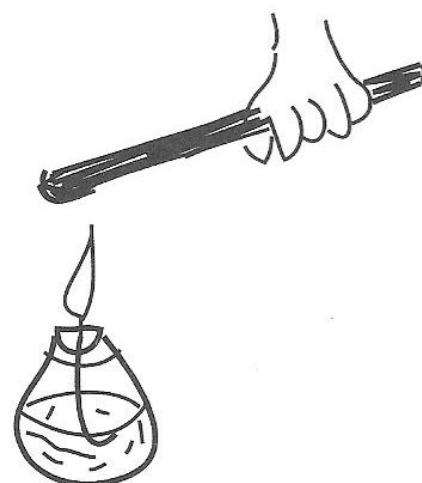
.....

 Explica tu respuesta:



• Conducción del calor:

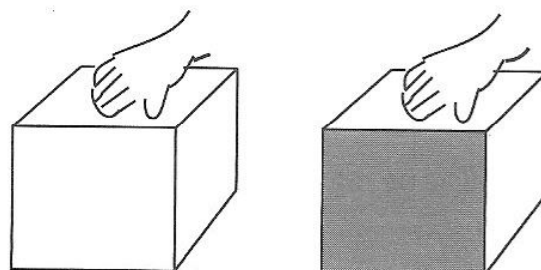
9.ª) Cogemos una barra pequeña de hierro con la mano por un extremo y por el otro extremo la acercamos a la llama de un mechero. ¿Qué sentiremos después de un rato en la mano?:



.....

 ¿Cómo explicas lo ocurrido?

10.ª) Tocamos con una mano un cubo de madera y con la otra mano uno de acero, que se encuentran sobre la mesa. ¿Qué sentiremos en ambas manos?:



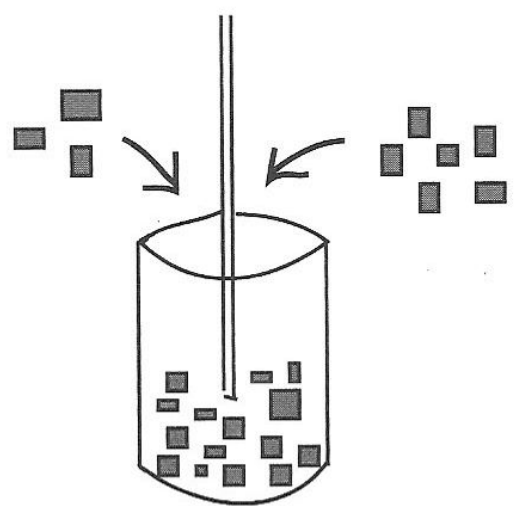
.....

 ¿Cómo explicas lo que ocurre?:

.....

• Cambio de estado:

11.^a) Tenemos en un vaso hielo que se está fundiendo. El termómetro marca 0°C. ¿Cuánto marcará cuando le echemos tres cubitos más de hielo?:

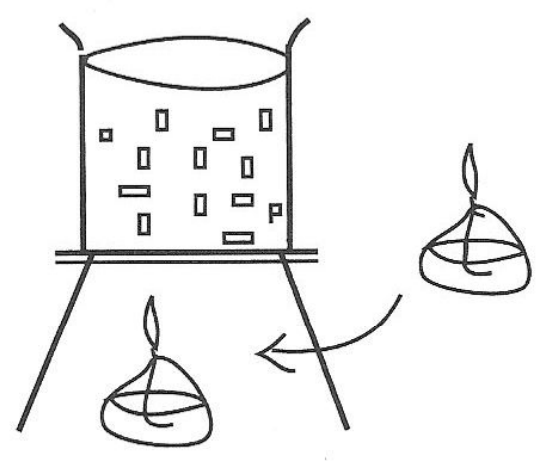


.....
¿Y cuándo le echemos otros seis más?:

Explica tu respuesta:

.....
.....
.....

12.^a) Tenemos agua hirviendo en un vaso. El termómetro marca 100°C. Si colocamos durante un minuto otro mechero? ¿Qué marcará el termómetro ahora?:

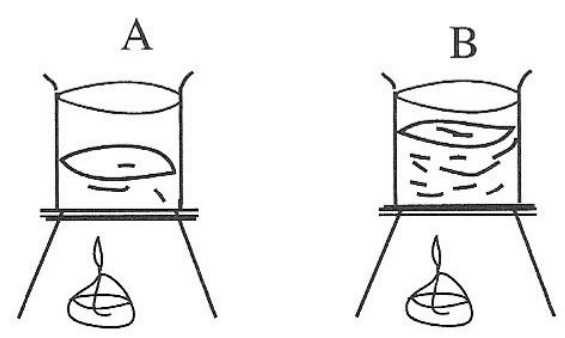


.....
Explica tu respuesta:

.....
.....
.....
.....

• Distinción entre calor y temperatura:

13.^a) A) Tenemos dos trozos de hielo A y B, de distinto tamaño, con la misma temperatura. Los calentamos con dos mecheros iguales. ¿Cuál de los dos necesitará más calor para fundirse por completo?:



.....
Explica tu razonamiento:

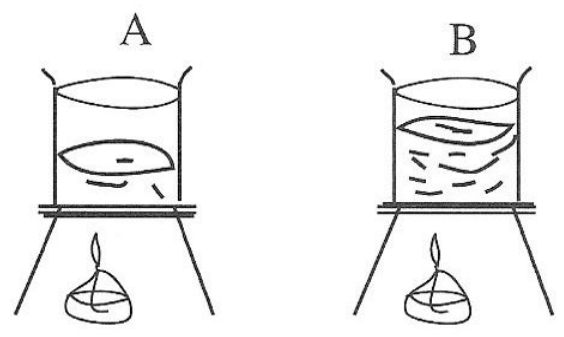
.....
.....
.....

.....
B) ¿Cómo será la temperatura de los bloques mientras se están fundiendo?
O igual O distinta

.....
¿Por qué?:.....
.....
.....
.....

14.ª) A) Los dos recipientes de la figura se calientan con dos mecheros iguales hasta que el agua hierve en ambos. Si en el vaso B hay más agua que en el vaso A, ¿cuál de los dos vasos necesitará más calor para que hierva toda el agua?:

.....
¿Por qué?:.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



B) ¿Cómo será la temperatura del agua en ambos vasos mientras está hirviendo?

.....
O igual O distinta
.....
¿Por qué?:.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

TABLA 1

Edad (años)	8	10	12	14
Preguntas (% correctas)				
1	20	67	58	87
2	20	63	58	83
3	76	100	100	91
4	28	75	71	83
5	12	42	50	83
6	12	42	54	83
7	0	0	13	9
8	12	50	71	91
9	52	58	83	96
10	0	0	4	9
11	8	13	33	48
12	0	8	13	35
13	A	40	67	83
	B	0	17	38
14	A	40	75	96
	B	4	8	33

Tabla 1.—Porcentajes de respuestas correctas dadas por los niños de cada grupo de edad a las preguntas de la prueba escrita.

TABLA 2

Edad (años)		8	10	12	14
Pareja de preguntas					
1/5	$\Phi=$	0.431. Sí	0.060 No	0.676 Sí	0.163 No
2/6	$\Phi=$	0.431 Sí	0.306 No	0.749 Sí	0.092 No
3/7	$\Phi=$	0.115 No	-1.000 Sí	-0.4666 Sí	0.095 No
4/8	$\Phi=$	0.592 Sí	0.385 No	0.395 No	0.265 No
Φ teórico					
8 años		$\Phi_t (\alpha= 0.05, \sqrt{= 23}) = 0.396$			
10 años		$\Phi_t (\alpha= 0.05, \sqrt{= 22}) = 0.404$			
12 años		$\Phi_t (\alpha= 0.05, \sqrt{= 21}) = 0.404$			
14 años		$\Phi_t (\alpha= 0.05, \sqrt{= 21}) = 0.413$			

Tabla 2.—Estudio de la correlación entre parejas de preguntas para el punto de vista cualitativo/cuantitativo de la propiedad intensiva de la temperatura.

TABLA 3

Edad (años)	Propiedad Intensiva de la Temperatura Cualitativa / Cuantitativa	
8	r= 0.215 No	$r_t (\alpha= 0.05, \sqrt{=} 23) = 0.396$
10	r= 0.246 No	$r_t (\alpha= 0.05, \sqrt{=} 22) = 0.404$
12	r= 0.712 Sí	$r_t (\alpha= 0.712, \sqrt{=} 22) = 0.404$
14	r= 0.438 Sí	$r_t (\alpha= 0.05, \sqrt{=} 21) = 0.413$

Tabla 3.—Análisis de la correlación para todas las cuestiones que hacen referencia al punto de vista cualitativo frente a todas las del punto de vista cuantitativo de la propiedad intensiva de la temperatura.

TABLA 4

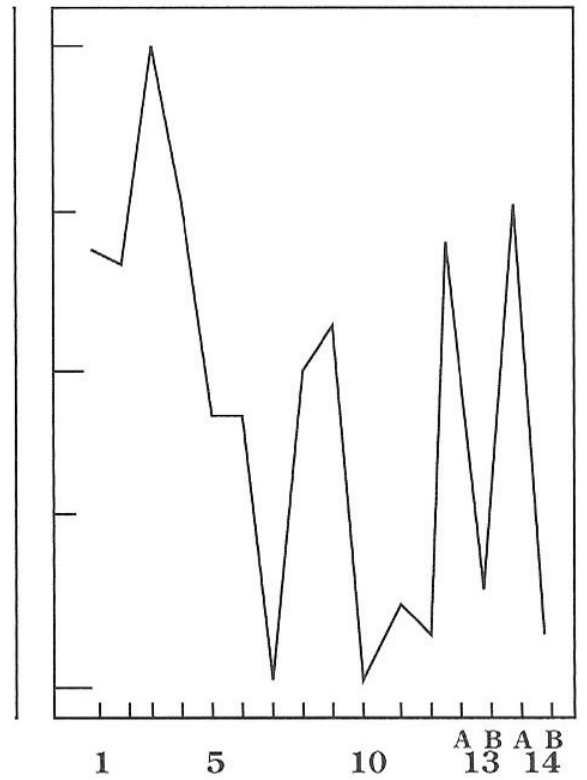
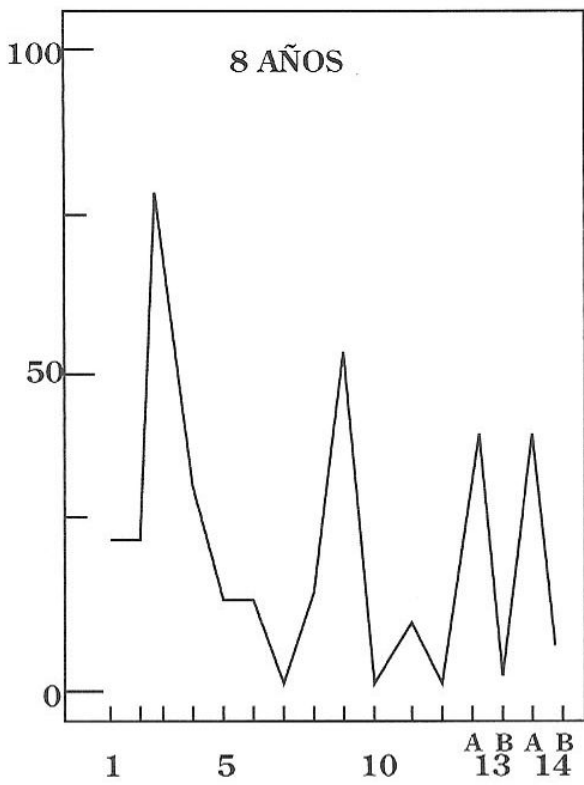
Edad (años)	N.º Factores	Preguntas con comportamiento similar
8	4	1, 2 4, 8 5, 6 9, 13A, 14A
10	4	1, 2 5, 6 11, 14B
12	5	1, 2, 4, 5, 6 3, 9
14	4	1, 2, 3, 4, 5, 6 8, 9, 14A 13B, 14B

Tabla 4.—Agrupaciones obtenidas a partir del Análisis Factorial Booleano, de las cuestiones que presentan comportamientos similares en las respuestas dadas por los alumnos.

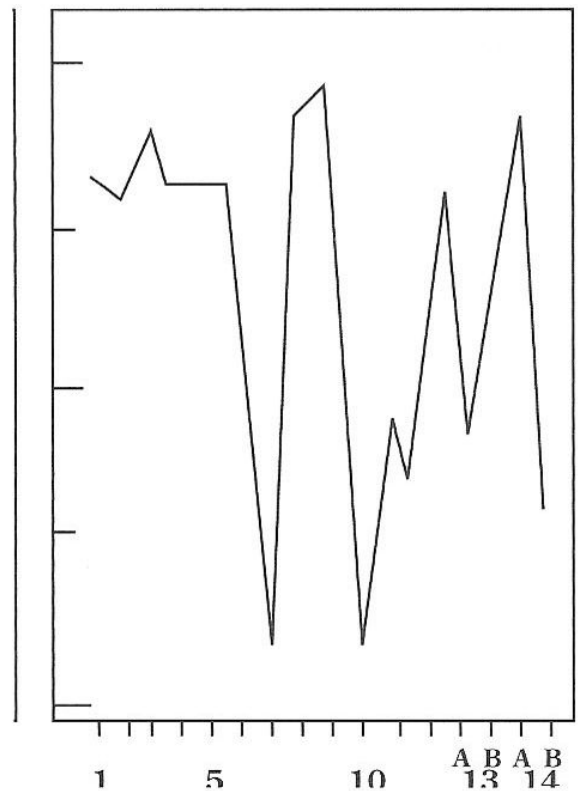
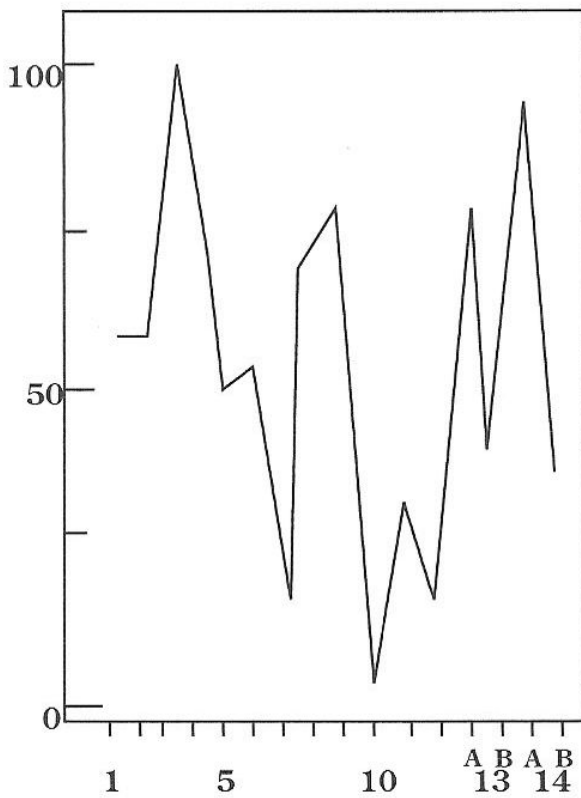
TABLA 5

Alumno n.º	N.º de respuestas		Porcentajes aciertos	Factores
	Incorrec.	Correc.		
1	11	5	31	1000 A
2	6	10	63	0011
3	7	9	56	0100 B
4	10	6	33	0010 C
5	13	3	19	0010 C
6	9	7	44	0110 D
7	5	11	69	1001
8	9	7	44	0110 D
9	9	7	44	0110 D
10	11	5	31	1000 A
11	11	5	31	0010 C
12	11	5	31	0010 C
13	11	5	31	0100 B
14	10	6	38	0100 B
15	10	6	38	0100 B
16	8	8	50	1000 A
17	11	5	31	1000 A
18	10	6	38	0100 B
19	5	11	69	1110
20	8	8	50	1100
21	14	2	13	0000
22	9	7	44	0110 D
23	4	12	75	1111
24	8	8	50	1010

Tabla 5.-Reproducción de los resultados obtenidos para los “factor scores” en la ejecución del problema de Análisis Factorial Booleano para los alumnos de 10 años.



P R E G U N T A S



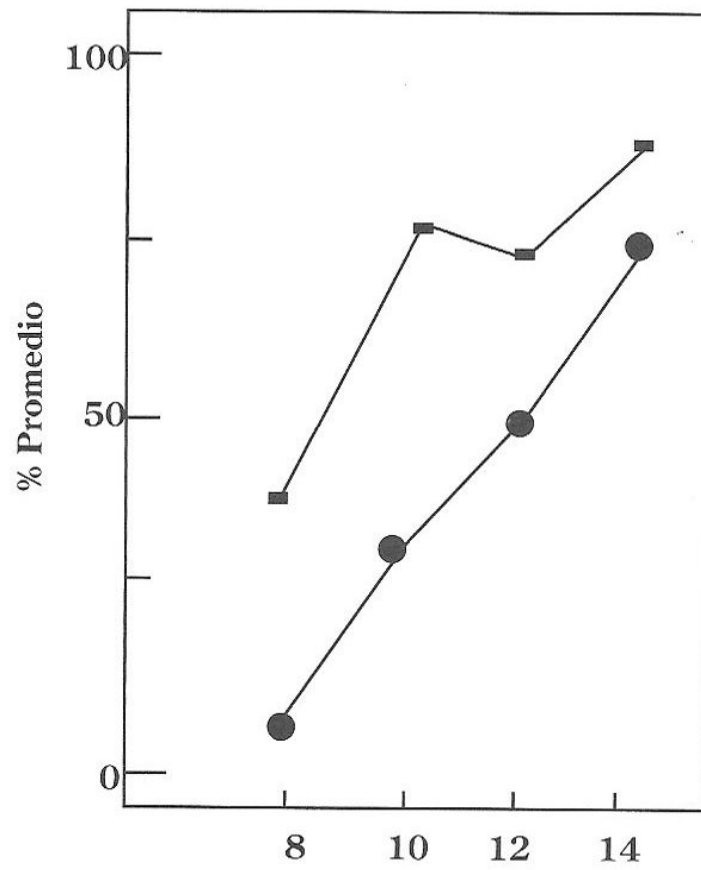


Figura 2.—Propiedad intensiva de la temperatura desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo