

PROPUESTA DE ENSEÑANZA PARA EL ESTUDIO DE LOS CAMBIOS PRODUCIDOS EN UN SISTEMA MATERIAL, DESDE LA TERMODINÁMICA Y EL MODELO CINÉTICO DE PARTÍCULAS

José Manuel Domínguez Castiñeiras*

Eugenio García-Rodeja Fernández*

Antonio de Pro Bueno**

María Laura Illobre González***

* Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais.
Universidade de Santiago de Compostela.

** Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Universidad de Murcia.

*** Colegio Público de Vite. Santiago de Compostela.

Resumo

Preséntase unha unidade didáctica para a aprendizaxe dos cambios producidos nun sistema material, no marco da Termodinámica e do Modelo cinético de partículas, como unha das aportacións da tese de doutoramento (Domínguez, 2000). Discútese a secuencia de actividades e os materiais de aprendizaxe.

Palabras clave: ensino secundario, secuencia de ensino, calor e temperatura.

Resumen

Se presenta una unidad didáctica para el aprendizaje de los cambios producidos en un sistema material, en el marco de la Termodinámica y del Modelo cinético de partículas, como una de las aportaciones de la tesis de doctorado (Domínguez, 2000). Se discute la secuencia de actividades y los materiales de aprendizaje.

Palabras clave: educación secundaria, secuencia de enseñanza, calor y temperatura.

Abstract

The teaching sequence is presented. Its objective is the learning of the changes in a material system, in frame work of Thermodynamic and the Model of particulate nature of matter, as a part of the doctoral dissertation of Domínguez (2000). The teaching sequence and the students' materials are discussed.

Key word: secondary education, teaching sequence, heat and temperature.

Introducción

En el artículo anterior, en este mismo número de la revista *Adaxe*, hemos expuesto los fundamentos utilizados en la planificación de nuestra propuesta didáctica para el *Estudio de los cambios producidos en un sistema material, desde la Termodinámica y el Modelo de partículas*.

Tras resaltar nuestras concepciones y planteamientos sobre algunos aspectos metodológicos de la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias, se puso un énfasis especial en el carácter funcional del conocimiento, entendido como la capacidad de transferirlo a otras situaciones. Para ello se estructuró dicho conocimiento en esquemas de razonamiento y en esquemas de acción que se utilizan para explicar los cambios de un sistema (agua) cuando recibe energía, por calor, desde una fuente (mechero). Un aspecto fundamental de nuestra selección del contenido fue apostar por el uso de un modelo cinético de partículas para elaborar el razonamiento justificativo del incremento de temperatura y su transferencia a la explicación de la dilatación y del cambio de estado.

Se destacó también el papel fundamental que tiene, en el proceso de enseñanza y aprendizaje, el sujeto que aprende; por ello se analizaron las características cognitivas de los estudiantes, en nuestro caso alumnas y alumnos de 12-14 años, dedicando especial atención a sus ideas antes de la intervención y a las exigencias cognitivas de los contenidos objeto de aprendizaje.

Finalmente se hicieron explícitos los objetivos de aprendizaje que se derivan de la integración de los análisis científico y didáctico. Su formulación respondía a determinadas capacidades que se espera que los estudiantes alcancen como consecuencia de los aprendizajes que realicen.

En este trabajo vamos a describir las estrategias, las actividades y los planes de actuación que hemos utilizado a partir de la propuesta didáctica *AcAb Calor y Temperatura* (García-Rodeja et al., 1994; Domínguez e Illobre, 1997). Esta constituyó la variable independiente de nuestra Tesis Doctoral (Domínguez 2000).

1. La secuencia de actividades

En la línea de considerar el aprendizaje de las ciencias como construcción de conocimientos y no como simple adquisición de los ya elaborados, nuestra propuesta se estructura en función de un programa de actividades que facilitan al alumnado dicha construcción, y no como un listado de contenidos a transmitir por el profesorado.

Por otra parte, el enfoque constructivista ha superado la polémica entre procesos y productos de la ciencia (Anderson, 1983; Millar y Driver, 1987) y, a este respecto, el aprendizaje de procedimientos se efectúa sobre contenidos

conceptuales; nuestra metodología se dirige a integrar ambos tipos de contenidos (Pro, 2001).

Las actividades se planifican de forma que se dan oportunidades al alumnado para hacer explícitas sus ideas de manera que sean conscientes de ellas y de las de sus compañeros y compañeras. También se les da la oportunidad de diferenciar entre su conocimiento y el propuesto por la ciencia escolar, haciendo explícitas sus conclusiones y elaborando sus propios argumentos para justificarlas. Puesto que algunas de estas ideas son resistentes al cambio, no es suficiente plantear el conflicto o hecho discrepante, sino que, como señalan Hewson (1981) y Posner et al. (1982), hay que plantear actividades para introducir nuevas ideas y aplicarlas en diferentes contextos.

La secuencia de actividades que se infiere de lo dicho responde al esquema de la Figura 1 (modificado de Ollerenshaw y Ritchi, 1997)

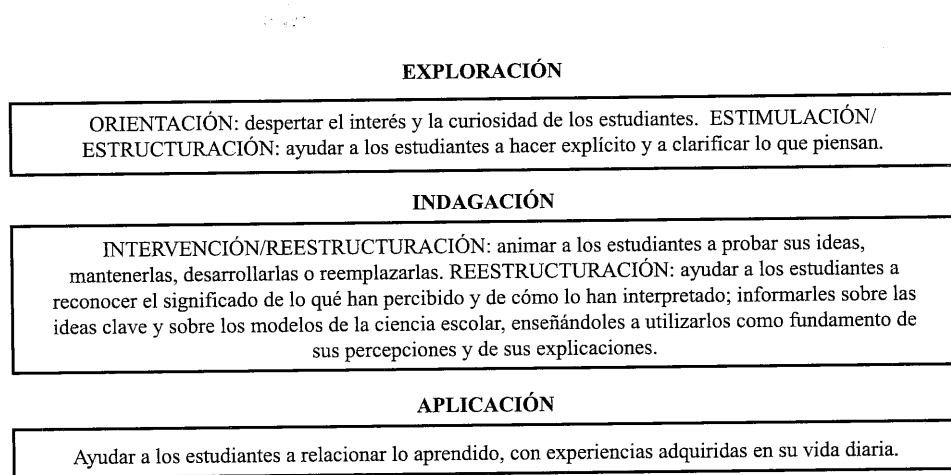


Figura 1. La secuenciación de nuestra propuesta

Exploración: a partir de un determinado aspecto de la realidad a conocer, se fomenta la expresión personal del conocimiento cotidiano para llegar a la síntesis del conocimiento implícito

Indicábamos que los estudiantes aprenden mejor las ciencias y están más motivados para hacerlo si lo que se les enseña tiene sentido; es decir, si está relacionado con sus necesidades próximas, sus vivencias y sus experiencias. A este respecto, en nuestra propuesta didáctica, se parte de una etapa de exploración en la que se proponen actividades a los estudiantes, teóricas o experimentales, para que trabajen sobre cuestiones diseñadas a partir de realidades conocidas por ellos. En esta fase, se hace explícito el conocimiento del alumnado sobre el hecho, fenómeno o acontecimiento elegidos para su

estudio, para que, mediante el intercambio de ideas, la realización de experiencias sencillas o la consulta de datos, elaboren sus discursos explicativos para verificar o refutar determinadas hipótesis, o para justificar observaciones concretas hacia las que se dirige su percepción.

El conocimiento cotidiano cumple un papel fundamental en la interpretación y en la acción de las personas en contextos de actividad específicos y los nuevos significados se han de construir a partir de los significados con los que nuestros alumnos y alumnas llegan al aula de ciencias (Claxton, 1994; Arnay, 1997; Pozo, 1999). Consecuentemente hemos diseñado las actividades de manera que se da a los estudiantes la oportunidad de trabajar, individual y colectivamente, sobre realidades conocidas, utilizando el lenguaje que espontáneamente surja de la interacción.

En esta experiencia, es el docente el que ha de introducir el lenguaje de la ciencia escolar cuando el propio discurso explicativo del alumnado lo demande, promoviendo que los estudiantes *hablen científicamente* lo que supone, en cierta medida, que participen del lenguaje de la ciencia, observando, describiendo, analizando, argumentando, comunicando (Lemke, 1997); para que pueda tener lugar el proceso de *aculturación* (Solomon, 1998) o de *enculturación* (Hodson, 1998), proceso que puede considerarse equivalente al de un *cambio conceptual progresivo* (Duschl y Hamilton, 1998).

Indagación: se fomenta un proceso diversificado, mediante el que se demanda la síntesis del conocimiento explícito, escolarmente construido

Los trabajos de cognición situada (Brown et al., 1989) y los de enfoque más sociocognitivo (Cunningham, 1996; Kelly y Crawford, 1996; Yerrich et al., 1998) plantean que epistemológicamente los procesos de construcción del conocimiento cotidiano, escolar y científico no serían equiparables y trasladables, sin más, de unos contextos de adquisición y activación a otros. Esto significa que los procesos de construcción estarían internamente relacionados y determinados por el sentido que se le otorgue en cada contexto concreto, lo que supone una seria limitación a las tesis generalistas sobre el conocimiento (Arnay, 1997; Pozo, 1999).

En nuestra propuesta, se fomentan estrategias para profundizar en el conocimiento partiendo del conocimiento cotidiano y, consecuentemente, se ha diseñado de manera que la ciencia escolar se desarrolle partiendo de la indagación (Duschl, 1995, 1997; Jiménez, 1998; Díaz y Jiménez, 1999) sobre el entorno inmediato percibido, para ir introduciendo gradualmente el modelo cinético de partículas cuando el propio conocimiento experiencial (Claxton, 1993; Arnay, 1997) demande del sistema explicativo causal determinados interrogantes que no podrían ser abordados, sólo y exclusivamente, por medio de la percepción analítica inmediata (Arnay, 1997; Pozo y Gómez, 1998).

En la indagación, se ayuda y anima a los estudiantes a probar sus ideas, mantenerlas, desarrollarlas o reemplazarlas; a reconocer el significado de lo que han percibido y a sistematizar los conocimientos, de manera tal que se demanden los modelos que justifican los cambios del sistema. Durante esta etapa se pone especial énfasis en fomentar el aprendizaje de técnicas y destrezas que se integren en lo que denominamos esquemas de acción (Domínguez et al., 1998-99), útiles para la indagación (*relación entre variables, diseño experimental*) y para el registro sistemático de datos y búsqueda de regularidades (*medición, representación gráfica*), de los que surjan interrogantes que demanden un razonamiento justificativo e interpretativo de los mismos mediante el uso de los conceptos y modelos de la ciencia escolar.

Esta fase de reestructuración es fundamental en el aprendizaje pues es cuando los estudiantes activan esquemas de razonamiento (Domínguez et al., 1999) mediante los que pueden apreciar la utilidad de la ciencia escolar. A este respecto se propone al alumnado el aprendizaje de modelos que no solamente darán significado a los conceptos, sino que además serán utilizados por los estudiantes para justificar los diferentes hechos y fenómenos presentados, de manera que puedan valorar el conocimiento científico y comprender su evolución (Erduran, 1999).

Aplicación: se fomenta la transferencia de lo aprendido a la explicación de situaciones nuevas

Enlazando con lo anterior, pretendemos que la ciencia escolar constituya un instrumento de análisis, reflexión y acción puesto al servicio de quien pasa obligatoriamente diez años de su vida (educación primaria y educación secundaria obligatoria) aprendiendo institucionalmente.

La ciencia tiene dos funciones, la primera, capacitarnos para conocer cosas y, la segunda, capacitarnos para hacer cosas (Arnay, 1997), lo que supone un conocimiento específico que proporcione una cultura científica escolar, sin tantas pretensiones de transmisión de información, como ocurre muy comúnmente en las aulas de ciencias, pero más útil y por tanto más funcional en la explicación del propio entorno (Claxton, 1987, 1994; Arnay, 1997).

En esta fase de aplicación se anima y ayuda a los estudiantes a relacionar lo que han aprendido, con experiencias adquiridas en su vida diaria. Se pone especial atención en la utilización de conceptos y modelos para la elaboración de relaciones que constituyan esquemas de razonamiento (Domínguez et al., 1999) útiles para justificar el citado comportamiento y, por transferencia, el de otros casos similares. Esta última fase es de especial interés para estudiantes y docentes, pues, no sólo servirá para apreciar la funcionalidad del conocimiento, sino también para contrastar y comprobar el aprendizaje.

La mayoría de las actividades propuestas se realizan en pequeños grupos, lo que favorece el intercambio y comunicación entre el alumnado y entre éste y el docente. De este modo se fomenta el trabajo cooperativo entre iguales

y entre iguales y experto, y, en consecuencia, la participación de ambos en el proceso de aprendizaje. Se crea de esta manera un clima de aula en el que los estudiantes se sienten útiles, necesarios y protagonistas de lo que se está haciendo, y se valora el papel del docente como ayuda y guía, con lo que se establecen condiciones que favorecen el desarrollo del proceso de enseñanza y aprendizaje.

2. Descripción de la propuesta didáctica: AcAb Calor y temperatura

A lo largo de este apartado vamos a describir las diferentes actividades de aprendizaje cuyo conjunto constituye la propuesta didáctica que se aplicó en el aula durante la intervención.

Partimos de la hipótesis de que los estudiantes, por sí solos, no pueden construir todos los conocimientos que tanto tiempo y esfuerzo exigieron a los más relevantes científicos. Por ello hemos considerado necesario que deberían contar con las suficientes ayudas para que, a lo largo de su actividad en el aula, logren la construcción de su propio aprendizaje.

En consecuencia hemos elaborado los que hemos denominado *guiones de trabajo* del alumnado. Surgen de la necesidad de presentar a los estudiantes las actividades a realizar, individualizadas. Se caracterizan por ser claros y disponer del espacio suficiente para que los estudiantes puedan escribir sus propias explicaciones y las del docente; así pueden contrastarlas e identificar las diferencias. Dichos guiones se convierten así en el cuaderno de trabajo del alumnado que irá construyendo día a día a lo largo del curso, registrando en él todas las incidencias que ocurran en el aula: intervenciones del profesor, anotaciones personales, debates del grupo, puestas en común del gran grupo, consultas bibliográficas, hipótesis, diseños de experiencias. También va a constituir un instrumento que emplearemos para evaluar el progreso del alumnado y el grado de consecución de los objetivos de nuestra propuesta didáctica. El libro de texto, u otros que pueda recomendar el docente, se convertirán en materiales de consulta.

Recordemos que nuestra intención es que los alumnos y alumnas establezcan las relaciones necesarias para que el conocimiento conceptual y procedimental se integren, y activen los esquemas de razonamiento y de acción útiles para interpretar y, en ocasiones, predecir, los acontecimientos que se plantean en el aula. La Tabla I relaciona las actividades que constituyen la propuesta didáctica, con los esquemas que, preferentemente, se pretende que activen los estudiantes.

Las tres primeras actividades parecen no fomentar ninguna relación que conduzca al establecimiento de esquemas de razonamiento o de acción. En cierto modo es así, pues tienen por objetivo cuestionar el uso de los sentidos frente al valor objetivo de la temperatura.

En la A13 se presenta a los estudiantes información escrita sobre el modelo cinético de partículas; es un material que servirá como referencia para el resto de la unidad.

ESQUEMAS	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
Esquemas de razonamiento																	
Incremento de temperatura										x	x	x		x	x	x	x
Modelo cinético de partículas														x	x	x	x
Dilatación														x	x	x	
Cambio de estado																	x
Esquemas de acción																	
Medida de la temperatura				x	x	x	x	x	x		x	x			x		x
Representación gráfica											x						x
Relación de variables										x	x	x		x	x	x	x
Diseño experimental																	
A = actividad de la que se extraen las relaciones implicadas en los esquemas activados.																	

Tabla I. Relación entre actividades y esquemas de razonamiento y de acción

A lo largo de las actividades A4 a A9 los estudiantes aprenden técnicas y destrezas necesarias para la elaboración del esquema de acción *medida de la temperatura*, mediante el que desarrollan estrategias para su aprendizaje. A partir de aquí, de forma gradual, razonamiento y acción se integran para poner de manifiesto el carácter funcional del conocimiento.

De este modo a lo largo de siete actividades A10-A12 y A14-A17, se activan relaciones que pueden dar lugar a esquemas de razonamiento *incremento de temperatura*; en las cuatro actividades A14-A17, se fomenta la activación del esquema *modelo cinético de partículas*; en tres de las actividades A14-A16, se hace énfasis en activar esquemas sobre *dilatación* y los esquemas de razonamiento sobre *cambio de estado* se activan en la A17.

Respecto de los esquemas de acción, además de lo comentado sobre el activado, para la *medida de la temperatura*, se puede observar que en dos de las actividades, A11 y A17, se potencian los relacionados con la *representación gráfica de valores*, y en ocho de ellas, A10-A12 y A14-A17, se ha cuidado el establecimiento de esquemas de acción sobre *relación de variables*. Finalmente hemos de señalar que la fila correspondiente al esquema de acción *diseño experimental* está en blanco pues, aunque se ha insistido a lo largo del proceso, no se ha utilizado una actividad específica en nuestra propuesta.

A continuación vamos a describir y analizar cada una de las diecisiete actividades que constituyen la unidad didáctica. La numeración corresponde al orden en el que se realizaron.

2.1. Identificación de la temperatura. Medida y escalas. A1, A2, A3, A4, A5 y A6

La propuesta se inicia con las actividades A1, A2, A3, A4, A5 y A6, que tienen por objetivo cuestionar el uso de los sentidos, y por lo tanto de las sensaciones, como criterio válido para diferenciar las temperaturas de los cuerpos. Como veíamos en el artículo anterior, los estudiantes, al establecer comparaciones entre cuerpos de diferente naturaleza que están a la misma temperatura, transforman sus sensaciones, *noto más caliente este cuerpo que este otro*, en una cuantificación válida para diferenciar cuál está a mayor o menor temperatura. Por lo tanto su forma de expresarse está mucho más próxima al concepto de temperatura: *los cuerpos más o menos calientes están a más o menos temperatura*, lo que les hace pensar que cuerpos que están en equilibrio térmico -madera de la mesa y su correspondiente soporte metálico- están a diferente temperatura.

Se trata de hacer sentir al alumnado la inquietud por buscar criterios más objetivos que les permitan establecer una escala independiente de la sensación. Aparece así la necesidad del termómetro y la temperatura se manifiesta en este primer momento como un parámetro útil que les permite diferenciar el lenguaje cotidiano del lenguaje deseable desde la ciencia escolar.

Es el momento de hacer surgir un intercambio de ideas sobre usos del termómetro y posibles errores que se pueden cometer al medir la temperatura, así como de mostrar diferentes tipos de termómetros (mercurio, alcohol, clínico, máxima y mínima).

Actividad 1: análisis de expresiones de la vida diaria

La intención educativa de esta primera actividad (Actividad 1) es que el alumnado tome conciencia de que determinadas expresiones de la vida diaria están relacionadas con el mundo de las sensaciones y que el criterio que se utiliza, para justificar las afirmaciones sobre el conocimiento que aquellas representan, está basado en el sentido del tacto. Se ilustra en el Cuadro 1, a tamaño reducido, una transcripción de la actividad tal como se trabajó en el aula.

Se da la oportunidad a los estudiantes de que hagan explícitos sus propios significados, que anotan en el apartado A, de los materiales correspondientes a la actividad. Posteriormente leen en voz alta las respuestas para contrastar sus opiniones con las de los demás y con las de la profesora, que va introduciendo el lenguaje deseable desde la ciencia escolar. Los alumnos anotan las posibles diferencias con sus formas de pensar en el apartado B.

¿Qué significado tienen para ti cada una de las siguientes expresiones?:

¡Qué frío está el helado!

A.- _____

B.- _____

¡Qué caliente está el chocolate!

A.- _____

B.- _____

¡Qué calor hace!

A.- _____

B.- _____

¡Qué frío hace!

A.- _____

B.- _____

¿Con cuál de los sentidos se relacionan las expresiones anteriores?

Otras cosas que quieras anotar: _____

Actividad 1. Análisis de expresiones de la vida diaria

Actividad 2: la temperatura de los objetos de la clase y el tacto

Las sensaciones pueden crear dificultades de interpretación en el caso de objetos de distinta naturaleza o estado físico que están en equilibrio térmico. Tal como se infiere de las dificultades de aprendizaje determinadas en el artículo anterior, los estudiantes al tocarlos, en un número elevado de casos, dirán que están a diferente temperatura. Mediante esta actividad (Actividad 2) se pone en cuestión el sentido del tacto como criterio válido para medir la temperatura de los objetos

Ordena de más frío a más caliente los siguientes objetos de la clase: calendario, pizarra, tabla y pata de tu mesa, plástico. _____

El criterio que has seguido está relacionado con uno de los sentidos, ¿de qué sentido se trata? _____

Marca con una cruz la expresión con la que estés de acuerdo

Los objetos están a diferente temperatura

Los objetos están a la misma temperatura

Otra respuesta _____

Piensa que los objetos anteriores llevan mucho tiempo en el laboratorio.

Esta idea, ¿hace variar en algo tu respuesta anterior?

¿Con qué respuesta estarías más de acuerdo ahora? _____

Si has cambiado de opinión, explica razonadamente por qué lo has hecho _____

Actividad 2. La temperatura de los objetos de la clase y el tacto

Actividad 3: medir la temperatura del agua con el tacto

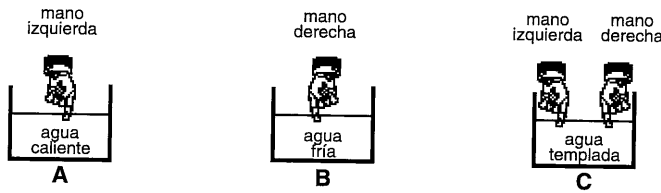
Se enfrenta al alumnado (Actividad 3) con la utilización de criterios subjetivos, el uso del tacto, que no conducen a la construcción de conocimiento científico.

Mediante la experiencia que te proponemos a continuación trata de medir la temperatura del agua contenida en los recipientes A, B, C.

Material por equipo: 3 vasos de precipitados, agua caliente, agua fría y agua templada.

Preparar el vaso A con agua caliente, el vaso B con agua fría y un tercer vaso C con agua templada, que obtendréis al mezclar la misma cantidad de agua caliente y de agua fría.

Introducir el dedo índice de la mano izquierda en el vaso con agua caliente y el dedo índice de la mano derecha en el vaso con agua fría. A continuación introducir ambos dedos en el recipiente con agua templada.



Al introducir los dedos en el recipiente con agua templada, ¿notas alguna sensación diferente?

Indícala _____

¿Qué explicación das a tus sensaciones? _____

¿Coinciden o no tus explicaciones con las de otros compañeros? ¿por qué? _____

¿Es realmente el tacto un criterio fiable para distinguir cuerpos calientes y fríos? Marca con una cruz la respuesta con la que estés de acuerdo

Si

No

Otra respuesta

¿Razona la respuesta elegida? _____

Actividad 3. Medir la temperatura del agua con el tacto

Actividad 4: la temperatura de los objetos y el termómetro

Consideramos que es el momento de presentar al alumnado el termómetro. Mediante esta actividad (Actividad 4) se da información sobre el termómetro de mercurio con el objetivo de que conozcan sus partes, den significado a la escala centígrada y aprendan a utilizarlo adecuadamente. Se introduce la escala centígrada para dar significado al grado (°C). Se completa la información poniendo de manifiesto que el punto cero (0°C) es el punto correspondiente a la temperatura de fusión del hielo, y que el punto cien (100°C) corresponde a la temperatura de ebullición del agua pura a 1 at.

¿Qué instrumento os permitiría comprobar la temperatura del agua de una manera más fiable? _____

Seguro que el instrumento que habéis indicado es el termómetro. Tenéis uno encima de la mesa. Vais a conocerlo y a aprender a utilizarlo.

Es un termómetro de *mercurio* en *recipiente de vidrio*. Es el más común. Consiste en un depósito de vidrio o *bulbo*, en comunicación con una varilla del mismo material, hueca por dentro en forma de *capilar* (varilla muy delgada):

El termómetro contiene *mercurio*, que llena el bulbo y parte del capilar. La escala del termómetro es la escala centígrada que se establece tomando *dos puntos fijos*: el cero y el cien.

La diferencia entre ambas temperaturas se divide en cien partes iguales, denominadas divisiones de la escala del termómetro. Cada división equivale a un *grado centígrado* o grado Celsius (°C) en honor a su inventor.

Escribir el nombre de cada parte en el “bocadillo” correspondiente.

¿Cómo se coge el termómetro?

El termómetro ha de cogerse por la parte superior. No se debe tocar el bulbo que contiene el mercurio pues falsearíamos la medida de la temperatura. Observa la Figura 2.

¿Cómo se lee la temperatura que marca el termómetro?

Como el volumen del mercurio varía al variar la temperatura, la *columna de mercurio* que llena parte del capilar alcanzará una altura mayor o menor, según sea la temperatura.

Para la medida de temperaturas ligeramente inferiores a 0°C o superiores a 100 °C, se continúan trazando divisiones del mismo tamaño por debajo de la división cero y por encima de la división 100.

La temperatura que marca el termómetro debe leerse haciendo coincidir, en la misma horizontal, nuestros ojos con el extremo de la columna de mercurio. Figura 3.

¡Nunca se debe leer la temperatura del termómetro mirando desde arriba o desde abajo!, pues se falsearía la lectura. Figura 4.

Comprobadlo por vosotros mismos leyendo la temperatura de la clase y anotad las medidas

- mirando desde arriba
- mirando desde la horizontal
- mirando desde abajo

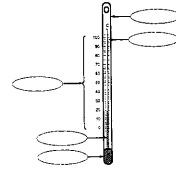
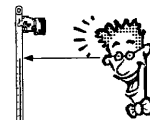


Figura 1

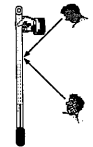


Figura 2



¡SI!

Figura 3



¡NO!

Figura 4

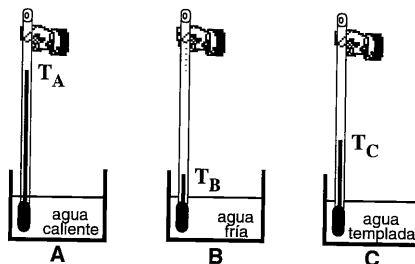
Actividad 4. La temperatura de los objetos y el termómetro

Actividad 5: midiendo la temperatura con el termómetro

Con esta actividad (Actividad 5) se busca la temperatura del objeto como criterio objetivo que permita establecer una escala independiente de la sensación. Se introduce la necesidad del uso del termómetro y se presenta, en primera instancia, la temperatura como una magnitud útil, independiente del mundo de las sensaciones (frío, caliente). De esta manera se podrá diferenciar el lenguaje científico del lenguaje cotidiano, aunque se valorará éste por su importancia y condicionamiento de hábitos: vestido, vivienda, alimentos y defensa del organismo.

Veamos si el termómetro nos proporciona un método que se base en un criterio más objetivo para diferenciar entre cuerpos calientes y fríos.

Introducid el termómetro en el agua de los recipientes de la actividad anterior.



Anotad los resultados:

$T_A = [\quad]$

$T_B = [\quad]$

$T_C = [\quad]$

El termómetro nos aporta un dato que llamaremos temperatura. Ordenad, de menor a mayor temperatura, los resultados obtenidos con el termómetro. _____

Ya no estamos utilizando el criterio del tacto. El disponer de un termómetro nos ha permitido utilizar un criterio más fiable.

¿Qué nuevo criterio estamos utilizando? _____

El termómetro es un instrumento para medir la temperatura de los cuerpos. La temperatura es un parámetro útil porque nos permite diferenciar objetivamente los cuerpos calientes (que nos parece que están a mayor temperatura que nuestro cuerpo) de los cuerpos fríos (que nos parece que están a menor temperatura que nuestro cuerpo).

Actividad 5. Midiendo la temperatura con el termómetro

Actividad 6: escalas de temperatura

Se hace surgir, en gran grupo, a partir de la lectura del texto (Actividad 6) un intercambio de ideas sobre las diferentes escalas de temperatura y sobre la conveniencia de ponerse de acuerdo en el uso de una sola escala.

Finaliza la actividad con distintos cálculos para transformar valores de temperatura a las diferentes escalas y se le muestran al alumnado diferentes tipos de termómetros (mercurio, alcohol, clínico, máxima y mínima).

Vamos a hacer un “viaje al pasado” para informarnos sobre la historia del termómetro.

Para ello lee atentamente el siguiente texto:

Alemania fabricó los primeros termómetros, al principio con alcohol, pero en seguida se sustituyó el alcohol por mercurio.

Fahrenheit (1724), elaboró una escala de temperaturas tomando como puntos fijos la temperatura de solidificación del agua, a la que dio el valor 32, y la de ebullición del agua a la que dio el valor 212. Esta escala, con 32° en el punto de fusión del hielo y 212° en el punto de ebullición del agua, la dividió en 180 partes a cada una de las cuales se denomina grado Fahrenheit.

El zoólogo parisiense Réaumur (1730), eligió como punto fijo inferior para su termómetro de alcohol la temperatura de solidificación del agua a la que asignó el valor 0. Como punto fijo superior tomó el de ebullición del agua asignándole el valor de 80°, la dividió en 80 partes cada una de las cuales denominó grado Réaumur.

El astrónomo sueco Celsius (1742), dividió por razones de conveniencia, el espacio entre los citados puntos fijos en 100 partes, asignando 0 al punto de solidificación y 100 grados al de ebullición.

En el texto, se observa inmediatamente que se utilizaban diferentes escalas de temperatura. Estas escalas se elaboraron por razones de conveniencia. Es difícil conseguir, aún hoy, que en los distintos países se utilice la misma escala a pesar de que políticos y científicos ya se han puesto de acuerdo en utilizar el Sistema Internacional (SI) de unidades (con la unidad que se propone en este sistema se trabajará más adelante)

Todavía nos podemos encontrar con que para decir lo mismo se puedan indicar datos que parecen diferentes. Por ejemplo, dependiendo de la escala utilizada, si una persona tiene fiebre podemos leer u oír expresiones que pueden parecer tan dispares como:

tiene una temperatura de 40 °C (España)

tiene una temperatura de 104 °F (Estados Unidos)

tiene una temperatura de 32 °R (ya no se utiliza)

¿Crees que estos valores corresponden a la misma temperatura? Figura 1.

Calcula la temperatura de tu chocolate 60°C en °R y °F.

¿Qué ventajas tiene utilizar una misma escala de temperatura?

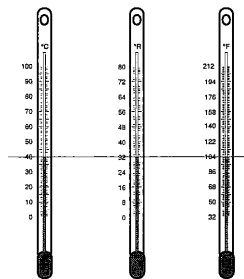


Figura 1

Actividad 6. Escalas de temperatura

2.2. La temperatura, un parámetro intensivo. A7

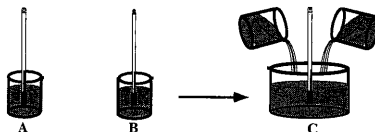
Se pretende con la siguiente actividad caracterizar la temperatura como un parámetro intensivo, en contraposición con el carácter extensivo de la masa o del volumen.

Actividad 7: la temperatura, ¡un parámetro intensivo!

Aunque la actividad (Actividad 7) pudiera parecer obvia, hemos de tener en cuenta que el carácter intensivo de la temperatura no es intuitivo. Existe

la creencia de que es una medida del calor y no debe extrañar que el alumnado infiera que depende de la masa y/o del volumen. Utilizando agua recogida el día anterior, en equilibrio con el ambiente, se obvia la variación, con el tiempo, de la temperatura del agua y se evitan dificultades que puedan interferir en la aceptación del problema cualitativo (agua a una T + agua a la misma T = agua a igual T que las anteriores).

Poned la misma cantidad de agua del grifo en cada uno de dos recipientes iguales. Utilizad la probeta.



Medid, con el termómetro, la temperatura del agua de los dos recipientes y anotadla.

Temperatura del agua del recipiente A _____

Temperatura del agua del recipiente B _____

Echad el agua de los dos recipientes en un recipiente mayor y medid la temperatura del agua de la mezcla.

Temperatura del agua del recipiente C _____

A la vista de los resultados:

¿Dependerá la temperatura de la masa? Si... No...

Explicad razonadamente la respuesta elegida _____

Actividad 7. La temperatura, ¿un parámetro intensivo!

2.3. Aplicación y revisión de ideas. A8 y A9

Mediante las dos siguientes actividades se pretende que el alumnado aplique y revise las ideas que se hicieron explícitas durante esta primera fase de la intervención en el aula.

Actividad 8: el tacto, el termómetro y la temperatura

Se pretende (Actividad 8) que los estudiantes pongan de manifiesto su opinión sobre la validez del tacto como criterio adecuado para medir la temperatura, sobre el papel del termómetro y el significado del vocablo temperatura, y sobre las condiciones que se han de tener en cuenta para un uso correcto del termómetro.

Elaborad un resumen de las ideas estudiadas hasta el momento. Probablemente os ayude el plantearos algunas interrogantes:

¿Es el tacto un criterio adecuado para medir la temperatura? ¿Por qué? _____

¿Tiene alguna utilidad el termómetro? Indica diferentes tipos de termómetros así como sus semejanzas y diferencias. _____

¿Qué significa para ti la palabra temperatura? _____

Cuando usas el termómetro, ¿cuáles crees que son las condiciones que debes tener en cuenta para que el dato de temperatura que mides sea un dato fiable? _____

Otras ideas que se te ocurran _____

Actividad 8. El tacto, el termómetro y la temperatura

Actividad 9: mapa conceptual

Mediante esta actividad (Actividad 9) se pide a los estudiantes que elaboren un mapa conceptual sobre lo estudiado.

Ahora vas a ordenar los conceptos y a tratar de relacionarlos entre sí, mediante la elaboración de un mapa conceptual.

Hazlo primero a borrador y, cuando estés satisfecho de tu mapa, pásalo a limpio en el espacio que aparece a continuación.

Actividad 9: mapa conceptual

2.4. Energía transferida e incremento de temperatura. A10, A11, A12

Nuestra intención, hasta ahora, ha sido que el alumnado desarrolle estrategias para medir la temperatura y que adquiriera una definición operativa de temperatura que le permita hacer útil el parámetro, sin pretender entrar aún en la interpretación del incremento de temperatura del sistema y de los fenómenos de dilatación y de cambio de estado. No hemos introducido la palabra calor para no fijar más aún las ideas alternativas de los estudiantes, constatadas en la caracterización inicial. En adelante se hará hincapié en que la variación de temperatura se debe al aporte/pérdida de energía del cuerpo.

Actividad 10: la transferencia de energía y la variación de temperatura

Mediante esta actividad (Actividad 10.1) pretendemos que el alumnado acepte las siguientes ideas: la temperatura de un objeto aumenta o disminuye cuando, respectivamente, recibe o cede energía; los objetos que están a mayor temperatura transfieren energía a los cuerpos que se encuentran a menor temperatura, hasta que ésta se iguala, es decir, hasta que se alcanza el equilibrio térmico.

1. Echar agua del grifo en un vaso de precipitados.
Medir su temperatura y anotarla.
Temperatura del agua, $T =$ _____

Tomar un objeto del laboratorio, por ejemplo una esfera de hierro, y echarla en el vaso de precipitados anterior, medir su temperatura y anotarla.
Temperatura del agua, $T =$ _____

¿Habéis detectado alguna variación de temperatura?
Si
No

¿A qué creéis que es debido? _____

2. Con un paño, secar la esfera de hierro. Cogerla con un pinza, calentarla a la llama del mechero e introducir la esfera lentamente en el agua. Medir de nuevo la temperatura del agua con el termómetro y anotar su valor.
Temperatura del agua, $T =$ _____

¿Ha variado la temperatura del agua? Si No
¿Ha variado la temperatura de la esfera? Si No

¿Cómo son ahora sus temperaturas? _____
Explicar razonadamente vuestras respuestas anteriores _____
Después de la explicación, ¿ha variado en algo vuestro razonamiento sobre las respuestas anteriores?
¿En qué? _____

3. Poned más ejemplos en los que se observe elevación de la temperatura de un objeto. Os damos pistas:
¿Cómo hacían los hombres primitivos para encender el fuego?
¿Qué notas cuando te pones al sol?
¿Cómo calientas la leche de tu desayuno?
¿Qué notas cuando tocas una bombilla que lleva un tiempo encendida?
Es de esperar que hayan salido diferentes ejemplos y procedimientos.
¿Qué hay en común entre ellos? _____



Actividad 10.1. Transferencia de energía y variación de temperatura

A continuación se proporcionan al alumnado un resumen escrito (Actividad 10.2) de las ideas trabajadas, para reestructurarlas. Se introduce el concepto científico de **CALOR**

Ordenemos las ideas que nos han servido para explicar los fenómenos observados en las experiencias:

La temperatura del agua aumenta mientras que la temperatura de la esfera disminuye, hasta alcanzar ambos el mismo valor.

Diremos que la temperatura de ambos cuerpos, agua y esfera, es la misma, **han alcanzado el equilibrio térmico.**

El cuerpo que tiene mayor temperatura (la esfera) ha dado energía al cuerpo que posee menor temperatura (el agua).

Los objetos, que llevan tanto tiempo en el mismo sitio, han tenido tiempo de intercambiar energía entre ellos y el entorno que les rodea hasta alcanzar la misma temperatura. **Han alcanzado el equilibrio térmico.**

Hemos visto que una esfera, a elevada temperatura aumenta la temperatura del agua. Pero ahora sabemos que la temperatura de un cuerpo puede ser aumentada o disminuida de formas muy diferentes. Se puede aumentar la temperatura golpeando el objeto, frotándolo, doblándolo, exponiéndolo al Sol, ...

La temperatura del objeto aumenta cuando recibe energía.

La temperatura del objeto disminuye cuando pierde energía.

Los cuerpos que tienen mayor temperatura ceden energía a los cuerpos que tienen menor temperatura.

Al proceso por el que tiene lugar la transferencia de energía entre cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, los físicos, le llaman **calor**.

Actividad 10.2. Transferencia de energía y variación de temperatura

Actividad 11: incremento de temperatura, masa y naturaleza del sistema.

Esta actividad (Actividad 11) ha sido diseñada para que, en primer lugar, el alumnado se enfrente por primera vez a la necesidad de registrar sistemáticamente los resultados para la búsqueda de regularidades. En segundo lugar, para que incorpore la idea de que la energía que hay que aportar a un cuerpo para que alcance una determinada temperatura depende, de su masa y de su naturaleza.

Distribuíros en cuatro grupos

El primer grupo preparará un vaso de precipitados con 50 cm³ de agua, el segundo con 100 cm³, el tercero con 150 cm³ y el cuarto con 200 cm³. A continuación calentad durante el mismo tiempo, 5 min, el agua contenida en vuestros respectivos vasos (aseguraros de que los mecheros de los respectivos grupos tengan la misma llama). Al cabo de dicho tiempo medid la temperatura. En gran grupo vamos a construir una tabla en el encerado con los datos de los diferentes grupos, tal como la que se sugiere a continuación. También construiremos una gráfica.

m (g)	t ₁ (° C)	t ₂ (° C)	ΔT
50	20	100	80
100	20	84	64
150	20	70	50
200	20	59	39

1 cm³ ≈ 1 g

t₁ = antes de calentar

t₂ = después de calentar

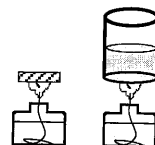
ΔT = t₂ - t₁



Para una misma cantidad de energía transferida por medio del proceso que hemos denominado calor, ¿qué relación existe entre la elevación de temperatura conseguida y la masa de agua calentada? _____

Calienta, durante el mismo tiempo, un trozo de hierro y una masa igual de agua, ¿cual de los dos (hierro, agua) alcanzará mayor temperatura? _____

¿Por qué? _____



Actividad 11. Incremento de temperatura, masa y naturaleza del cuerpo. Registro sistemático de datos.

2.5. Aplicación y revisión de ideas. A12.

Actividad 12: temperatura, masa y naturaleza del cuerpo; mapa conceptual

Se propone al alumnado repasar las ideas (Actividad 12) trabajadas en las actividades 10 y 11 y relacionar los conceptos estudiados completando el mapa conceptual.

Haced un resumen de las ideas estudiadas hasta el momento. Quizás algunas interrogantes os ayuden: ¿En qué se diferencia un cuerpo que está a una determinada temperatura, del mismo cuerpo cuando está a mayor temperatura? _____

¿Qué ocurre si se ponen en contacto dos cuerpos que están a diferente temperatura? _____

¿Cómo se denomina el proceso por el que se transfiere energía entre cuerpos que están a diferente temperatura? _____

Si aportamos la misma cantidad de energía a un cuerpo, ¿de qué depende la temperatura que alcanza? _____

Ordenad los conceptos y tratad de relacionarlos entre sí. Completad vuestro mapa de conceptos _____

Actividad 12. Temperatura, masa y naturaleza del cuerpo.

2.6. El modelo cinético de partículas. A13

Actividad 13: ¿Cómo es y cómo está esa energía responsable de T?

Con esta Actividad (Actividad 13) se pretende ayudar al alumnado a dar respuesta a la pregunta *¿cómo es y cómo está esa energía?*, mediante el modelo cinético de partículas. Utilizarán este material para interpretar todos los demás fenómenos

¿Cómo es y cómo está esa energía responsable del aumento de temperatura de los cuerpos

Con lo que habéis estudiado hasta el momento sabéis que la temperatura de un cuerpo aumenta cuando se le suministra energía.

Es decir que un cuerpo, por ejemplo agua a 18 °C, necesita recibir energía para elevar su temperatura hasta, por ejemplo a 50°C. Luego el agua a 50°C tiene más energía que la misma agua a 18°C.

¿Cómo imaginas esa energía en el cuerpo?

La Ciencia y los científicos han propuesto una interpretación que puede ser útil para contestar nuestra pregunta. Según los científicos, **los cuerpos están formados por partículas (moléculas, ...)**. Estas partículas son muy pequeñas, tan pequeñas que no se pueden ver ni con el más potente microscopio.

Las **partículas están en continuo movimiento**. Por consiguiente diremos que **las partículas tienen energía cinética**.

Cuanto mayor sea la energía cinética de las partículas, mayor será su **temperatura**.

Diremos que la **temperatura es una medida de la energía cinética de las partículas**.

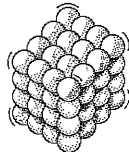
Nosotros representaremos estas partículas como pequeñas esferas.

A esta forma de representar los cuerpos le llamaremos modelo cinético de partículas.

REPRESENTACIÓN DE UN SÓLIDO

Todo cuerpo está constituido por un enorme número de partículas que están en **movimiento**.

La figura siguiente representa un sólido, según el modelo de partículas.



Las partículas se atraen entre sí mediante fuerzas que llamamos *fuerzas de cohesión*. Estas fuerzas obligan a las partículas a ocupar posiciones fijas.

Estas partículas están en movimiento, pero sólo se mueven entorno a una posición determinada. La energía correspondiente al movimiento de las partículas la llamamos **energía cinética**.

Serán por tanto características de un cuerpo sólido: la conservación de su **forma y volumen**.

Si el sólido recibe energía



aumenta la energía cinética
de las partículas



aumenta la temperatura del sólido

Si el sólido cede energía



disminuye la energía cinética
de las partículas

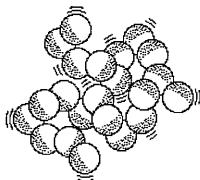


disminuye la temperatura del sólido

La temperatura es la medida de la energía cinética de las partículas.

REPRESENTACIÓN DE UN LÍQUIDO

La figura siguiente representa un líquido. También está constituido por un enorme número de partículas que están en **movimiento**.



Las partículas se atraen entre sí mediante fuerzas de cohesión.

Las fuerzas de cohesión no son suficientemente intensas para mantener las partículas moviéndose en torno a una determinada posición. Como consecuencia se desplazan sobre sí mismas, cambiando de posición.

Luego, un líquido, **no tiene forma definida**.

Sin embargo las fuerzas de cohesión son suficientemente intensas para impedir que el conjunto de partículas se escapen. Por lo tanto **un líquido tiene volumen definido**.

Si el líquido recibe energía



aumenta la energía cinética de las partículas



aumenta la temperatura del líquido

Si el líquido cede energía



disminuye la energía cinética de las partículas



disminuye la temperatura del líquido

La temperatura es la medida de la energía cinética de las partículas.

REPRESENTACIÓN DE UN GAS

También está constituido por un enorme número de partículas. La figura siguiente representa un gas.



Las fuerzas de cohesión son muy débiles y, como consecuencia, las partículas están **muy separadas**, se **desplazan a grandes velocidades**, **chocando entre sí y con las paredes** del recipiente que contiene el gas.

Por lo tanto un gas **no tiene ni forma ni volumen definidos**.

Las partículas se desplazan libremente a gran velocidad.

Si el gas recibe energía



aumenta la energía cinética de las partículas



aumenta la temperatura del gas

Si el gas cede energía



aumenta la energía cinética de las partículas



disminuye la temperatura del gas

La temperatura es la medida de la energía cinética de las partículas.

Actividad 13. Modelo cinético de partículas.

Después de trabajar con este material, se escenifica el modelo mediante una simulación elaborada por nosotros. Se resalta la importancia de la relación entre el incremento de energía cinética de las partículas, el incremento de temperatura, la separación de las partículas y el debilitamiento de las fuerzas de cohesión.

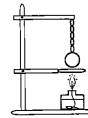
2.7. Dilatación. A14, A15 y A16

Con las actividades 14, 15, 16 se pretende que los alumnos y las alumnas utilicen la idea de que los cuerpos están formados por partículas cuya energía cinética aumenta al elevarse la temperatura, como fundamento del razonamiento justificativo de la dilatación de un sólido, de un líquido y de un gas.

Actividad 14: la dilatación de los sólidos

Se trata de una actividad (Actividad 14) de aplicación del modelo cinético de partículas estudiado para elaborar el razonamiento justificativo sobre la dilatación de un sólido. En este caso se trabaja con el anillo de Gravesandre, para ver la utilidad del modelo en la explicación de por qué no pasa la bola por el anillo después de calentarla con el mechero.

Vamos a experimentar con el anillo de Gravesandre. Comprueba que la esfera pasa por el anillo. Calienta la esfera y hazla pasar de nuevo por el anillo.



- 1.- ¿Qué observas? _____
- 2.- Relaciona lo que has hecho en la experiencia, con los conceptos estudiados anteriormente _____
- 2'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____
3. Explica lo observado mediante el modelo de partículas estudiado. _____
- 3'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____

Actividad 14. La dilatación de los sólidos

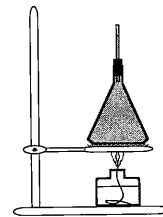
Actividad 15: la dilatación de los líquidos

En esta actividad (Actividad 15) se pretende que hagan útil el modelo cinético de partículas en la interpretación de la dilatación de un líquido, el agua.

Llena un matraz erlenmeyer con agua. Enrasa el agua en el cuello del matraz, tal como se indica en la figura.

Calienta con un mechero.

- 1.- ¿Qué observas? _____
- 2.- Relaciona lo que has hecho en la experiencia, con los conceptos estudiados anteriormente _____
- 2'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____
3. Explica lo observado mediante el modelo de partículas estudiado. _____
- 3'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____



Actividad 15. La dilatación del agua

Actividad 16: la dilatación de los gases

Como en las actividades 14 y 15, se pretende que hagan útil el modelo en la interpretación de la dilatación de un gas (Actividad 16). Se trabaja con aire por mayor comodidad y significatividad. Se observa que el globo se dilata, ocupando el aire mayor volumen.

Coloca un globo desinflado en el cuello de un matraz.
A continuación calienta el matraz.

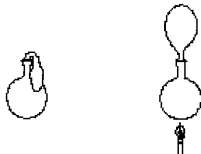
1.- ¿Qué observas? _____

2.- Relaciona lo que has hecho en la experiencia, con los conceptos estudiados anteriormente _____

2'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____

3.- Explica lo observado mediante el modelo de partículas estudiado _____

3'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____



Actividad 16. La dilatación del aire

2.8. El cambio de estado y la representación gráfica de valores. A17**Actividad 17: El cambio de estado y la representación gráfica de valores.**

En esta actividad (Actividad 17) se insiste en el aprendizaje de destrezas relacionadas con la comunicación de resultados y en el uso del modelo cinético de partículas para la elaboración del razonamiento justificativo de hechos y fenómenos, en este caso el incremento de temperatura del agua hasta que se produce la ebullición.

Calienta agua y mide la temperatura a intervalos iguales de tiempo.

1. Anota las medidas, ordénalas mediante una tabla de datos y representa los valores en una gráfica.

2.- ¿Qué observas? _____

3.- ¿Qué información nos dan los datos obtenidos, ordenados mediante la tabla y la gráfica? _____

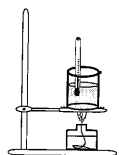
3'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____

4.- Relaciona lo que has hecho durante la experiencia con los conceptos estudiados anteriormente _____

4'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____

5.- Explica lo observado mediante el modelo de partículas estudiado _____

5'.- Después de la explicación, ¿ha variado en algo tu respuesta anterior? ¿En qué? _____



Actividad 17. Cambio de estado del agua

Para terminar queremos señalar que cualquier propuesta didáctica no se acaba en un análisis de los conocimientos científicos implicados, una reflexión sobre los problemas que pueden tener los alumnos para aprenderlos, la justificación de una secuencia de enseñanza o el diseño de unos materiales de aprendizaje. Estos elementos son indudablemente necesarios pero no podemos obviar que la complejidad de las relaciones y comunicación humanas son siempre factores determinantes de lo que realmente va a ocurrir en el aula.

Agradecimientos

A la DGES, la financiación del proyecto (PB98-0616)

Referencias Bibliográficas

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. London: Harvard University Press.
- Arnay, J. (1997). Reflexiones para un debate sobre la construcción del conocimiento en la escuela: hacia una cultura científica escolar. En: Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comps). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.
- Brown, J.S.; Collins, A.; Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32-42.
- Claxton, G. (1987). *Vivir y aprender. Psicología del desarrollo y del cambio en la vida cotidiana*. Madrid: Alianza Psicología.
- Claxton, G. (1993). *Mintheories: a preliminary model for learning science. Children's informal ideas in science*. Routledge: Black y Lucas.
- Claxton, G. (1994). *Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.G
- Cunningham, C. (1996). *Knowing and teaching about science: Teachers' sociological understanding of science*. Annual meeting of NARST. St. Louis.
- Díaz, J. y Jiménez, M.P. (1999). Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique*, 20, 9-16.
- Domínguez, J.M. (2000). *Evolución de las formas de hacer y de pensar sobre un sistema material, en el marco de la Termodinámica y del Modelo de Partículas. Estudio mediante esquemas de acción y de razonamiento*. Tesis de Doctorado. Santiago de Compostela
- Domínguez, J.M.; Illobre, M^a.L^a. (1997). Calefacción y refrigeración. En Jiménez et al. (coors). *Aprendiendo Ciencias en la Enseñanza Secundaria*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicacións e Intercambio Científico da U.S.C.

- Domínguez J.M.; Pro, A.; García-Rodeja, E.; Illobre, M^a.L^a. (1999). Esquemas de razonamiento del alumnado de E.S.O.: Interpretación del posible comportamiento de un sistema cuando intercambia energía con una fuente. En Martínez, C. y García, S. *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*. A Coruña: Servicio de Publicacións da Universidade da Coruña.
- Domínguez, J. M.; Pro, A; García-Rodeja, E., Illobre, M^a.L^a. (1998-99). Os esquemas de acción e a avaliación do coñecemento procedimental. A medida da temperatura na E.S.O. *ADAXE.*, 14-15, 233-270.
- Duschl, R.A. (1995). Mas allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14.
- Duschl, R.A. (1997). *Renovar la Enseñanza de las Ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.
- Duschl, R.A.; Hamilton, R.J. (1998). Conceptual change in science and in the learning of science. En Fraser, B.J. y Tobin, K.G. *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Erduran, S. (1999). *Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for Chemistry Education*. 5th International History, Philosophy and Science Teaching Conference & 8th European Physical Society History and Physics Teaching Conference. Como-Pavia.
- García-Rodeja, E.; Lorenzo, F. M.; Domínguez, J.M. (1994). *Proyecto AcAb Física. Actividades Abiertas para una Enseñanza Integrada de la Física*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicacións da U.S.C.
- Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3 (4), 383-396.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science. Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press.
- Jiménez, M^a.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 203-216.
- Kelly, G.J.; Crawford, T. (1996). *Students' reasoning about electricity: combining performance assessment with argumentation analysis*. Conferencia anual de AERA. New York.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar de ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Millar, R.H.; Driver, R. (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Ollerenshaw, Ch.; Ritchie, R. (1997). *Primary Science. Making it work*. 2^a. Ed. London: David Fulton Publishers.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W.; Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 62 (2), 211-227.

-
- Pozo, J.I. (1999). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, junio, 15-29.
- Pozo, J.I. ; Gómez, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Pro, A. (2001). Nuevos tiempos, nuevos contenidos de Física. *Alambique*, 29, 53-62
- Solomon, J. (1998). The science curricula of Europe and the notion of scientific culture. En Roberts, D.A. y Östman, L. (eds.) *Problems of meaning in science curriculum*. New York: Teachers College Press.
- Yerrick, R.K.; Pedersen, J.E.; Arnason, J. (1998). "We are just spectators": a case study of science teaching, epistemology, and classroom management. *Science Education*, 82, 619-648.