

HECHOS EXPERIMENTALES Y FORMAS DE RAZONAMIENTOS EN TERMODINÁMICA ENFOQUE COMÚN DE LOS ALUMNOS

Laurence Viennot, L.D.P.E.S., Université Denis Diderot, Paris, France

Introducción

Numerosas investigaciones llevadas a cabo en los últimos veinte años sobre las concepciones de los alumnos han sido definidas en principio en función de los capítulos tradicionales de la teoría aceptada. El calor y la temperatura han figurado entre los primeros campos estudiados, así como la presión de los gases y la estructura particular de la materia. Se ha determinado que han aparecido rasgos similares de razonamiento en las respuestas de los alumnos aun cuando se tratan de temas muy diferentes. Las investigaciones más recientes a nivel universitario se centran sobre los aspectos transversales del razonamiento. Después de una exposición de las grandes líneas de los resultados concernientes a las ideas de los alumnos sobre el calor y la temperatura, esas formas generales de razonamiento serán ilustradas por los ejemplos de la termodinámica. Seguidamente se discutirán las implicaciones en cuanto a la escogencia de los objetos de enseñanza.

Fenómenos que incluyen el calor y la temperatura: Relación con el punto de vista de la física

En la teoría física, el término “calor” se refiere a un tipo de transferencia de energía entre dos sistemas, por ejemplo por conducción, y también la energía transferida por este medio. El otro medio de transferir la energía de un sistema a otro es el trabajo: por ejemplo el trabajo mecánico o eléctrico. Los procesos tales como la convección o la radiación pueden ser reportados en esos dos tipos fundamentales de transferencia – calor y trabajo - a pesar de que el planteamiento no sea trivial. De hecho, considerando las transferencias de energía, la necesidad de una verdadera distinción entre calor y trabajo no se hace sentir sino desde que la entropía entra en juego. Este no es el caso en este capítulo, y no será analizado en detalle el proceso real de la transferencia. Se plantea solamente lo relativo a la “transferencia de tipo calor” o de “trabajo”.

La temperatura es una de las cantidades que caracteriza el estado de un sistema. Su definición teórica es un poco compleja. Pero dentro de las situaciones donde es posible utilizar la termodinámica clásica, esta magnitud intensiva está simplemente unido a – de hecho ella es proporcional a – la energía cinética media por partícula.

Puesto que la energía puede ser transferida simultáneamente por numerosos medios, y además, la energía de las partículas no está únicamente en forma cinética, una transferencia de tipo calor en un sistema no arrastra necesariamente un aumento de la temperatura de ese sistema. Por ejemplo, una transferencia de tipo calor puede provocar un cambio de estado, y eso se produce sin ninguna modificación de la temperatura (es entonces la energía potencial de las partículas la que es modificada), o además una modificación de la temperatura puede producirse durante el descanso adiabático de un gas, es decir un

descanso sin ninguna transferencia de tipo calor. Una transferencia de este tipo puede producirse igualmente de una fuente “fría” a una fuente “caliente” (eso que significa respectivamente “más frío” y “más caliente”), como en los refrigeradores.

En el seno de ese campo complejo, una categoría restringida de esos fenómenos permite predicciones más simples: los fenómenos por los cuales se produce una sola transferencia de tipo calor, con simplemente una variación de la energía cinética media de las partículas dentro de cada uno de los sistemas implicados. Es entonces correcto afirmar que la energía va del sistema más caliente al más frío, hasta alcanzar finalmente los sistemas la misma temperatura. Se puede destacar que dentro de esta “categoría restringida”, sería posible, sin ningún problema, asimilar el “calor” a una “energía térmica”, pudiendo esta ser transferida o almacenada. Entonces, la diferencia entre el calor y la temperatura sería simplemente que la temperatura es una magnitud intensiva, no siendo el caso para la energía. De hecho, como es mostrado acá abajo, la distancia conceptual entre las dos magnitudes es muy importante.

En este breve resumen se cruzan dos campos conceptuales que se extienden más allá de los temas del calor y de la temperatura: la estructura particular de la materia (ver el capítulo E3 de M. Méheut, y también Lijnse y al., 1990), el concepto de energía. Esos dos temas muy importantes no pueden ser tratados en tanto que tales dentro de los límites de este capítulo. Lo que sigue está centrado sobre las formas de razonamientos de los alumnos relativos a los fenómenos físicos: calor y temperatura.

Ideas de los niños sobre algunos fenómenos termodinámicos

En este momento es ampliamente reconocido que los conocimientos comunes de los alumnos y las formas de razonamiento son de una importancia crucial en la concepción de las estrategias de enseñanza.

Esta sección describe las concepciones de los adolescentes entre 10 y 16 años, antes, durante o después de la enseñanza, con una insistencia particular, en último caso, sobre las dificultades que persisten después de la enseñanza. Los resultados reportados son principalmente extraídos de dos artículos que tratan estos aspectos (Erickson, 1985; Tiberghien, 1985; ver igualmente Tiberghien, 1984) y en los cuales pueden ser obtenidos más detalles.

Declaraciones sobre lo que es el calor y la temperatura

En la mayor parte de los comentarios de los alumnos, el calor parece ser algo que calienta otras cosas. Como escribió Erickson (1985), ese “algo” es asimilado a un cuerpo caliente o a una especie de sustancia emitida por la fuente caliente. Las respuestas siguientes han sido obtenidas una encuesta aplicada a alumnos de 12 a 16 años a los que se les solicitó de “decir en pocas palabras lo que es el calor” (Engel, 1982).

“El calor es aire caliente”

“el calor es un fluido o un sólido que calienta ...cuando ustedes lo tocan parece caliente – sin importar lo que tiene el calor por dentro”

En este estudio, un tercio de los alumnos de mayor edad dan siempre estos tipos de respuestas, por oposición a los otros que indican que el “calor” es definido en términos de energía y de transferencia:

“El calor es energía; desde que se calienta algo, se transfiere la energía de calor hacia lo que es calentado”.

Según Erickson (ibid), “hasta la edad de 12-13 años, los alumnos están familiarizados con el término temperatura y son capaces de utilizar un termómetro para evaluar la temperatura de los objetos, pero ellos comprenden ese concepto de manera muy limitada y lo utilizan muy pocas veces espontáneamente para describir el estado de un objeto”.

En cuanto a la diferencia entre calor y temperatura, cuando se interroga directamente a los niños sobre ese punto, “el tipo de respuesta más común (representando más del 25% para todos los niveles de edad) es que no hay diferencias entre ellos”. Erickson cita las otras respuestas típicas (Engels, 1982) para los cuales la temperatura parece ser “una medida del calor” o “el efecto del calor”:

“La temperatura es la cantidad de calor dentro de un espacio... eso nos indica el calor del agua”.

¿Cómo son analizados los fenómenos?

Los investigadores centran su atención en los comentarios de los alumnos y de sus predicciones a propósito de fenómenos donde están implicados el calor y la temperatura, más que sobre los aspectos puramente declarativos de sus conocimientos.

Desde el punto de vista del físico, los fenómenos considerados en estos estudios pueden ser clasificados según dos categorías: la “categoría restringida” descrita más abajo (es decir solamente con una transferencia de tipo calor y únicamente una variación de la energía cinética media de las partículas), y por otra parte los cambios de estados.

Fenómenos de la “categoría restringida”

En la “categoría restringida”, se encuentra el hecho experimental que todos los objetos en contacto prolongado obtienen la misma temperatura final. Esta idea no es evidente para los alumnos. Los investigadores señalan ciertas respuestas que parecen negar la existencia de un equilibrio termodinámico entre los objetos considerados.

Por ejemplo, cuando se pregunta si dos platos, uno de metal, el otro en plástico, puestos dentro de la misma pieza, están a la misma temperatura, la mayor parte de los alumnos consideran que eso no es posible, la misma respuesta la preservan después de la enseñanza. (Engels & Driver, 1985). Tiberghien (1985) reporta igualmente que “materiales diferentes” (harina, clavos, agua) colocadas durante muchas horas dentro de un horno a 60° se encuentran, para la mayoría de los alumnos, a temperaturas diferentes.

Típicamente, “la harina está a menos de 60° porque la harina no se calienta mucho, los clavos están a más de 60° para que el hierro caliente más rápido, y el agua está a 60° porque toma la temperatura de su entorno”.

De la misma manera, no es evidente para los adolescentes que al calentar todo el material se produce un aumento de la temperatura. Así, siempre según Tiberghien, “antes de la enseñanza, solamente un tercio de los alumnos piensa que la temperatura de la arena, del azúcar y el agua aumenta desde el momento que son calentadas. Muchos de ellos predicen que la arena no será más caliente.” “porque la arena no puede calentarse”, pero el agua puede calentarse.

Para ellos, la capacidad de calentarse es una propiedad “natural” de las sustancias particulares. Después de la enseñanza, más del 50% de los alumnos reconocen que la temperatura de esas tres sustancias aumenta, pero sin embargo este es un concepto muy difícil para ellos”.

Estas dificultades no son evidentes en las mezclas homogéneas de líquidos. En ese caso, la existencia de una temperatura final única es bien aceptada por los alumnos. La cuestión es predecir cualitativamente o cuantitativamente este valor final. Muchas investigaciones (Stavy & Berkovitz, 1980; Driver & Russel, 1981; Strauss, 1981; Engels, 1982) en ese sentido han utilizado las experiencias de mezcla entre las cantidades de agua de temperaturas iniciales idénticas o diferentes. En los dos casos, fueron solicitadas predicciones cualitativas y cuantitativas. El caso de las temperaturas iniciales idénticas se reveló más fácil a tratar, y las cuestiones cuantitativas más difíciles que las cualitativas. Las estrategias consisten en adicionar o sustraer las temperaturas iniciales han sido observadas en los alumnos de 16 años (Engels, 1982).

Finalmente, siempre dentro de la categoría “restringida” (solamente una transferencia de calor y una variación de la energía cinética), las preguntas se refieren más o menos a la eficacia de diversos materiales para el aislamiento térmico de objetos diversos. La respuesta correcta necesita, en ese caso, considerar una prioridad de un material dado – ser un buen o un mal conductor – con una atención particular acordada a la idea de transferencia entre dos sistemas. Esta idea de transferencia interviene igualmente en el tema difícil de las sensaciones táctiles producidas por materiales diversos a la misma temperatura.

De manera previsible, la mayor parte de las explicaciones de los alumnos para tales problemas reposa sobre una propiedad del material. Pero dentro de los comentarios, la propiedad del objeto está ligada de forma disimétrica en una de las categorías “caliente” o “frío”, como si una situación particular hubiera sido utilizado para asignar una vinculación intrínseca entre el material y una de las extremidades particulares del continuum caliente-frío. La mayor parte de esas explicaciones parecen tomar en cuenta el material propuesto y solamente uno de los otros sistemas implicados: el cuerpo a aislar o el aire ambiente, con o sin la intervención del “calor”. Tiberghien (1985) cita algunos ejemplos de tales explicaciones:

(para aislar un rodamiento de una bola fría) “el aluminio conserva mejor el frío” (11 años);

(para aislar una bebida caliente), “el vaso envuelto en una ropa será más caliente que los otros porque él está envuelto en la ropa” (11 años);

“el metal enfría las cosas, el metal es frío” (12 años);

“yo pienso que eso (el metal) guardará (el helado) congelado más fácilmente, porque eso (el algodón) es más caliente y conserva mejor el calor” (12 años)

Esas explicaciones son predominantes antes de la enseñanza y pueden ser reemplazados poco a poco, después de la enseñanza, para otros que no sugieren la disimetría relativa al “calor” y “frío”, tales como (Tiberghien, ibid.):

“el material transmite el calor más o menos rápido; el calor se propaga, se mueve dentro del material más o menos rápido”.

Decir más simplemente que “el material es un conductor o un aislante” no garantiza que el problema de transferencia es convenientemente comprendido. Por ejemplo, un alumno que había escogido la hoja de aluminio para guardar el rodamiento de una metra fría se explica así (Tiberghien, ibid.):

Porque el metal conserva el frío, el aluminio es un conductor.

..... Si porque él toma la temperatura de la metra... y él lo guardará durante largo tiempo”. (12 años)

La cuestión de simetría del rol entre los sistemas interactúan (la fuente “caliente” y la fuente “fría”) es uno de los puntos más críticos....

Cambios de estado

Mientras tanto, consideremos los cambios de estado. Parece que la estabilidad de la temperatura durante un cambio de estado no es conocido antes de la enseñanza, y que eso crea una real sorpresa cuando es observada. Después de la enseñanza, ese punto parece ser ampliamente aceptado, al igual que es captado que una cierta estabilidad es afectada por la tasa de calentamiento, según dos estudios (Driver & Russel, 1981; Andersson, 1979).

Parece igualmente difícil admitir que, una vez que el cambio de estado terminó, la nueva fase se comporta normalmente, es decir que la temperatura aumenta fuera de un calentamiento. Tiberghien (1984, 1985) indica que dentro de un grupo de alumnos a los que se les solicitó de explicar por qué un pedazo de zinc colocado dentro de un horno a 1000°C tenía valores sucesivos de la temperatura de 30°, 70°, 200°, 420°, 420°, 420°, 20% entre ellos respondió, que “es la más alta temperatura posible para el zinc”, y eso después de la enseñanza de los cambios de estado. Para los valores ulteriores de la temperatura, 70% de las predicciones eran que “la temperatura queda siempre en 420°”. Los alumnos suecos con frecuencia piensan igualmente que 100°C es “la temperatura máxima del agua” (Andersson, 1979).

Yo propongo las siguientes hipótesis:

- Este rechazo para admitir un comportamiento normal para la fase obtenida luego de un cambio de estado podría depender de los fenómenos considerados. En particular, los niños podrían probablemente admitir que el hecho de calentar un cubo de hielo al principio lo hace fundirse, después arrastra un aumento de la temperatura de agua obtenida, contrariamente de lo que dicen del zinc.
- Eso podría sostener el hecho que las temperaturas muy elevadas y muy bajas no se imaginan fácilmente. En efecto, los valores extremos no pueden ser colocados en relación a la experiencia personal de un abanico de temperatura más restringida.
- Eso podría ser debido a una ruptura en la manera de razonar. El cambio de estado obliga a dejar de un lado las reglas válidas en la “categoría restringida” de los fenómenos, a saber: si un cuerpo es calentado, su temperatura aumenta. Eso puede parecer arbitrario a los niños y desanimarlos de volver a esta regla desde que ellos consideran la fase obtenida luego del cambio de estado.

En la ausencia de todo soporte experimental, es posible decir mucho más sobre esas hipótesis. Pero, dentro de la perspectiva de enseñanza-aprendizaje, el último énfasis sugiere tomar lo más seriamente posible el argumento de Erickson (1985) a favor de presentaciones de explicaciones, por ejemplo sobre el punto de vista de la ebullición del agua:

“...Esta comprensión parece necesitar algunas explicaciones sobre lo que se produce dentro de un líquido, al nivel molecular, de manera de dar un sentido a la invariabilidad de la temperatura.”

Así, para las transferencias simples de calor como los cambios de estados, “aprender de los hechos” parece insuficiente para esperar una comprensión coherente de los conceptos en juego. Esta idea conduce a analizar los tipos de razonamiento que intervienen comúnmente dentro de ese campo.

Formas comunes de razonamiento concernientes a los sistemas

Aspectos transversales del razonamiento: primeros indicios

Uno de los principales resultados relativos a las ideas de los alumnos sobre el calor y la temperatura es que, desde que ellos analizan una transferencia de calor, los niños tienen dificultades para tomar en cuenta a la vez las fuentes de calor y frío. Esto puede estar aproximado a la duda de los niños a considerar los dos lados de un pistón en movimiento cuando analizan las fuerzas ligadas a la presión que actúa sobre ese objeto (Séré, 1985; Méheut, 1996). Parece que dos causas sean muchas para el efecto dado. Al final de su libro sobre las ideas de los alumnos en ciencia, Driver y al., (1985) escribió la siguiente conclusión: “Esas ideas recurrentes... derivan frecuentemente de un razonamiento causal lineal o una sola acción produce un solo efecto”. Andersson (1986), Gutiérrez y Ogborn (1992) han destacado igualmente la estructura casual simple comúnmente observada dentro de los razonamientos de los aprendices.

Transversal por vinculación a los contenidos científicos propiamente dichos, esta tendencia de razonamiento es tanto más resistente a la enseñanza (Viennot, 1993^a). Así, a propósito de la transferencia del calor el largo de una barra de metal (Rozier 1987, Viento, 1996), los estudiantes del nivel universitario utilizan un “razonamiento secuencial” – que es extremadamente común en electricidad (ver también el capítulo C2) – es decir que ellos razonan como si el calor fue algo que partía de una fuente caliente a lo largo de una barra, sin tener en cuenta eso que está situado en aval. Como los niños tienen las más grandes dificultades para tomar en cuenta a la vez y sobre el mismo plan la zona de “partida” (caliente) y la zona “de llegada” (fría) del calor fuera de la transferencia.

De hecho, Rozier (ibid.) observó, a nivel de la universidad, una enorme resistencia de tendencias comunes que se unen al “razonamiento causal lineal” y que ella ha analizado como sigue.

El análisis casi estático de los sistemas

Recordemos en principio algunos de los aspectos principales de la teoría admitida. El análisis de los sistemas pone en juego muchas magnitudes físicas. Desde que los sistemas en muchas variables son transformados, ellos pueden, bajo ciertas condiciones, ser analizadas de forma casi estática. Esto significa que las magnitudes que garantizan el estado del sistema evoluciona *simultáneamente* bajo el contraste permanente de leyes simples. “Simple” excluye las leyes de propagación de un lado del sistema a otro. En dos términos, “casi estático” y “propagativo” son dos adjetivos exclusivos. Por ejemplo, en termodinámica, una transformación casi estática de un gas perfecto es tal que, a cada instante, la relación $PV=nRT$ (con las notaciones clásicas) se comporta como si el sistema era de manera permanente al equilibrio termodinámico. Ese tipo de análisis puede ser opuesto a las tendencias de razonamientos descritos más abajo, ilustrados por los ejemplos en termodinámica.

Reducción del número de variables

Una tendencia extremadamente general y bien conocida dentro de la resolución de problemas en muchas variables pertinentes. Eso es ilustrado en particular por un test propuesto a los alumnos de universidad (Rozier, 1987; Rozier & Viento, 1991). Se presenta una compresión adiabática de un gas perfecto. Se indicó que “la presión y la temperatura aumentan”. La cuestión es “puede usted explicar por qué, en términos de partículas?” Cerca de la mitad de los alumnos de niveles variados en la universidad han dado respuestas tales como:

“El volumen disminuye; por lo tanto tiene muchas moléculas por unidad de volumen y la presión aumenta”

“El volumen disminuye, por lo tanto las moléculas son más cercanas las unas de las otras; por lo que hay más choques y la presión aumenta”

Esas respuestas pueden ser resumidas de manera general de la siguiente manera:

V disminuye, n aumenta, luego P aumenta.

En lo que concierne a la presión, esas respuestas reflejan una vinculación exclusiva entre esa magnitud y la densidad de las partículas (n). El otro factor pertinente, la velocidad cuadrática media de las partículas, es ignorada. Eso constituye *una asociación preferencial* entre la presión y la densidad de las partículas, en menoscabo del aspecto cinético. De esta forma, el rol de la temperatura es ignorado. Méheut (1996) ha observado igualmente que los alumnos tienen más dificultades para comprender la dependencia entre la presión y la “fuerza de colisión” (ligada a la velocidad de las partículas) que entre la presión y la densidad de las partículas.

Razonar con tales cadenas lineales para los problemas de variables múltiples conduce de hecho a los argumentos *ad hoc* y a las incoherencias. Por ejemplo, uno no puede “explicar” a la vez, la débil presión en altitud por la implicación “la densidad (n) de las partículas disminuye entonces la presión P disminuye” y la manera como funciona un balón en el aire caliente por “aire caliente en el balón por lo tanto la densidad (n) de las partículas disminuye”, sin exponerse a una contradicción relativa a la presión dentro del balón de aire caliente, que no es evidentemente inferior a la presión exterior. En los dos casos, utilizando la relación $P=nkT$ (válida para los gases perfectos, donde k es la constante de Boltzmann), es necesario especificar lo que se produce por la tercera variable pertinente, es decir la temperatura absoluta T. La implicación “la densidad (n) de las partículas disminuye, la presión p disminuye – no es válido sino para una temperatura constante. En altitud, n y T

son más débiles que al nivel del mar, entonces que en de un balón de aire caliente, no es más débil, pero T es más elevado que el aire exterior, eso explica que la presión interna P no es más débil que en el exterior del balón.

Otra manera común de reducir el número de las variables efectivamente consideradas es de combinar dos variables como si ellas tuvieran dos facetas de una misma noción. “La agitación térmica” es una de las nociones más frecuentemente utilizada por los alumnos y por los autores de los manuales escolares, especie de conglomerado entre dos magnitudes, la velocidad de las partículas y la distancia media entre ellas. De las afirmaciones tales como “las partículas tienen necesidad de más lugar para agitarse”, “en los sólidos, las partículas no pueden moverse”, “la agitación térmica es más intensa en los gases”, son frecuentemente observados (Rozier & Viento, 1991). De hecho, “la agitación térmica”, comprendida como la energía cinética media de las partículas, es solamente una función de la temperatura (desde que la termodinámica clásica es válida), por tanto la distancia media entre las partículas no es un parámetro pertinente en este punto. Tiene el equilibrio térmico entre un gas y un líquido por ejemplo, la temperatura y por tanto “la agitación térmica” son los mismos en las dos fases.

Causalidad y cronología: el razonamiento causal lineal

Otro aspecto de razonamiento común es despejado por Rozier (ibid.). Requiere “de explicar” el aumento del volumen resultante del calor (cuasi estático) isobaro de un gas, cerca del 40% de la muestra de los estudiantes universitarios han dado respuestas del tipo siguiente:

“La temperatura del gas aumenta. Uno sabe que $PV = nRT$, por lo tanto el volumen constante, la presión aumenta: el pistón es libre de deslizarse, por lo tanto él se desplaza y el volumen aumenta”.

La estructura lineal de esta respuesta es evidente:

Aprovisionamiento de calor _____ T aumenta _____ P aumenta _____ V aumenta.

Más sorprendente es la contradicción introducida entre esta respuesta y las dadas, donde la presión es constante.

Esta respuesta aparentemente contradictoria puede ser comprendida si los acontecimientos descritos no fuesen considerados como simultáneos (como en un análisis casi estático). En efecto, algunos alumnos estipulan claramente que hay dos etapas en este argumento:

Primera etapa: Aprovisionamiento de calor _____ T aumenta _____ P aumenta, el volumen queda constante.

Segunda etapa: P aumenta _____ V aumenta, el pistón es entonces liberado.

Esto sugiere reconsiderar el status de las flechas en los argumentos lineales. Esas flechas no significan solamente “por lo tanto” sino también “enseguida”. La palabra totalmente ambivalente “entonces” (donde las palabras equivalentes (then) en inglés, “entonces” en español) favorece esta mezcla entre esos niveles lógico y cronológico.

Para resumir los resultados de Rozier, es frecuentemente observado un “razonamiento causal lineal”

Su estructura es de una cadena, en la cual cada fenómeno es especificado por una sola magnitud, y donde la causalidad representada por una flecha tiene un contenido lógico y

cronológico. En su ensamblaje, tales argumentos parecen historias estableciendo acontecimientos simples y episodios sucesivos.

El estado estacionario: un caso olvidado

Comprender los fenómenos como sucesivos conduce a considerarlos como temporales, donde se encubre un razonamiento en términos de permanencia. Esto es lo que observa Rozier. Nunca se ha encontrado un argumento que explique un aumento de la temperatura en un gas comprimido de manera adiabática, “los choques entre moléculas producen calor”, ni por los alumnos ni por los maestros, al resultado a largo término de ese fenómeno supuesto, es decir una explosión. Los estados estables de desequilibrio, por ejemplo dentro de una presión o dentro de un *bolómetro*, frecuentemente hacen surgir comentarios tales como: “entra más energía de la que sale, por lo tanto la temperatura es más alta”. Eso que resultó a largo término de flujos no equilibrados, además jamás es propuesta la expresión una explosión. Este centro implícito sobre una fase de cambio bloque un control de validez que reposaba sobre el análisis de la evolución en largo término del sistema (ver también Viento, 1993b).

La importancia del porcentaje de cambio en los razonamientos de los estudiantes es subrayada por Kesidou y al. (1995). Estos autores reportan los casos de los alumnos cuyas edades oscilan entre 15 y 16 años que niegan la igualdad de la temperatura para un trozo de metal a 20° C ubicado en el agua a 80°C, indicando que las tasas de variación de la temperatura son diferentes para dos cuerpos en contacto. Esto muestra cuanto puede ser difícil reconciliar las ideas sobre los cambios y la de un estado final estacionario.

En resumen, es común explicar los estados estacionarios con los argumentos implícitamente centrados sobre una fase particular del cambio, o de centrarse sobre una fase de cambio sin considerar de forma coherente el final de la historia. En consecuencia, el rol jugado por el tiempo parece totalmente frecuente oculto en los argumentos de los alumnos. Retomemos por ejemplo el comentario citado antes: (dentro de un horno a 60°C) “los clavos están a 60°C porque el metal calienta más rápido”. Manifiestamente (según el autor de esta capítulo), los alumnos que han dado esta respuesta se centraron en una *tasa de cambio* y no en el estado de equilibrio final (*permanente*), sin hacer distinción clara entre esos aspectos.

En conclusión: algunas líneas directrices para la selección de los objetivos de enseñanza

Los principales aspectos del “razonamiento causal lineal” analizados arriba parecen ser ampliamente compartidos por los estudiantes universitarios y por los niños. Por lo tanto, razonar de manera coherente según las reglas reconocidas de la termodinámica necesita dos componentes esenciales que están en contradicción con esas tendencias comunes de razonamiento:

1. identificar los sistemas pertinentes y sus características para predecir las transferencias de tipo calor antes de asignar simplemente a objetos de propiedades intrínsecamente ligadas a una de las categorías: “caliente” o “frío”; más generalmente, considerar muchas causas para un efecto, contrariamente al razonamiento causal lineal.

2. distinguir claramente lo que concierne de una parte a los cambios y de otra parte los estados estacionario.

Es sin embargo más importante, fuera de la concepción de una secuencia de enseñanza, especificar precisamente los objetivos conceptuales correspondientes .

Por supuesto, esos objetivos se deben acordar con el análisis de los fenómenos que da la física aceptada. Pero esta compatibilidad esta en buscar a un nivel que queda por definir. Los maestros son entonces confrontados a las selecciones.

Así, la cuestión de las explicaciones a proponer a los alumnos es un problema crucial. Dada la complejidad de los fenómenos termodinámicos, se puede sugerir adoptar las actitudes siguientes (Roziar & Viennot, 1991):

Una de ellas es estar extremadamente prudente en cuanto al grado “de explicación” efectivamente propuesto, y de especificar que los argumentos propuestos no llegan a explicar. Por ejemplo:

“Los sólidos se dilatan cuando son calentados (o se comprimen cuando se enfrían), pero nosotros no podemos (todavía) explicar por qué. Saber que “la agitación térmica” (energía cinética media de las partículas) aumenta (o disminuye) en ese caso no es suficiente para explicar por qué el sólido se dilata (o se comprime). En efecto, las partículas pueden vibrar más o menos intensamente, y quedar alrededor del mismo lugar sin que su posición media no derive”.

Se puede trabajar igualmente con las explicaciones que están centradas en *una* variable predominante, sin al menos esconder los peligros de su extensión, sin precaución en otros casos. Por ejemplo, la idea que “en alta altitud, hay menos moléculas, y por tanto la presión es más débil” necesito agregar: “ese razonamiento funciona solamente si las moléculas tienen (poco cerca, admitimos) la misma velocidad media en las dos situaciones comparadas”.

Ese razonamiento cualitativo más “cerrado” puede ser considerado como muy exigente para una población dada, pero de hecho el grado de coherencia requerido puede ser seleccionado en un continuum que se extiende, de conocimientos factuales a la teoría aceptada. Por ejemplo, se puede juzgar apropiado, para una población dada de niños, enseñar que al nivel del mar el agua hierve a 100°C, y eso sin la menor explicación. Pero si se introducen claramente ciertos factores que no afectan la temperatura de ebullición, tales como la cantidad de agua o la intensidad del calentamiento, ya esto constituye el principio de un razonamiento de muchas variables.

Siempre en un espíritu de adaptación realista del alumno, se puede constatar la oportunidad de proponer una distinción clara entre calor y temperatura. Pero si se decide revelar ese desafío, es necesario decidir cual de los objetivos conceptuales siguientes es fijo: el carácter intensivo (respectivamente extensivo) de la temperatura (respectivamente calor), la identificación de los sistemas y de los parámetros pertinentes, la distinción entre los fenómenos de la “categoría restringida” (solamente una transferencia de calor y una variación de la energía cinética) y los otros fenómenos (por ejemplos, los cambios de estados).

Es más, las actitudes sugeridas atrás conciernen las explicaciones y las reservas correspondientes, son los componentes intrínsecos del modelaje científico. Desde que uno selecciona los objetivos de una enseñanza, se puede decidir o no de dar explícita la cuestión del modelaje. El lector encontrará en los capítulos E3 (Méheut) y E4 (Psillos) de este libro algunos análisis de experiencias relativas a las secuencias de enseñanza centradas en el modelaje. Esos estudios constituyen un complemento necesario en este capítulo.

Referencias bibliográficas

Andersson, B. (1979). Some aspects of children understanding of boiling point. in Proceedings of an International Seminar on Cognitive Development Research in Science and Mathematics, University of Leeds, Leeds

Andersson, B.(1986). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils preconceptions in science. European Journal of Science Education, 8(2), 155-171.

Driver, R. & Russel, T. (1981). An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of children aged between 8 and 14 years, unpublished manuscript, University of Leeds, Leeds.

Driver, R., Guesnes, E. & Tiberghien, A. (1985). Some Features of Children's Ideas and their Implications for Teaching, In R. Driver, E. Guesnes, & A. Tiberghien (Eds.), Children's Ideas in Science. (pp.193-201). Milton Keynes: Open University Press.

Engels, E.(1982). The development of understanding of selected aspects of pressure, heat and evolution in pupils aged between 12-16 years. Unpublished PhD thesis, University of Leeds, Leeds.

Engel-Clough, E. & Driver, R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together personal and scientific views. Physics Education, 20, 176-182.

Erickson, G. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. Science Education, 64(3), 323-336.

Erickson, G. (1985). Heat and Temperature, part A, In R. Driver, E. Guesnes & A. Tiberghien (Eds.), Children's Ideas in Science. (pp.52-84). Milton Keynes: Open University Press.52-84

Gutiérrez, R. & Ogborn, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. International Journal of Science Education ,14(2), 201-220.

Kesidou, S., Duit, R. & Glynn S.M. (1995). Conceptual Development in Physics: Students' Understanding of Heat. In S.M. Glynn and R. Duit (Eds), Learning Science in the Schools. (pp.. 179-198). Mahwah NJ: Lawrence-Erlbaum.

Lijnse, P., Licht, P., de Vos, W. and Waarlo, A.J. (Eds). Relating macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education. Proceedings of a seminar. CD-β University of Utrecht, Utrecht.

Méheut, M. (1996). Designing a learning sequence about a prequantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer simulation. International Journal of Science Education (to be published).

Rozier S. (1987). Le raisonnement lineaire causal en thermodynamique classique élémentaire, unpublished thesis, University of Paris 7.

Rozier S. & Viennot, L. (1991). Students' reasonings in thermodynamics. International Journal of Science Education, 13(2), 159-170.

Séré, M.G. (1985). The gaseous state, In R. Driver, E. Guesnes & A. Tiberghien (Eds.), Childrens' Ideas in Science. (pp.105-123). Milton Keynes: Open University Press.

Stavy & Berkovitz, B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. Science Education, 64 (5), 679-692.

Strauss, S. (1981). U-Shaped Behavioural Growth Academic Press: Orlando and London

Tiberghien, A. (1984). Critical review on the research aimed at elucidating the sense that the notion of temperature and heat have for students aged 10 to 16 years, In Research on Physics Education, Proceedings of an International Workshop, la Londe les Maures, .CNRS, Paris, 75-90

Tiberghien, A. (1985), Heat and Temperature, part B, In R. Driver, E. Guesnes & A. Tiberghien (Eds.), Childrens' Ideas in Science. (pp. 52-84). Milton Keynes: Open University Press.

Viennot, L. (1993a). Fundamental patterns in common reasoning: examples in physics, In P.Lijnse (Ed.), European Research in Science Education, Proceedings of the first PhD Summerschool. (pp.33-47). CD-β University of Utrecht, Utrecht.

Viennot, L. (1993b). Temps et Causalité dans les raisonnements des étudiants en physique, Didaskalia, 1, 13-27.