
DIFICULTAD EN EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA: LA ESTRUCTURACION DEL MUNDO MATERIAL EN FÍSICA Y EN LA VIDA COTIDIANA.

ANDRÉE TIBERGHEN

Conseil National de la Recherche Scientifique IRPEACS Lión, FRANCIA.

Comunicación al coloquio del CIRADE: "Obstáculo epistemológico y conflicto socio cognitivo.

Construcción de saberes. Obstáculos y conflictos", bajo la dirección de Nadine Bednars y Catherine Gamier. Agencia de Arc inc (Eds.) 1989. pp. 228-239.

DIFERENTES SABERES

Como dijo Lévy Strauss (1962), "hay dos modos de pensamiento científico, el uno y el otro funcionan, ciertamente no a estados desiguales del desarrollo del espíritu humano, sino dos niveles estratégicos científicos: uno aproximadamente ajustado a aquél de la percepción y de la imaginación, y el otro desplazado; como si los informes necesarios que son objeto de toda ciencia - ya sea neolítica o moderna -, pudiesen ser alcanzados de dos maneras diferentes, una muy próxima a la intuición sensible, la otra más alejada.

Toda clasificación es superior al caos; aún una clasificación a nivel de las propiedades sensibles es una etapa hacia un orden racional".

Retomaremos por cuenta nuestra este análisis, no para asimilar el alumno al hombre del neolítico, sino para introducir la cuestión de los pasajes entre estos saberes.

Actualmente, el alumno del primer curso de enseñanza secundaria francesa (12 años) aborda por primera vez un estudio de la física. A propósito del mundo material, que es el campo de referencia de la física, el

alumno no ha tenido, pues, a su disposición más que el saber común ¹. Debe hacerse notar que este alumno conoce igualmente un funcionamiento del saber enseñado gracias a su experiencia en la escuela primaria.

Analizaremos cómo los alumnos estructuran un conjunto de situaciones de calentamiento y aislamiento térmico, comparándolo con el saber aprendido. Estudiaremos seguidamente la evolución de los alumnos con la enseñanza y propondremos unas etapas de aprendizaje y algunas condiciones de este aprendizaje.

Utilizaremos los resultados de trabajos que se refieren a las interpretaciones prevalentemente de situaciones por parte de los alumnos, para las cuales el físico utiliza las nociones de temperatura y de color ². Nos apoyaremos en dos trabajos de investigación a propósito de un curso sobre calor-temperatura en 2º año de secundaria (13 años).

¹En Francia pocas escuelas primarias abordan realmente una enseñanza de la física.

²Esto no excluye, en ningún modo, que el físico utilice otras magnitudes diferentes de las de calor y temperatura según las situaciones. Estas situaciones no son interpretadas necesariamente con las mismas relaciones funcionales.

SABER ENSEÑADO³

Objetivos generales y contenido de la enseñanza

Las nociones básicas son:

-la temperatura introducida por el instrumento de medición. La temperatura es aquello indicado por el termómetro. Este indica la temperatura de un objeto o de una parte de un objeto.

-el calor definido por una propiedad, la transmisión en relación con la noción de temperatura: se transmite (espontáneamente) entre dos objetos a temperaturas diferentes, del objeto que tiene la temperatura más alta hacia aquél que tiene la más baja.

-conductores y aisladores están ligados a la noción de calor; la conducción es una propiedad de los materiales; diferentes materiales conducen más o menos el calor.

Estas nociones comportan dos principios:

-Varios objetos en contacto en una misma habitación tienen la misma temperatura (principio del equilibrio térmico).

-El calor va (espontáneamente) del objeto a mayor temperatura al objeto a menor temperatura (resultado de los principios de termodinámica).

Situaciones estudiadas:

-situaciones de calentamiento con un intermediario material entre la fuente y el lugar donde el efecto es observado.

-situaciones de calentamiento de un recipiente (cacerola, por ejemplo);

-situaciones de aislamiento térmico de una casa;

³Nosotros no discutiremos aquí los límites de un tal contenido de enseñanza, de su apartamiento con respecto al saber culto, ni de su lugar del currículum.

-situaciones de aislamiento térmico de un objeto.

Según las preguntas que se proponen estas situaciones pueden, de hecho, ser interpretadas de maneras diferentes³. Cualesquiera sean los puntos de vista escogidos, se utilizan los principios de termodinámica y así: "la transferencia de calor se hace espontáneamente del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta el equilibrio de temperaturas". Con todo, las magnitudes que permiten prever la evolución de las temperaturas de diferentes sistemas pueden ser diferentes de una situación a otra, y los principios y relaciones funcionales, también.

APROXIMACIONES DE LOS ALUMNOS

Las aproximaciones de los alumnos son analizadas con referencia al saber enseñado, para permitir establecer etapas de aprendizaje.

Interpretaciones mayoritarias.

Situaciones de calentamiento de objetos bien identificados.

Estas situaciones son encontradas cuando se cocina: calentar agua en una cacerola encima de un fogón, cocción de un plato en el horno... Cubren también las situaciones utilizadas en clase, por ejemplo, varias

³Teniendo en cuenta sus usos (calentar o aislar) se pueden considerar dos tipos de interpretación, uno en términos de balance energético (o térmico) y el otro en términos de mecanismo. Para el balance, se considera por ejemplo la energía utilizada para elevar la temperatura y/o cambiar de estado y/o transformar la materia (reacción química), y se calcula el rendimiento o la potencia o el calor suministrado o cedido siguiendo los sistemas escogidos. Para estudiar los mecanismos de transferencia, se utilizan las magnitudes características de los materiales, geometría, etc... junto con relaciones funcionales y modelos utilizando parámetros ad hoc.

varillas de diferentes materiales calentadas en un extremo y de las cuales se observa el efecto del calentamiento en el otro extremo gracias a, por ejemplo, la fusión de una bolita de cera o a la evaporación de una gota de agua.

Hemos estudiado la interpretación de estas situaciones por alumnos de niveles diferentes (4º o 5º año de primaria, 10 años y 2º año de secundaria, 13 años) a partir de entrevistas individuales.

Las preguntas a partir de las cuales el alumno trata estas diferentes situaciones llevan a los hechos o sucesos. (¿Las bolitas se fundirán al mismo tiempo?...). Las cuestiones intermedias son del tipo: ¿qué te hace decir que ...?, y se sitúan al nivel del "cómo sucede".

Las interpretaciones de referencia establecida a partir del saber enseñado son:

-a nivel de sucesos: por ejemplo en el caso de un camping, gas calentando una cacerola llena de agua: la llama está más caliente que la cacerola, ella calienta las zonas de la cacerola más próximas, cuáles calentarán las otras menos calientes, cuáles calentarán el agua;

-a nivel de modelo:⁴ la temperatura de la llama es superior a la de la cacerola, el calor se propagará pues de la llama a la cacerola, y en su interior, el calor se propagará de los lugares a mayor temperatura hacia los de menor temperatura y también hacia el agua⁵.

Estos dos niveles de lectura son dependientes: la lectura de los sucesos es guiada por el modelo subyacente⁶ Este modelo conduce a seleccionar los sucesos pertinentes.

Para la mayoría de alumnos de primaria y secundaria, se encuentra esencialmente

⁴ A nivel de saber enseñado, la noción de modelo no se introduce: objeto y sistema son identificados.

⁵ No se tiene en cuenta la convección.

⁶ En situaciones más complejas hay interacción entre dos lecturas.

(Tiberghien et al. 1978, Tiberghien 1984) que:

- los objetos y sucesos seleccionados son: el instrumento de calentamiento que calienta, y los objetos (intermediarios y receptores) que se calientan. El objeto que se calienta tiene en general un *papel pasivo* en el sentido que, o bien sólo transmite la acción de la fuente de calor, o bien se modifica (aspecto o estado de calor). Por ejemplo: "(la varilla metálica) se calienta un poquito en un extremo, y luego se calienta, se calienta, y después está caliente". Aquí el papel de la varilla es calentarse, el verbo calentar se toma, al menos en el primer caso, en el sentido de calentarse, y no de calentar (dar calor).

- Los alumnos no se sitúan estrictamente en el nivel de los sucesos.

- Algunos invocan una sustancia (vapor, aire) creando una continuidad material entre la fuente y el objeto receptor. Por ejemplo, a propósito de una varilla metálica calentada en un extremo y sobre la cual se han depositado a intervalos regulares bolitas de cera, un alumno de 10 años dice:

"(El trocito de cera) ciertamente se fundirá porque ... está el fuego y está el aire muy caliente que se extiende, como una flor despliega sus hojas".

- Otros, más numerosos, invocan una entidad, el calor, que no tiene como referente un objeto identificado, sino que es un mediador entre la fuente y el objeto. Por ejemplo:

"(el calor) avanza y viene hasta aquí y, entonces, al llegar hasta aquí hace fundir el trocito de cera ..., después llega hasta aquí para fundir este otro".

O para las cucharas introducidas en agua caliente: "El calor se propaga quizás menos rápido en la madera que en el metal".

Esta noción de calor se aproxima a la del saber enseñado en cuanto ella no tiene un referente material, en que el calor se des-

plaza, y en que para ese desplazamiento hay un soporte material. Hay, sin embargo, diferencias esenciales. Esa noción no está ligada a la noción de temperatura, la transferencia no depende de una diferencia de temperatura, sino sólo de la fuente. Además, es él quien actúa (hace fundir), mientras que la fusión depende de la temperatura. Esa noción de calor está integrada en una interpretación a nivel de sucesos.

Este análisis nos conduce a proponer un modelo de una conceptualización de los alumnos que los lleva a seleccionar así los objetos y sucesos y en algún caso a utilizar la noción de calor. Suponemos una estructura causal simple: el instrumento de calentamiento es la causa que calienta; los otros objetos son receptores que se calientan o se transforman (fusión, ebullición, cambio de aspecto ...). Los diferentes objetos tienen un papel único, pasivo o activo; el instrumento de calentamiento (o la fuente reconocida como tal) actúa (da, suministra), los otros objetos son receptores. El calor responde a la necesidad de un intermediario entre la causa (fuente de calor) y el efecto (objeto calentado).

Calentamiento de una habitación por un radiador.

En este caso, la cuestión inicial se sitúa a nivel del cómo (¿cómo un radiador situado en un lugar dado de la habitación puede calentarla toda entera?). Las interpretaciones de referencia son parecidas, solamente hace falta añadir la transferencia del aire por convección:

Esta situación conduce a los mismos tipos de interpretación que los precedentes. Dos son las explicaciones más frecuentemente encontradas: una, en términos de calor suministrado por el radiador que calienta toda la habitación; la otra utiliza el aire como intermediario. Por ejemplo:

"Está el calor que se desprende del radiador y se dispersará por toda la habitación".

"El aire caliente se difundirá por toda la habitación".

El modelo de conceptualización que hemos propuesto es también aplicable a esta situación.

Situaciones de aislamiento térmico de un objeto

El objeto a aislar puede ser sólido, se trata entonces de escoger un material para envolverlo; si el objeto es líquido, debe escogerse el recipiente adecuado.

Estas situaciones han sido estudiadas sobre un gran número de alumnos a la vez por cuestionario y por estudios de caso (entrevistas individuales y en el curso de una clase experimental). Las preguntas iniciales trataban sobre la elección de los materiales elegidos.

Las interpretaciones de referencia son:

- a nivel de sucesos: (caso de una bebida caliente) la bebida, que está más caliente que el recipiente y el aire ambiente, va a calentar el recipiente, que a su vez calentará el aire ambiente. La bebida continuará caliente más o menos tiempo según el material del recipiente.

- a nivel del modelo: hay una diferencia de temperatura entre la bebida y el aire ambiente; habrá pues transferencia de calor. Esta transferencia será más o menos importante (en su rapidez) según la naturaleza del material entre la bebida y el aire ambiente.

La mayoría de las explicaciones afirman solamente que un material dado tiene la cualidad de aislar:

"El hierro conserva mejor" o "El papel de aluminio guarda mejor el frío".

Esta cualidad es a menudo justificada sea:

- por el hecho se relacionar con el uso: "(El papel de aluminio) se utiliza para los alimentos para que no se oxiden en la nevera, es decir, para protegerlos"

- por el hecho de relacionar con otra cualidad: "un vaso de lata es más frío que uno de vidrio (así pues, guardará el frío)" "porque el plástico cuando lo tocas no está frío."

Se puede señalar que la acción del aire exterior es muy raramente considerada.

Varias conceptualizaciones aparecen:

- una es simple, se trata de un "postulado": un objeto o un material posee, por esencia, una cualidad;

- la vinculación entre propiedades o de hechos; hay concordancia, por ejemplo entre el uso y la propiedad de guardar el calor o el frío;

- la combinación de una propiedad o de una cualidad establecida por una o la otra conceptualización precedentes con una relación causal: si el objeto o el material tiene la propiedad X entonces calienta o enfría o guarda el calor o el frío.

Se puede, sin duda, inferir estas diferentes conceptualizaciones de producciones de un mismo individuo en diversas situaciones o momentos.

Para todas, estas conceptualizaciones, el material u objeto que contiene, juega el papel de actor, es el único que actúa.

Situaciones de aislamiento térmico de la casa

La explicación mayoritaria es del tipo "el material retiene, deja entrar o salir el aire frío más o menos bien". En este caso, la mayoría de alumnos consideran la transferencia de aire entre el exterior y el interior; así como para algunos la transferencia de agua (humedad). En este hecho, se tiene en cuenta una acción del exterior sobre el interior. Por ejemplo: "Esto impide entrar al frío ... Es hermético, y el aire entonces no entra".

Se encuentran igualmente muchas explicaciones en términos de guardar, conservar el

frío, la calidez o el calor. Por ejemplo:

"(La moqueta, el polistireno) tienen unas propiedades que les permiten guardar el calor o el frío más tiempo, mejor".

Proponemos las mismas conceptualizaciones que la situación de aislamiento precedente. Aún cuando el calor es evocado, juega un papel pasivo respecto al material.

Estructuración de las situaciones:

Las interpretaciones dadas por los alumnos nos llevan a proponer dos categorías de situaciones: aquellas de calentamiento por una fuente reconocida habitualmente como tal. En efecto, como muestra la tabla 1, la mayoría de las interpretaciones hace referencia a la acción de la fuente: sea directamente sobre el objeto a calentar o sobre una serie de materiales intermediarios que transmiten la misma acción que la fuente (calentar); sea mediante un intermediario, el calor que se desplaza en los diferentes materiales. Es solamente la fuente quien juega el papel activo. Aquellas de aislamiento térmico para las cuales la mayoría de las interpretaciones son en términos de acción del material que constituye el recipiente del objeto a aislar. Este material tiene ya sea el papel de guardar o conservar el estado de calidez sea el de impedir el paso del aire o del calor. Aquí es el material quien juega un papel activo, contrariamente a las situaciones de calentamiento.

En las dos situaciones está considerado el calor; pero aún así, el del papel de los objetos en presencia. En las situaciones de calentamiento, es el calor de la fuente; para la aislación, es el material quien permite o impide el paso de calor.

La diferencia entre estas categorías de situaciones está confirmada por las interpretaciones dadas por los alumnos después del curso. Consideramos las respuestas de un alumno dadas en tres situaciones diferentes durante la última entrevista, realizada después del curso. - Caso de una placa

SITUACION	PAPELES Y ACCIONES DE LOS OBJETOS		
	Actor	Acción	Receptor
Calentamiento de determinados objetos. Calentamiento de una habitación.	Fuente de calor.	Calentar o dar calor.	Objetos a calentar.
Aislación de objetos. Aislación de una casa.	Objeto recipiente, o material constituyente.	Guardar o impedir el paso de calor.	Objetos a aislar.

metálica calentada en su centro por una llama de bujía o vela: "El calor va a calentar la placa ... el calor va por todas partes". - Caso de cucharas de diferentes materiales introducidas en agua caliente: "El metal se calienta rápido ... El calor entra, calienta más rápidamente el metal que la madera ... La madera no se calienta bien porque es un mal conductor del calor" (el entrevistador hace entonces la pregunta: ¿y si se pusieran las cucharas en el hielo?) "la cuchara de metal se enfriaría más rápidamente que la de madera, porque ésta es siempre mala conductora, tanto del calor como el frío". Caso de elección de un material para envolver una bolita muy fría o muy caliente: elección, para la bolita fría, papel de aluminio "porque el papel de aluminio guarda el frío". O aún, siempre durante una entrevista fina, pero a propósito de una experiencia concebida para escoger entre dos placas metálicas cuál sería la más aislante, otro alumno dice: "La transmisión de calor es más rápida (en esta placa) ... pero esto demuestra que es aquélla quien permitiría guardar el frío o el calor más tiempo".

Estas respuestas ilustran que para ellos, la situación de aislación no pone en juego las mismas propiedades de los materiales: los fenómenos son diferentes, no hay necesidad de coherencia entre las interpretaciones de estos dos fenómenos. En estas interpretaciones los papeles jugados por los actores parecen esenciales, las propiedades del material respecto a la transferencia de calor del cual él es el soporte, no tiene ninguna

relación con la capacitación del mismo material de guardar el calor o el frío.

Para una mayoría de alumnos, estas dos categorías no tienen, pues, nada de común desde el punto de vista de su funcionamiento; revelan fenómenos diferentes. Se puede entonces preguntar en qué esta aproximación de los alumnos constituye un obstáculo a la apropiación de las nociones de temperatura y de calor para estos campos de aplicación, dónde se sitúan los puntos de la apropiación.

Etapas de aprendizaje

La enseñanza a los alumnos de las nociones de calor y de temperatura que permiten interpretar las diferentes situaciones con los mismos principios. Vamos a centrarnos en las diferentes adquisiciones observadas en los alumnos durante o después del curso. Recordamos solamente que el curso ha dado la oportunidad a los alumnos de tratar una o varias situaciones de cada tipo (por manipulación y aislación de objetos, por discusiones, ejercicios, por trabajos en grupo, a partir de preguntas para todos los tipos de situaciones).

Consideremos la evolución de una alumna, observada a lo largo de la enseñanza a un grupo reducido (10 personas). Ella ha realizado varias veces experimentos que contradijeron sus previsiones. Estas utilizan esencialmente las propiedades del material; para ella, el algodón guarda un objeto frío, ya que está caliente o da calor, por ejemplo:

"el material, interviene para el cubito. El recipiente de cartón guarda el calor. Para el agua caliente es la misma cosa." Desde el punto de vista del papel de los objetos se tiene el esquema siguiente:

el material $\xrightarrow{\text{actúa sobre}}$ el cubito de hielo
(o el agua caliente)

En la séptima sesión (para responder a la pregunta): cuando tocas estos dos pedazos (algodón y cobre). ¿por qué tienes la impresión de que uno es más caliente que el otro? ella realiza una experiencia en la que envuelve un cubito con una lámina de cobre, y otro con algodón. Ella prevé también una experiencia consistente en calentar estos dos mismos materiales en un extremo. Debe hacerse notar que ella sabe que los pedazos de cobre y de algodón están a la misma temperatura (experimento hecho anteriormente, y ella lo afirma al prever la experiencia). Al ver los resultados dice: "el frío del cubito se empapa en la materia (en el cobre) y se va allí el algodón lo guarda ... En aquél de allí (algodón) el material guarda más el calor que este de aquí. Aquí (cobre), el calor o el frío se irá. "Desde el punto de vista del papel de los objetos, se tiene el esquema siguiente:

el cubito \longrightarrow el material \longrightarrow
da frío recibe o transmite

En esta interpretación, hay un cambio del papel de los objetos con lo propuesto en sesiones anteriores. Esta proposición permite interpretar a la vez una situación de calentamiento y una de aislación. La proposición reconcilia la idea de guardar y de transportar. Se tiene la combinación de dos mecanismos: al principio el actor es el frío (o el calor), que se empapa en el material; éste de pasivo deviene activo al guardar el frío (o el calor). La cadena de sucesos es diferente: parte del cubito y no del material. Esta interpretación es de un nivel superior, aunque todavía alejada de la propuesta por el saber enseñado. Hacemos la hipótesis que se trata aquí de una

etapa de aprendizaje.

Este ejemplo pone en evidencia toda la importancia de la selección de los objetos, de su papel y de su relación.

La conceptualización que proponemos para este tipo de interpretación comporta un aspecto esencial: una fuente (el cubito) suministra una entidad (el frío) que se transmite directamente según el soporte. Pero lo importante no es esta conceptualización en tanto que tal, es su utilización en diferentes situaciones pero sin revelar el mismo fenómeno para el alumno. En efecto, el alumno observado ha utilizado esta conceptualización desde el principio del curso para ciertas situaciones de aislación. Este cambio de interpretación para estas últimas situaciones le lleva, de hecho, a no utilizar más las conceptualizaciones como:

- el postulado "de evidencia".
- el hecho de relacionar el uso y una propiedad.

Todavía falta recorrer. Algunos alumnos de este nivel de enseñanza han accedido a la utilización de dos magnitudes diferenciadas; por ejemplo para aislar una bolita, un alumno dice: "(la misma elección para bolitas calientes y frías: una envoltura) porque es un buen aislante." A la pregunta a propósito de la bolita caliente: ¿es que se enfriará al cabo de un cierto tiempo?, este alumno responde: Sí,... porque a la fuerza ella tomará la temperatura del aire ambiente. Esto (el calor del aire ambiente) traspasará un poco la envoltura".

Proponemos aquí dos aspectos esenciales de la conceptualización: -el cambio de nivel entre la pregunta sobre los sucesos y la respuesta donde intervienen magnitudes (temperatura, calor). Hay un desplazamiento respecto a la percepción y al razonamiento causal simple.

- la combinación de dos nociones: "tomar la temperatura" y "el calor que atraviesa o traspasa". Al final del año, la mayoría

de los alumnos con este nivel de interpretación utilizan el verbo tomar asociado a temperatura: en cuanto al calor, siempre se le asocia un verbo de movimiento. Hay pues dos nociones con propiedades diferentes. Esta nueva etapa necesita la utilización de un principio: la igualdad de las temperaturas de los objetos en contacto prolongado. Transponer tal etapa plantea la cuestión de cuales son las informaciones que concernientes al modelo físico necesariamente deben darse. Varios índices, en particular las vinculaciones entre las respuestas al cuestionario de dos preguntas, una sobre la aislación y otra sobre el equilibrio térmico, nos lleva a proponer como hipótesis que la apropiación del principio concerniente a la igualdad de las temperaturas sea un paso muy favorecedor, si nó obligado.

CONCLUSION

Cuando nos situamos en el caso en que el saber espontáneo o intuitivo pone en juego situaciones que para los alumnos revelan fenómenos diferentes, mientras que el saber enseñado suministra un mismo modelo, como condiciones de cambio proponemos que las interpretaciones a manejar en las situaciones estudiadas sean (Posner et al. 1982): disponibles, plausibles, aprovechables.

En lo que concierne a las situaciones de enseñanza que permitan franquear la etapa de una nueva estructuración de situaciones materiales, nuestro análisis nos lleva a insistir sobre dos aspectos:

- Las condiciones previas a la posibilidad, por parte del alumno, de modificar sus interpretaciones. Es necesario:

que los conocimientos a nivel sintáctico sean conocidos parcialmente (las palabras y algunas reglas)⁷, y que el alumno pueda utilizarlas en al menos una situación.

⁷El nivel sintáctico no puede ser perfectamente dominado sin la semántica; entonces, el alumno no puede dominarlo completamente.

que el alumno conozca un abanico de situaciones pertenecientes al campo experimental de referencia del modelo que acaba de aprender.

La realización de situaciones de enseñanza. Estas deben, de permitir al aprendiz ser capaz de construir epistemológicamente un mismo tipo de interpretación para dos (o más) situaciones que le revelan fenómenos diferentes cuando, de hecho, forman parte del mismo campo experimental de referencia del modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- LÉVY-STRAUSS, C. (1962) *La pensée Sauvage* Coll. Agora Paris: Librairie Plon.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982) *Accommodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change*. Science Education. Vol. 66, p.211-227
- TIBERGHEN, A. & DELACÔTE, G. (1978) "Resultats préliminaires sur la conception de la chaleur" in *Physics teaching in school. Proceeding of the 5th seminary of GIREP*. G. Delacôte Ed. Taylor & Francis: London.
- TIBERGHEN, A. (1979) Modes and conditions of learning. In *Cognitive development research in Science and Mathematics. Proceedings of an international seminar, Leeds*. University of Leeds.