

INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS

IDEAS Y REPRESENTACIONES DE LOS ALUMNOS SOBRE RADIATIVIDAD

J. M. DE POSADA Y T. PRIETO (*)

INTRODUCCION

Desde hace diez años hasta nuestros días gran cantidad de investigadores dedica su tiempo y esfuerzo en descubrir las ideas que los alumnos tienen sobre los más diversos aspectos del conocimiento humano; entre ellos, las ciencias experimentales. Los alumnos tienen ideas (correctas a veces y equivocadas en su mayoría) conceptos e ideas científicas generalmente antes de ser impartidas en las clases por sus profesores. Como es de esperar, estos preconceptos influyen decisivamente en el proceso de enseñanza/aprendizaje que tiene lugar en el aula, y como muy bien han puesto de manifiesto diversos autores, ciertas ideas previas pueden salir reforzadas; otras, permanecer después de numerosos años de estudio; algunas, mezclar las concepciones anteriores y posteriores al estudio de la materia; también pueden coexistir ambas o finalmente, prevalecer la concepción científica (Gilber, Osborne y Fensham, 1982).

El hecho de que los alumnos tienen ideas previas sobre diversos aspectos de las ciencias es poco cuestionable, como lo pone de manifiesto la innumerable cantidad de trabajos publicados sobre aspectos puntuales de las mismas. Entre otros, podemos citar: en el campo de la mecánica, las investigaciones de Viennot (1979), Sjöberg & Lie (1981), Watts (1983), Terry & Jones (1986), Terry, Jones & Hurord (1985), Ogborn (1985), Piaget (1973), Clement (1982), Driver (1985), McDermont (1984); sobre la caída de graves y la gravedad, Caramazza, McCloskey & Green, (1981) y Gunstone & White (1981); sobre el calor, Albert (1987), Andersson (1980), Erickson (1979), Strauss (1977), Tiberghien (1982), Engel (1982), Glough & Driver (1985), Driver & Erickson (1983), Osborne, Bell & Gilbert (1983) y Clough & Driver (1986); en el campo de la evolución, Drumby (1979), Deadman & Kelly (1978), Kargbo et al. (1980) y Clough & Driver (1986); respecto a ideas de los alumnos sobre la presión, Sére (1982), Clough & Driver (1986), Sére (1986), Engel (1982); sobre la electricidad, Tiberghien (1984), Solomon, Black, Oldham & Stuart (1986) y Ships-

(*) Universidad de Málaga.

tone (1984); sobre la energía, Solomon (1983) y Watts (1983); sobre la luz, Tiberghien (1984) y Villani & Pacca (1987); sobre las reacciones químicas, Champagne, Halbwachs & Méheut (1984), Andersson & Renström (1981), Schollum (1982), Pfundt (1982), Méheut, Saltiel & Tiberghien (1983), Andersson & Renström (1983a, 1983b), Andersson (1986); sobre la conservación de la masa, Andersson & Renström (1981, 1983); y sobre la radiactividad, Prieto y Posada (1988), etc.

Esta clasificación es susceptible de ser desdoblada en dos: aquellos trabajos que hacen un estudio descriptivo de los conocimientos que el alumno tiene (Solomon et al., 1985) y aquellos otros que reflejan los modelos explicativos de los discentes sobre aspectos concretos (Andersson, 1986) y que asimismo suelen reflejar las dificultades que tienen muchos de ellos para asimilarlos correctamente.

Algunos de los trabajos sugieren la generalización de estas ideas intuitivas en los alumnos, al menos, en contextos culturales análogos, generalmente anglófilos (Butts, 1985); en otros casos, se ha podido generalizar a otros ambientes culturales. Un hecho no menos importante, puesto de manifiesto, lo han constituido las conexiones muy generalizadas entre el desarrollo histórico de ciertos aspectos de las ciencias con la evolución de algunos esquemas conceptuales en los alumnos (Wandersee, 1986).

Podría decirse que se está configurando un campo que podemos denominar «básico» dentro de la ciencia de la educación, concretamente en la enseñanza de las ciencias. Básico por un doble aspecto:

- a) Es fundamental en el desarrollo de otras partes de la enseñanza de las ciencias, que debe sustentarse, si no totalmente sobre ésta, sí parcialmente; nos estamos refiriendo, entre otros, al cambio conceptual y a las investigaciones curriculares (Erickson, 1979).
- b) Su carácter es, en principio, no tecnológico o práctico, sino más bien cognoscitivo.

En el trabajo de Prieto y de Posada (1988) puede verse que los alumnos de 14 a 16 años tienen un gran número de ideas o conocimientos sobre la radiactividad, a pesar de no estar contemplado este tema en sus currícula escolares. Se utilizó una muestra de 334 alumnos pertenecientes a dos grupos: 206 de primer curso de bachillerato y 128 de tercero de B.U.P. Los alumnos de primero no habían optado por la rama de ciencias o letras; en cambio, los alumnos de tercero eran todos de ciencias. Los alumnos procedían de cuatro institutos de enseñanzas medias, dos estatales y dos privados, dos pertenecientes a Málaga capital y dos a pueblos de la provincia con menos de 50.000 habitantes. No se realizó ninguna discriminación entre las capacidades intelectuales de los alumnos.

El cuestionario estaba formado por cuatro apartados. La primera pregunta era totalmente abierta; se les pedía que contestaran, empleando de tres a cinco frases, a la pregunta ¿qué es para ti la radiactividad? La mayoría de las expresiones obtenidas estaban constituidas por una frase en la que se definía la radiactividad y otras que tocaban puntos tales como opiniones, valoraciones, efectos, características, usos, actitudes personales, etc. No se desestimó respuesta alguna por su conte-

nido. Las frases se clasificaron siguiendo el Systematic network analysis de Bliss y cols. (1984). Se realizaron dos análisis, uno para las definiciones y otro para las ideas espontáneas.

A la vista de los resultados que obteníamos, representados por los tantos por ciento sobre el total de las definiciones emitidas, destacábamos algunas tendencias:

- A mayor edad y formación, es mayor el número de alumnos capaces de emitir una definición, y ésta tiene un carácter más específico.
- Términos ambiguos van siendo abandonados a favor de otros más concretos, como energía y emisión.
- Un ligero incremento de las definiciones-proceso en detrimento de las definiciones-agente.
- Junto al abandono de algunos errores conceptuales, como el de la reacción química, hay un aumento de otros, como el de la concepción de energía.

La segunda parte del cuestionario se confeccionó a la vista de las respuestas que se habían obtenido de la primera en un ensayo piloto, con el fin de ahondar en explicaciones sobre las definiciones más significativas y de acercarnos aún más a los esquemas que los alumnos tenían sobre la radiactividad.

Se pidió a los alumnos que eligieran entre las siguientes frases y explicaran su elección:

- a) La radiactividad es energía.
- b) La radiactividad es un proceso que puede generar energía.
- c) La radiactividad produce partículas.
- d) Las partículas emitidas se encuentran almacenadas en el núcleo.
- e) La radiactividad es una reacción química.

Los alumnos podían elegir cuantas quisieran, tanto si las consideraban verdaderas como si las consideraban falsas; no obstante, escogieron las que consideraron correctas. Para más detalles sobre la elección de estas frases puede consultarse dicho artículo.

La información les viene, como lo ponen de manifiesto en las entrevistas realizadas, de los medios de comunicación: televisión, radio y, en menor medida, periódicos y revistas. En nuestro anterior trabajo se manifiestan diferencias sustanciales en ciertos aspectos entre los dos grupos estudiados que no son consecuencia del azar; a nuestro juicio, podrían ser resultado del grado de información y, sobre todo, del grado de maduración de esa información en orden a un mecanismo interno de procesamiento de la misma. Un aspecto que hemos juzgado importante ha sido el de que cierto número de alumnos construyan sus propias «teorías» para explicarse la naturaleza misma de la radiactividad; cuestión sobre la que además de necesitar información, el alumno ha debido preguntar previamente y haber encontrado respuestas que le satisficieran de alguna manera. Este aspecto no fue suficientemente desarrollado en el trabajo citado por falta de espacio y es el centro de atención del presente artículo.

METODOLOGIA

La metodología seguida para extraer tal tipo de información ha sido la entrevista personal de uno de los investigadores con los alumnos. Las entrevistas dan la oportunidad de ir más lejos en las explicaciones de los alumnos, ya que normalmente éstos utilizan términos científicos con significados bien diferentes (1), y, sobre todo, nos brindan la ocasión de sumergirnos en aspectos concretos y personalizados (Posner y William, 1982).

Las entrevistas realizadas han sido 20, todas individuales, con una duración media de 20 a 25 minutos cada una. Se recogieron con un micrófono inalámbrico, siempre con el propósito de que fueran lo menos intrusivas posible, grabándose en cintas de cassette para su posterior transcripción escrita (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982). En todas las grabaciones se obtuvo permiso de los alumnos entrevistados. Los profesores no recompensaron de ninguna forma a los alumnos, y éstos tampoco lo esperaron por su participación en la investigación. Las entrevistas se realizaron en huecos o descansos de los alumnos en sus horarios escolares para no interferir en sus tareas.

De los 20 entrevistados, 14 fueron seleccionados previamente por sus respuestas, ricas y variadas en la materia estudiada en este trabajo, a la pregunta abierta planteada «¿qué es para ti la radiactividad? (ésta se detalla profusamente en nuestro trabajo anterior). Los seis restantes alumnos fueron escogidos al azar.

El lenguaje que el entrevistador utiliza es en todo momento de características análogas a las del lenguaje del entrevistado, en cuanto a que emplea sus mismas palabras, pero pidiendo al alumno que las describa, y repite las frases emitidas por él para que éste las confirme (ya que los alumnos no iban a verificar sus versiones en las transcripciones escritas).

Las entrevistas fueron semiestructuradas, con unas preguntas generales para ir abriendo camino e irnos centrando sobre aspectos que nos interesaban. Las preguntas genéricas solían ser:

- ¿En qué tipo de sustancias se produce la radiactividad?
- ¿Dónde se produce la radiactividad (en qué parte)?
- ¿Por qué?
- ¿Qué es para ti la radiactividad?
- Se les presentaban a los alumnos diversos dibujos y éstos debían justificar por qué había radiactividad o por qué no la había.

Las entrevistas fueron todas transcritas al papel y han sido muy valiosas para el estudio que se detalla más adelante.

(1) En este sentido los alumnos más jóvenes utilizan frases hechas, tales como «la radiactividad es energía nuclear» sin asociarla al núcleo atómico, sino como otra forma más de energía, como pueda serlo la energía eléctrica y no asociarla al movimiento de electrones.

La fase de estudio culmina con la nueva clasificación, de acuerdo con unas reglas que se expondrán posteriormente, de las respuestas de los alumnos a las preguntas primera y segunda del cuestionario ya citado anteriormente.

ANALISIS DE LOS DATOS

Las entrevistas nos han dado una gran visión de conjunto de lo que los alumnos piensan sobre el fenómeno de la radiactividad y hemos podido comprobar qué hay detrás de las frases que éstos emiten. Las ideas explicativas que los alumnos sugieren sobre la radiactividad son susceptibles de clasificarse en las siguientes categorías:

- a) La radiactividad es un contaminante más.
- b) La radiactividad es energía almacenada.
- c) La radiactividad se produce por reacción química.
- d) La radiactividad se produce por procesos atómicos nucleares.
- e) Otras.

Una vez establecidos los esquemas conceptuales más importantes que los alumnos mantenían sobre la radiactividad, decidimos reagrupar las respuestas de los estudiantes de primero y tercero de B.U.P. a la primera y la segunda pregunta, que se describen con más detalle en nuestro anterior trabajo (Prieto y de Posada, 1988).

Los esquemas explicativos indicados arriba no son utilizados por los alumnos de manera independiente, sino que ciertos alumnos pueden apoyarse en uno de ellos para explicar ciertas características y en otros para explicar otros aspectos. No obstante, valoramos al alumno globalmente y lo ajustamos al más alto nivel cognitivo que le correspondiera en función de sus respuestas; por ejemplo, si sugería la idea de que la radiactividad era energía y en las siguientes frases decía que era una reacción química y, por tanto, se desprendía energía, encuadrábamos al alumno en el paradigma de reacción química. Frases como «la radiactividad es un proceso químico porque tiene unos pasos muy complicados» evidentemente no podíamos encuadrarlas en reacción química; por lo que iban al apartado de alumnos que no tenían ideas explicativas.

Con la segunda pregunta se obró igual, no dando por buenas aquellas frases que aunque se hubieran marcado como verdaderas, no se explicaran posteriormente; igualmente se desestimaron aquellas respuestas que o bien no aducían razones, o bien repetían literalmente las frases propuestas en el cuestionario. Por otro lado, frases emitidas por los alumnos como «las partículas que se encuentran en el núcleo se liberan al producirse la reacción química» fueron agrupadas en procesos atómico-nucleares (si bien hay un error conceptual en la utilización del término reacción química, el alumno opina que el verdadero protagonista es el núcleo y que, por tanto, se origina un proceso atómico-nuclear).

A continuación describimos cuáles son las «teorías» explicativas de la radiactividad y el poder interpretativo que con ellas algunos alumnos consiguen para comprender los fenómenos radiactivos.

LA RADIATIVIDAD ES UN CONTAMINANTE MAS

La radiactividad es, para este grupo de alumnos, unos compuestos químicos que, por accidente, pasan al medio ambiente contaminándolo todo, centrándose en las grandes ciudades y en los bosques, produciendo alteraciones en los seres vivos aún más fuertes que los contaminantes normales. Este grupo de alumnos no utiliza el modelo atómico para explicar este hecho, bastándoles la explicación de que son compuestos químicos muy fuertes. El fragmento siguiente, escrito por una chica de primero, puede ilustrarlo:

«La radiactividad es un proceso de contaminación del medio ambiente, el cual es debido al escape de unas sustancias tóxicas, las cuales producen una serie de hechos, como son la lluvia radiactiva, etc., que son peligrosas para la vida humana, animal y vegetal, es decir a todo el medio ambiente.»

O el siguiente, escrito por un alumno de tercero:

«La radiactividad son gases que se pueden desprender de una central nuclear y matar a todos los seres vivos.»

Algunos alumnos empiezan a cuestionarse el que la radiactividad sea un contaminante más, como puede apreciarse en la siguiente entrevista realizada a una chica de primero (hay suficientes evidencias que parecen indicar que los sujetos de este esquema alternativo pueden trasvasarse al de energía y al de reacción química):

E.- ¿Hay alguna diferencia entre radiactividad y polución?

A.- Hay diferencias.

E.- ¿Qué tipo de diferencias?

A.- La radiactividad sirve para producir energía en unos sitios y la polución no, es donde la población es más abundante, hay fábricas y el aire y los mares ya no son iguales que en otros sitios.

LA RADIATIVIDAD ES ENERGIA ALMACENADA

La radiactividad es la energía que se encuentra almacenada o encerrada en ciertos materiales. Esta visión material, o cuasimaterial, que los alumnos tienen de la energía ha sido descrita por otros autores; entre ellos, Watts (1988). La idea que del calor tienen es similar, como lo pone de manifiesto Erickson (1979). Esta energía se pone en juego en las centrales nucleares o en las bombas atómicas, en las que se desarrollan ciertos procesos a los que los alumnos apelan. Pero al preguntar por su naturaleza, los discentes no han llegado a cuestionarse la naturaleza de

los pasos que han de seguir. La siguiente frase de un alumno preparatorio a la universidad puede servirnos de ejemplo:

«La radiactividad es una energía que sirve como base fundamental para una central nuclear.»

Con esta concepción alternativa algunos alumnos encuentran la siguiente explicación a los vertederos nucleares:

«Aprovechando la radiactividad de muchos minerales o metales se puede generar energía, pero ahora no se aprovecha todo lo que se podría, ya que en los cementerios nucleares hay mucha radiactividad que no se aprovecha.»

La entrevista realizada a un alumno de primero puede servirnos para ilustrar este apartado.

- E.- Anteriormente has hablado sobre la radiactividad en términos «es energía». No lo entiendo bien.
- A.- Depende del concepto de radiactividad. La piedra es materia y no energía; en cambio, la radiactividad en Chernovil era energía y no materia.
- E.- ¿Dónde estaría encerrada esa energía?
- A.- En la materia.
- E.- Por tanto, ¿podemos decir que la radiactividad es energía o materia?
- A.- Creo que es energía, está metida en cierto tipo de materia.
- E.- ¿Cómo se pone de manifiesto?
- A.- Las centrales nucleares están para explotar esta materia que tiene esa energía; tiene la central en su interior, digamos, una especie de motor que le saca esta energía, que se propaga fácilmente; por tanto, tiene que tener un aislante que si se rompe, sale fuera, propagándose fácilmente por cualquier medio.

LA RADIATIVIDAD SE PRODUCE POR REACCION QUIMICA

La radiactividad tiene lugar por un proceso de reacción química, diferente del de otras por los elementos reaccionantes. Esta «reacción» se transmite por la atmósfera normalmente, porque sigue reaccionando con los componentes del aire. La radiactividad produce energía, ya que es una reacción química. Los minerales de uranio no tendrían apenas radiactividad; no serían, por tanto, peligrosos. «El hombre quiere sacarle la energía; es como si la aumentase», y lo consigue (a juicio de este grupo de alumnos) mediante los procesos que tienen lugar en las centrales nucleares.

Algunos alumnos intentan encontrar explicaciones, desde su concepción alternativa, a hechos que les llaman la atención; como es el caso de una alumna de primero, que interpreta así la transformación del uranio en plutonio:

«La radiactividad es una reacción química, ya que las moléculas de uranio se golpean con moléculas de nitrógeno, produciéndose una reacción calorífica, por lo que también produce energía; al final de proceso se ha transformado en plutonio, que puede estar enriquecido, o no.»

Otro alumno de primero explica así la imposibilidad de vivir en atmósferas contaminadas con radiactividad:

«Sería imposible el nacimiento de nuevas vidas debido a los fuertes componentes químicos.»

Algunos estudiantes de primero justifican de este modo la existencia de vertederos nucleares (en cuya explicación observaremos cómo la energía es un producto más de reacción):

«Son desechos de la transformación del uranio a energía.»

Otros puntos de vista relativos a la misma cuestión los podemos encontrar en las frases siguientes de alumnos de tercero de B.U.P. (éstos saben que en toda reacción química se encuentran unos reactivos y unos productos, el uranio es nombrado por todos, y el/los otros varían de unos a otros):

«Como consecuencia de la quema de uranio en las centrales nucleares, se han de contener diversos residuos propios de dicha combustión. Estos residuos son los que dan lugar a la radiactividad.»

«La radiactividad es una reacción química entre el uranio y el plutonio que genera energía, si es bien utilizada.»

Otros incluyen entre reacciones químicas procesos que afectan al núcleo, como es el caso siguiente:

«La radiactividad es una reacción química que se produce al romperse el núcleo de ciertos elementos químicos como el uranio.»

No obstante, frases como éstas las hemos encajado en el apartado de procesos atómico-nucleares.

La entrevista realizada a un alumno de primero puede ilustrar el punto de vista de los estudiantes encuadrables en este grupo:

- E.- Dijiste antes que la radiactividad se propagaba por el aire. ¿De qué manera?
- A.- Tendrían que reaccionar con las moléculas del aire.
- E.- Se transmitirían de un lado a otro, pero siempre reaccionando con el aire (aclaración).
- A.- Para expandirse, sí.
- E.- ¿De qué naturaleza sería eso que hay en el aire? ¿De qué constaría? ¿Sería algo tangible o no?
- A.- Supongo que si está en el aire, no se podría tocar: sería algún elemento que, a simple vista, no se vería.

E.- ¿Qué es para ti la radiactividad en términos generales?

A.- Una forma de energía.

E.- ¿Por qué? ¿En qué te basas?

A.- Porque de ella se obtiene energía. ¡Es energía!

E.- Tú puedes dar energía a algo, empujando, pero tú no eres energía. ¿No puede pasar algo así en la radiactividad?

A.- Creo que no, porque la energía se sacaría al reaccionar.

E.- ¿Qué tipo de reacción?

A.- Reacción química.

(Se le presentan los dibujos y se le pregunta si hay radiactividad, o no, y dónde estaría.)

A.- Creo que sí que tendría, tendría energía, es decir, radiactividad, pero no en proporción dañina, creo yo.

E.- Esa energía, según tú decías, era una reacción química, ¿en qué se diferenciaría de una normal? Por ejemplo, en ti se están produciendo reacciones químicas, tu misma respiración es, una reacción química. ¿En qué se diferenciarían?

A.- Son distintas reacciones químicas, tendrían distintos componentes; es según los componentes.

E.- Reactivos, te refieres.

A.- Claro.

LA RADIATIVIDAD SE PRODUCE POR PROCESOS ATOMICO-NUCLEARES

Este grupo de alumnos tiene algunas ideas sobre la teoría atómica y la constitución de los átomos, recurre a ellas y baja al nivel atómico y, más concretamente, al nivel nuclear; es éste el verdadero protagonista del proceso que tiene lugar en la radiactividad. Las interpretaciones y, sobre todo, el papel que el átomo y el núcleo juegan no son simples; y hemos podido constatar hasta 6 subesquemas claramente distinguibles.

El núcleo, de alguna manera, se libera de partículas que llegan a otros núcleos, chocan con éstos, liberando cada uno nuevas partículas que vuelven a chocar con otros, y así sucesivamente.

«En principio, es un electrón el que rompe el núcleo del otro y las partículas de este núcleo rompen las de otros, y así. Es una reacción en cadena.»

Un fragmento de la entrevista realizada a una alumna de tercero puede ilustrar lo que decimos:

E.- ¿Dónde se produce la radiactividad, en qué parte?

A.- En el núcleo del átomo, al pasar por él una fuente de energía.

E.- ¿Qué tipo de energía?

A.— La energía iniciativa. No lo sé. Solamente sé que al pasar una fuente de energía, podría ser procedente de otro átomo; entonces se rompe el núcleo y salen despedidos los protones y electrones, que a su vez chocan contra otro núcleo, formando una reacción en cadena, liberando energía.

E.— ¿De dónde vendrá esa energía o radiación original?

A.— Al hacer que los átomos choquen entre sí, será.

E.— ¿Qué es lo que salta de unos a otros?

A.— Los neutrones y los protones.

E.— ¿Entonces, la radiactividad qué vendría a ser?

A.— La destrucción de los átomos.

E.— ¿Por qué se producirá esta ruptura de los átomos?

A.— Por el choque.

E.— ¿Por qué chocan?

A.— Se produce la ruptura de un átomo, éste suelta una energía y despiden los protones y neutrones, que chocan a su vez contra otros núcleos y van destruyendo así los átomos de la sustancia.

— Algunos opinan que la radiactividad es producida por el choque de átomos de uranio, esto explicaría el hecho de que se desprenda calor.

«La radiactividad es la energía liberada a causa de los choques de los átomos de uranio.»

— Otros suelen hablar de partículas α , β y γ , que salen de los núcleos inestables, atraviesan finas capas de metales, etc. El proceso que sigue el núcleo a continuación de la emisión varía de unos a otros: algunos piensan que lo hace para ser más estable y que no le ocurrirá nada; otros, que se romperá; y finalmente otros opinan que se destruirá y que nuevos fragmentos llegarán a otros átomos, a los que a su vez les ocurrirá lo mismo. Algunos piensan que se liberan partículas, pero sólo cuando se produce un accidente y se pone en contacto con la atmósfera; éstas serían verdaderamente las perjudiciales para el medio ambiente, incluido el hombre.

«La radiactividad es una emisión de partículas provenientes de la rotura de átomos pesados, bien sea uranio, plutonio, radio, etc.»

La siguiente entrevista, realizada a un alumno de tercero, puede ilustrar lo que expresamos:

E.— ¿Qué es para ti la radiactividad?

A.— Por haber dado un poco sobre la materia; es la emisión espontánea de partículas; lo que más fama tiene la radiactividad es que puede ser letal.

E.— ¿Qué partículas son?

A.— No estoy muy seguro, pero teniendo en cuenta que las que se emiten son α , β y γ , no estoy muy seguro, pero serían las γ .

E.— ¿De qué naturaleza serían?

A.- No lo entiendo.

E.- ¿Cómo se transmiten de un sitio a otro?

A.- En forma de onda.

E.- ¿Las tres?

A.- Sí, irían en línea recta, en forma de onda; las α , por ejemplo, según Rutherford, atravesaban el papel de oro en línea recta, excepto algunas que se desviaban por las colisiones con el núcleo.

E.- ¿Cómo estarían formadas?

A.- No sé.

E.- ¿Dónde se produce la radiactividad?

A.- La radiactividad es típica de ciertos minerales, como el uranio y otros, preparados científicamente.

E.- ¿Por qué éstos y no otros?

A. Tienden a ser cada vez más estables.

- Otro grupo opina que es necesario un bombardeo de los átomos de uranio con átomos ligeros o fragmentos de éstos (apuntan generalmente al hidrógeno), para que se produzca la radiactividad, liberándose posteriormente una gran cantidad de energía.

«El uranio, para que sea radiactivo, tiene que llegar un electrón, éste fractura el uranio en dos, se liberan más electrones y energía; pero si se encuentra el uranio sólo, no hay radiactividad.»

- El último subesquema detectado ha sido el de que los núcleos se descomponen, se separan los componentes que los forman. Para algunos son partículas y para otros es energía; algunos apuntan la idea de que las partículas así formadas chocan entre sí, produciendo gran cantidad de energía.

«La radiactividad es energía; al romperse el núcleo del átomo, desprende la energía que había almacenada en éste.»

Ha calado hondo en estos muchachos que la radiactividad está o se produce de forma natural en todos lados; eso sí, en cantidad muy pequeña para ser peligrosa. Este argumento ha sido muy utilizado por los partidarios de las centrales nucleares. Otro dato interesante es que, a juicio de los alumnos, la radiactividad se concentra, una vez liberada, en la materia orgánica, sobre todo en el hombre y los animales (quizá esto es consecuencia de que los medios de comunicación hacen hincapié en este aspecto por su importancia social).

No forma parte la radiactividad de sus currícula, pero la conocen por la televisión y las revistas. Han visto los diferentes modelos atómicos y los han incorporado a su memoria semántica experiencial, como se pone de manifiesto al utilizar estos conocimientos para explicar diferentes aspectos preguntados en las entrevistas.

Algunos de estos alumnos, generalmente los de tercero de B.U.P., tienen sus propias ideas para explicar las mutaciones que pueden producirse:

«La radiactividad es una energía emitida por los cuerpos en forma de partículas; creo que normalmente son electronegativas, y al contacto con micromoléculas y macromoléculas, reaccionan y forman nuevos compuestos, por ejemplo, con los ADN y ARN.»

OTROS ESQUEMAS

En las entrevistas realizadas no hemos encontrado otros esquemas conceptuales diferentes a los ya expuestos; no obstante, de la pregunta abierta que se detalla en nuestro anterior trabajo (Prieto y de Posada), pueden extraerse algunos otros, estadísticamente muy poco representativos, tales como «la radiactividad es la acción de unas ondas que descomponen la materia», «la radiactividad es una especie de fuerza propia», «la radiactividad fue creada en los laboratorios de las grandes potencias», «la radiactividad es un potente explosivo», «la radiactividad es como una descarga eléctrica» y algunas más.

Hubo alumnos, de los entrevistados, que no manifestaron tener «teorías» sobre la radiactividad, basando todo su relato en aspectos descriptivos de ésta, tales como duración de efectos, valoraciones personales, radio de acción, efectos sobre el organismo, etc.

CONSISTENCIA DE LOS ESQUEMAS DE LOS ALUMNOS

Con el análisis de las respuestas dadas por los alumnos de primero y tercero de B.U.P. a la primera y la segunda pregunta del cuestionario, que se detalla en el apartado de análisis de datos, se ha elaborado la tabla 1. A la vista de estos datos se puede destacar, en primer lugar, el porcentaje de alumnos de primer curso encuadrados en la categoría «ninguna», que corresponde a más de la mitad de la muestra de primero; es decir, que sólo un 44 por 100 de esta muestra aparece como poseedor de esquemas conceptuales cuando se le pone en la situación de manifestar libremente sus ideas mediante la escritura libre. Frente a estos datos se encuentran los resultados de la muestra de tercero, de la que el 88 por 100 explica y razona espontáneamente en esta misma situación.

Llama la atención el hecho de que cuando a estos mismos alumnos, cuya escritura libre no ha puesto de manifiesto la existencia de esquemas conceptuales racionalmente asumidos, se les presentan determinadas frases por escrito (frases que definen la radiactividad según algunas de las tendencias mostradas anteriormente en un pretest) y se les pide una explicación sobre las mismas, éstos sacan a relucir interpretaciones que no han surgido en la escritura libre y que, por tanto, pudieran estar inducidas por la forma en que se les pregunta. En otras palabras, cuando se le pide a un alumno que explique una determinada frase, no podemos asegurar que el esquema conceptual que subyace en la explicación no haya sido elaborado «ad hoc» por él en el mismo momento de escribir la respuesta, inducido por nuestro requerimiento.

TABLA 1

Porcentaje de alumnos en cada categoría en las preguntas primera y segunda

N1 = 251

N3 = 128

	1.ª Pregunta		2.ª Pregunta	
	Grupo de		Grupo de	
	1.º	3.º	1.º	3.º
Energía	15	24	28	28
Reac. química	7	10	27	17
Contaminación	6	5	2	1
Proceso atómico-nucl.	11	40	19	39
Otras	5	9	1	7
Ninguna	56	12	23	8

Esto no puede interpretarse como una ausencia de esquemas conceptuales sobre esta materia en los alumnos de primero de B.U.P. hablando en términos generales, ya que un 44 por 100 sí mantiene una teoría explicativa del fenómeno, la cual, podemos asegurar, ha sido elaborada por ellos en función de estímulos extraescolares. Esta tendencia que se muestra generalizada en el grupo de tercero de B.U.P. puede ser debida a un mayor grado de cuestionamiento, análisis y procesamiento de la información que indefectiblemente le llega.

No obstante, la hipótesis de trabajo se centraba en saber si estos esquemas conceptuales que han surgido de la escritura de los alumnos habían sido formulados por puro azar y sin criterio alguno o si, por el contrario, existían tendencias más frecuentes y preferidas por los alumnos cuando explicaban este fenómeno. En este sentido, se ha realizado un estudio de la forma en que se distribuyen estas inclinaciones surgidas a partir de las preguntas, por separado, y para los dos grupos, también por separado. Los resultados se muestran en la tabla 2, en la que se observa la existencia de tendencias preferentes en las explicaciones de los alumnos que no son debidas al azar y se localizan, en primero fundamentalmente, en la concepción de la radiactividad o bien como energía, o bien como reacción química. En cambio, en el grupo de tercero las tendencias más representativas son las de los procesos atómico-nucleares; aunque se sigue manteniendo de manera significativa la tendencia a considerar la radiactividad como energía.

En cuanto a la posibilidad de que pudieran existir cambios actitudinales al pasar de la primera pregunta a la segunda y que éstos fueran debidos al abanico de ideas con que se enfrenta el alumno en la segunda pregunta (entre las cuales pudiera haber alguna a la que adherirse y que no hubiera sido considerada inicialmente), los datos que se encuentran en el tabla 3 ponen de manifiesto diferencias significativas en lo que a la actitud del grupo de primero se refiere; lo cual está en parte motivado por el trasvase de los alumnos que pasan de no aportar un esque-

TABLA 2

Frecuencia de los esquemas conceptuales en las respuestas a las preguntas primera y segunda

	Primero				Tercero			
	1.ª Preg.		2.ª Preg.		1.ª Preg.		2.ª Preg.	
	fo (*)	fe (**)	fo	fe	fo	fe	fo	fe
Energía	38	50	71	50	30	25	36	25
Reac. quim.	17	50	67	50	13	25	22	25
Contaminac.	16	50	4	50	6	25	1	25
Proc. at.-nucl.	28	50	47	50	51	25	50	25
Otros/ningun.	152	50	62	50	27	25	18	25
Nivel signific. p.	< 0.01		< 0.01		< 0.01		< 0.01	
Hipótesis aceptada	H1		H1		H1		H1	

(*) Frecuencia observada.

(**) Frecuencia esperada.

Ho: Hipótesis nula.

H1: Hipótesis alternativa.

TABLA 3

Diferencia entre los esquemas manifestados en las respuestas a las preguntas primera y segunda

	PRIMERO		TERCERO	
	1.ª Preg.	2.ª Preg.	1.ª Preg.	2.ª Preg.
Energía	38	71	30	36
Reac. quim.	17	67	13	22
Contaminac.	16	4	6	1
Proceso at.-nucl.	28	47	51	50
Otros/Ninguno	152	62	27	18
Nivel signifi. p	< 0.01		> 0.005	
Hipótesis aceptada	H1		Ho	

ma conceptual espontáneamente en la primera, a sí hacerlo en la segunda. No es ése el caso de los alumnos de tercero de B.U.P., para los cuales no existen diferencias estadísticamente significativas entre las opiniones que sustentan cuando son cuestionados de una u otra forma.

Los cambios antes señalados se encuentran pormenorizados en las tablas 4 y 5, donde las filas representan las opciones de los alumnos a la primera pregunta y las columnas las opciones a la segunda. Los puntos de intersección entre filas y columnas representan los alumnos que exhibieron en la primera pregunta el planteamiento de su fila y en la segunda el que encabeza su columna; por ejemplo, la fila 1 y la columna 2 de la tabla 5 representa a tres alumnos de tercero que definieron la radiactividad como energía en la primera pregunta y que cambiaron de opinión, considerándola como reacción química, en la segunda. En la diagonal principal se encontrarían aquellos alumnos que no modificaron su criterio de una a otra pregunta.

Así, por ejemplo, 38 alumnos de primero definieron la radiactividad como energía en la primera pregunta y este número pasó a ser de 71 en la segunda; debiéndose este alto incremento; en su mayor parte, a 33 alumnos que se mostraron inicialmente incapaces de manifestar espontáneamente su concepción de la radiactividad. Esto nos hace pensar que la concepción de radiactividad como energía se encuentra en los primeros niveles de la conceptualización del fenómeno. La misma evolución sufre el concepto de radiactividad como reacción química en este grupo. Es de destacar, si no cuantitativamente sí cualitativamente, que los alumnos que definen la radiactividad como contaminación en la primera pregunta cambian de opinión prácticamente en su totalidad y lo hacen fundamentalmente hacia las concepciones de energía y reacción química.

TABLA 4

Diferencias pormenorizadas entre los esquemas manifestados en las preguntas primera y segunda por los alumnos de 1.º

2.ª pregunta 1.ª pregunta	Energía	Reacción química	Contami- nación	Proceso atómico- nuclear	Otras/ ninguna	TOTAL
Energía	26	5	0	5	2	38
Reac. quim.	2	14	0	0	1	17
Contaminac.	5	8	1	1	1	16
Proc. ato.-nuc.	5	5	0	17	1	28
Otras/ning.	33	35	3	24	57	152
TOTAL	71	67	4	47	62	251

TABLA 5

Diferencias pormenorizadas entre los esquemas manifestados en las preguntas primera y segunda por los alumnos de 3.º

2.ª Pregunta 1.ª Pregunta	Energía	Reacción química	Contami- nación	Proceso atómico- nuclear	Otras/ ninguna	TOTAL
Energía	18	3	0	1	8	30
Reac. quim.	2	8	0	2	1	13
Contaminac.	1	2	1	2	0	6
Proc. ato. nuc.	5	4	0	41	2	52
Otras/ning.	10	5	0	5	7	27
TOTAL	36	22	1	51	18	128

En lo que a los alumnos de tercero de B.U.P. se refiere, hay que destacar, en primer lugar, el aumento sustancial de la utilización de la teoría atómico-nuclear para explicar el fenómeno. Esta interpretación requiere un mayor nivel cognitivo por el uso de una teoría, que no es siempre utilizada de la misma forma, como ya se comentó profusamente en el apartado de análisis de datos, los resultados específicos de este esquema se reflejan en la tabla 6.

TABLA 6

Subesquemas correspondientes a la interpretación de «procesos atómicos y nucleares»

Cifras expresadas en tantos por 100					
Fisión	Emisión partículas	Fisión/ emisión	Separación componentes	Bombardeo atómico	Choque
10	33	23	13	5	16

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugieren que los alumnos de primero de B.U.P. no tienen concepciones alternativas o esquemas conceptuales sobre la radiactividad, en términos generales, a pesar de tener un gran cúmulo de conocimientos sobre propiedades físicas, efectos, etc. No obstante, hemos detectado que una parte de

este grupo sí muestra tener esquemas conceptuales sobre este aspecto y que en el grupo de tercero de B.U.P es ya generalizado.

La forma en que se pregunta es verdaderamente importante a la hora de detectar ideas alternativas, sobre todo en los alumnos más jóvenes, que modifican sustancialmente sus concepciones de una forma inducida; en cambio, no es tan importante en la muestra de tercero en la que los esquemas aparecen más consistentes.

Las ideas de los alumnos no constituyen un cuerpo teórico desde el cual puedan explicarse todos los fenómenos físicos, sino que aquéllos utilizan conceptos diferentes ante estímulos distintos. Los esquemas de energía, reacción química y procesos atómico-nucleares parecen más consistentes para los alumnos que los esquemas de contaminantes y otros.

No existe similitud entre las ideas que los alumnos tienen sobre la radiactividad y las que han sostenido los científicos a lo largo de la historia. La práctica totalidad de los chavales sabe los peligros que conlleva, la duración de los efectos, etc. La primera hipótesis de Beckerel fue la de que la radiactividad sería producida por la acción de la luz sobre los minerales de uranio; en cambio, no hemos encontrado ni un solo alumno con esta idea sobre la radiactividad. Pronto Beckerel descubrió que la causa debía estar en el átomo, independientemente del exterior. La idea científica no pasó, como es lógico, por creencia de que fuera un contaminante más o de que fuera energía con el mismo significado que el de la idea de los alumnos.

Como hemos podido constatar, hay una evolución de los alumnos hacia planteamientos más formales y teóricos; sin embargo, no se desechan totalmente anteriores esquemas conceptuales, a pesar de haberse estudiado detenidamente los procesos nucleares durante al menos dos meses en el caso de los alumnos de C.O.U. (Prieto y de Posada, 1988b). Lo que el alumno conoce previamente es de una importancia vital en el proceso de enseñanza/aprendizaje, como se pone de manifiesto.

BIBLIOGRAFIA

- Albert, E. «Development of the concept of heat in children». *Sci. Educ.*, 62, 1978, pp. 389-399.
- Andersson, B. «Pupils'Explanation of Some Aspects of Chemical Reactions». *Sc. Educ.*, 70 (5), 1986, pp. 549. 563.
- Butts, W. «Children's understanding of electric current in three countries», en Richard P. Tisher (Ed.), *Research in Science Education*. Vol. 15. Selections of papers from the annual conference of the Australian Science Education Research Association, Rockhampton, Queensland, Australia, Mayo, 1985.
- Castelfranchi, C. *Física Moderna*. Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1932.
- Clement, J. Students'preconception in introductory mechanics. *American Journal of Physic*, 50, 1982, pp. 66-71.

- Duit, R. «Should energy be illustrated as something quasimaterial?» *Int. J. Sch. Educ.*, 9 (2), 1987, pp. 139-145.
- Engel Clough, E. y Wood-Robinson, C. «Children's understanding of inheritance». *J. Biol. Educ.*, 19 (4), 1985, pp. 304-310.
- Erickson, G. L. «Children's conceptions of heat and temperature. *Sci. Educ.*, 63, 1979, pp. 221-230.
- Gilbert, J. K.; Osborne, R. J. y Fenshan, P. J. «Children' Science and its Consequences for Teaching». *Sci. Educ.*, 1982, pp. 623-633.
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. «Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *Euro. J. Sci. Educ.*, 8 (4), 1986, pp. 427-441.
- Gorodetsky, M. y Hoz, R. «Changes in a group cognitive structure of some chemical equilibrium concepts following a university course in general chemistry». *Science Education*, 69 (2), 1985, pp. 185-199.
- Gunstone, R. y White, R. «Understanding of gravity. *Sci. Educ.*, 65 (3), 1981, pp. 291-299.
- Hewson, P. W. «A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning». *Eur. J. Sci. Educ.*, 4 (1), 1982, pp. 61-78.
- Johstone, A. H.; McDonald, J. J. y Webb, G. «Chemical equilibrium and its conceptual difficulties». *Education in Chemistry*, 14, 1977, pp. 167-171.
- Kargbo, D. B.; Hobbs, E. D. y Erickson, G. L. «Children's beliefs about inherited characteristics». *J. Biol. Educ.*, 14 (2), 1980, pp. 137-146.
- Mali, G. B. y Howe, A. «Development of Earth and gravity concepts among Nepali children». *Sci. Educ.*, 63, 1979, pp. 685-691.
- McClelland, J. A. G. «Alternative frameworks: interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6 1984, pp. 1-6.
- Nussbaum, J. y Novak, J. D. «An assessment of children's concepts of the Earth utilizing structured interviews. *Sci. Educ.*, 60, 1976, pp. 535-550.
- Nussbaum, J. «Children's conceptions of the Earth as a cosmic body: A cross age study». *Sci. Educ.*, 63, 1979, pp. 83-93.
- Ogborn, J. «Understanding students' understandings: An example from dynamics». *Eur. J. of Scie. Educ.*, 7 (2), 1985, pp. 141-150.
- Piaget, J. «La formation de la notion de force». *Etudes d'Épistémologie Génétique*, n.º 29. Paris, PUF, 1973.
- Posner, G. J. y Gertzog, W. A. «The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change. *Science Education*, 66 (2), 1982, pp. 195-209.
- Prieto, T. y de Posada, J. M. «Pupils' ideas about radioactivity». *Intern. Journ. of Sc. Educ.*, enviado para su publicación, 1988.
- Algunas ideas y errores conceptuales de los alumnos de C.O.U. sobre la radiactividad. V Congreso Asociación Canaria para la enseñanza de las Ciencias, Santa Cruz de Tenerife.
- Séré, M. G. «An study of some frameworks of the fields of mechanics used by children (aged 11 to 13) when they interpret experiments about air pressure». *Eur. Jour. of Sc. Ed.*, 4, (3), 1982, pp. 299-309.
- Solomon, J.; Black, P.; Oldham, V. y Stuart, H. «The pupils' view of Electricity». *Eur. Jour. of Sc. Educ.*, 7 (3), 1986, pp. 281-294.
- Sutton, C. R. «The learners priors knowledge: A critical review of techniques for probing its organization». *Eur. Jour. of Sc. Ed.*, 2 (2), 1980, pp. 107-120.
- Terry, C.; Jones, G. y Hurford, W. «Children's conceptual understanding of forces and equilibrium». *Physics Education*, 20, 1985, p. 162.
- Viennot, L. «Spontaneous reasoning in elementary dynamics». *Éur. Jor. of Sc. Ed.*, 1 (2), 1979, pp. 205-221.
- Wandersee, J. H. «Can the history of science help science educator anticipate students' mi conceptions?» *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 1986, pp. 581-597.
- Warren, J. W. *Understanding Force*. London, John Murray, 1979.

- Watts, D. M. «A study of school children's alternative frameworks of the concept of force». *Eur. Jour. of Sci. Educ.*, 5 (2), 1983, pp. 217-230.
- Watts, D. A. y Zylbersztajn, A. «A survey of some children's ideas about force». *Physics Education*, 16, 1981, pp. 360-365.
- Watts, M. D. «Some alternative views of energy» *Physics Education*, 18, 1983, pp. 213-217.
- Well-Barais; Séré, M. G. y Landier, J. C. «Etude de l'évolution de l'interprétation d'expériences mettant l'air chez élèves de CM2». *European Journal of Psychology of Education* (forthcoming), 1986.
- Wheeler, A. E. y Kaas, H. «Students misconceptions in chemical equilibrium». *Science Education*, 62 (2), 1978, pp. 223-232.