

COMPRENSIÓN DE LOS PROCESOS DE INVESTIGACIÓNⁱ CIENTÍFICA EN LOS ALUMNOS

Robin Millar, University of York, UK

Introducción: enseñar el contenido de la ciencia y el método científico

El objetivo principal de los currículums en la enseñanza científica es ayudar a los alumnos a comprender y a ser capaces de poner en práctica las investigaciones científicas que explican el comportamiento del mundo natural. Es más, la mayor parte de los currículums llevan a desarrollar, en los alumnos, la comprensión de la investigación científica. De hecho el término mismo de “comprensión” implica que los alumnos no han aceptado completamente una explicación científica particular como válida, sino que ellos pueden explicar las razones. Esto exige una cierta comprensión de los métodos utilizados por los científicos para establecer las nuevas aproximaciones científicas de los fenómenos. En la mayor parte de los currículums de enseñanza científica y en la práctica corriente de la enseñanza, el enfoque que una comprensión tal no debe ser explícita sino implícita: los alumnos adquieren esta comprensión de los métodos a partir de la observación de las experiencias de demostración y de la realización de experiencias a partir de consignas. Sin embargo, algunos profesores de ciencia consideran que la enseñanza explícita de los métodos de la ciencia es necesario, al igual (en algunos casos), que una comprensión del método de la ciencia (o de los “procesos” de la ciencia) es más importante que un conocimiento del contenido de la ciencia.

Ausencia de consenso en cuanto al método científico: un problema para los investigadores en didáctica de las cienciasⁱⁱ

Una gran parte de las investigaciones han sido realizadas sobre la comprensión de los alumnos en numerosos campos científicos, pero muy pocos trabajos que han sido efectuados sobre la comprensión de la investigación científica. No es difícil ver una razón en esta diferencia: existe un consenso general en el seno de la comunidad científica sobre la comprensión de la fuerza y del movimiento, de los circuitos eléctricos o de la termodinámica, hay acuerdo entre los filósofos de las ciencias sobre el hecho que un “método científico” existe y puede explicar la posibilidad de una caracterización de la aproximación científica. Esta ausencia de consenso tiene su importancia porque la investigación de las ideas de los alumnos en ciencia es esencialmente normativa, es decir que ella utiliza los puntos de vista científicos aceptados como una “plantilla” y busca a describir las ideas de los alumnos en relación con sus puntos de vista. Igualmente en los estudios no están previstos especialmente para comparar las comprensiones de los alumnos con el enfoque aceptado de la ciencia, ese enfoque es tomado en cuenta en el análisis inicial del contenido del campo y permite a los investigadores decidir cuales ideas buscar. Es más, desde que consideramos la comprensión de la investigación científica, no existe acuerdo para decir cuales son las cuestiones que debemos colocar o cuales son los comportamientos de los alumnos que debemos observar. Hace falta un dominio de interés general.

Esto se puede explicar por qué una comprensión de los métodos de la investigación científica es tratada frecuentemente como un aspecto tácito del aprendizaje de la ciencia. Planteando la hipótesis que los alumnos adquieren la comprensión necesaria a partir de sus experiencias de los cursos y de los trabajos prácticosⁱⁱⁱ, evitamos la necesidad de especificar exactamente lo que este aprendizaje comporta. Para ser más claramente conscientes del problema, consideramos durante un tiempo lo que significaría desarrollar en el alumno la comprensión de los métodos científicos y la capacidad de utilizar esos métodos en sus propias investigaciones. Tendríamos como objetivos de enseñanza ayudar a los alumnos a volverse más “expertos” en la selección de las cuestiones productivas para una investigación, en la concepción de las experiencias pertinentes para recolectar los datos, en la fabricación de series planificadas de observaciones y de medidas tomando en cuenta la precisión, la validez y la confiabilidad, en el análisis y la interpretación de esos datos para obtener una conclusión soportada en dichos datos, y todo ello siendo capaces de evaluar la calidad de las pruebas soportando su conclusión. Todas las decisiones en juego dependen claramente, en una amplia medida, de los conocimientos de los alumnos sobre el contenido de la ciencia en el campo específico. Ellos dependen también de numerosas “tácticas” específicas, que serían los signos de “calidad” en las actividades prácticas en particular en los campos científicos: tomar las disposiciones para reducir las pérdidas de calor en los estudios de termodinámica, decidir dónde ubicar el amperímetro y el voltímetro para medir una resistencia eléctrica, etc. Algunos se podrán preguntar si esto tiene mucho sentido para hablar de “un enfoque científico de la investigación” o de un “método científico” *general*.

Por el contrario, parece claro que los alumnos, sobre todo aquellos que persiguen estudios científicos, obtiene más habilidades en la concepción y la realización de investigaciones pertinentes. Parecen haber adquirido una cierta comprensión de las características generales de la investigación científica, que pueden aplicar a nuevas investigaciones. Mucho de esto puede provenir de su conocimiento amplio del contenido de la ciencia o de los procedimientos de la investigación científica – una comprensión de las ideas claves sobre el aspecto sistemático de la investigación científica que puede ser aplicado a numerosas investigaciones en diversos dominios de la ciencia.

Para los profesores de ciencia, interesados por este aspecto de la enseñanza científica, el desafío es más importante que para aquellos que desean enseñar un contenido científico, o investigar las comprensiones de los alumnos en ciertos contenidos científicos. Ellos deben en principio producir un cuadro o un modelo desde el enfoque científico de la investigación, en el cual fundamentan su visión de la enseñanza o de la investigación empírica, de esta manera los alumnos comprenden cómo esto afecta las cosas que hacen realmente o lo que ellos pueden hacer. En el resto del capítulo, se consideró algunas formas con las cuales los investigadores habían tratado de representar los métodos de la investigación científica, discutiendo brevemente algunos de los principales resultados. En algunos casos, el valor de esos resultados, ayuda a comprender el aprendizaje de los alumnos o a tomar las decisiones relativas a la enseñanza, dependiendo de la validez del cuadro conceptual en el cual el trabajo ha sido concebido y conducido. Así, el objetivo fundamental que sostiene este trabajo es de obtener conclusiones concernientes a los tipos de modelos que pueden contribuir a desarrollar un programa de investigación y de allí proveer informaciones para la enseñanza en ese campo.

El enfoque científico de la encuesta: modelos para la educación.

El enfoque científico que integra las “competencias sobre los procesos”

Algunos profesores de ciencia y de los cursos de ciencias de un cierto número de países, han considerado el enfoque científico de la investigación como un conjunto de “procesos”: observar, clasificar, hacer hipótesis, inferir, predecir y así continúa. Un ejemplo bien conocido, el curso *Science – A Process Approach* (SAPA) [Ciencia – Una aproximación al proceso] (AAAS, 1967), estuvo basado en un análisis de Gagné relativo a los procesos de la ciencia del aprendizaje. Muchos cursos de ciencia del Reino Unido en los años 80 también han seguido esta línea, algunos utilizando el proceso (más que el contenido de la ciencia) para estructurar la enseñanza, y considerando el aprendizaje esencialmente en términos de desarrollo de las “competencias sobre los procesos” de los alumnos, es decir sus capacidades en conducir esos procesos en un conjunto de situaciones. También han sido elaborados los materiales para evaluar las “competencias sobre los procesos”. Todos esos puntos de vista tienen por característica presentar el método científico como un conjunto discreto de “competencias del pensamiento”, que pueden ser practicados y desarrollados separadamente antes de ser combinadas para abordar problemas más difíciles.

Numerosos proyectos de evaluación en pequeña escala han sido conducidos por SAPA y otros programas similares. Bredderman (1983) y Shymansky, Kyle y Alport (1983) trataron sintetizar los resultados de numerosos estudios conducidos en ese tipo de enseñanzas científicas en un nivel elemental hechos en los Estados Unidos en este periodo; ellos concluyen que la investigación presenta avances en numerosos aspectos del aprendizaje de los alumnos. Sin embargo, hay grandes variaciones de un estudio a otro, dependiendo su escala y su puntos de vista, y en numerosos casos, la validez de los resultados y de las conclusiones conllevan a formular preguntas. Los controles del aprendizaje de los alumnos pueden ser criticados por ser muy similares en estructura o en contenido a los utilizados en la enseñanza, y así su rendimiento refleja respuestas guiadas o llamadas de memoria, más que la comprensión – un problema perpetuo para todos los estudios de transferencia del aprendizaje de un contexto al otro.

Si embargo, los problemas concernientes “al enfoque del proceso” son más profundos de lo que lo hacen aparecer los resultados relativos a la eficacia de la enseñanza. El enfoque del “proceso” del método de la ciencia ha sido fuertemente criticado por las bases epistemológicas (por ejemplo, por Finlay, 1983; Millar y Driver, 1987; Hodson, 1990). La idea de la investigación científica como principio para las observaciones imparciales, seguidas de clasificación, de observaciones, conducentes a la emergencia de hipótesis (sobre la forma de generalizaciones o de modelos explicativos) es una idea fuertemente (igualmente se puede decir ingenuamente) empírica e inductiva, que recibe poco apoyo de parte de los filósofos de las ciencias contemporáneas. Los estudios llevados a cabo demuestran claramente la influencia de las ideas previas sobre la observación (Hainsworth, 1956; Gott y Welford, 1987). Los problemas del aprendizaje por descubrimiento, en el cual el enfoque inductivo es tomado justo en su conclusión lógica, han sido muy bien estudiados (Atkinson y Delamont, 1977; Wellington, 1981; Harris y Taylor, 1983). El elemento hipotético-deductivo del enfoque de los procesos no escapa a esos problemas. Las

experiencias hechas en la enseñanza en trabajos prácticos no son controles estrictos, en sentido Poperiano, de la ciencia (al igual que las propias explicaciones de los alumnos).

El enfoque por el proceso también ha sido criticada sobre bases pedagógicas – la capacidad en observar, clasificar, elaborar hipótesis y seguidamente algo que todo niño posee desde su primera infancia (Millar y Driver, 1987). Si este es el caso, es un error creer que deben ser enseñadas esas “competencias sobre los procesos”. La capacidad de los niños para utilizarla depende del grado de sus conocimientos y de la confianza que han acordado en los contextos en los cuales se les ha solicitado trabajar. Esto explicaría por ejemplo el resultado que la habilidad para las tareas exigen esas “competencias sobre el proceso”, dependiendo fuertemente del contexto (Song y Black, 1991; Lock, 1993).

El enfoque por los procesos también ha sido criticado para la planificación de la enseñanza, y el análisis en la cual está basada no provee una estructura productiva para la investigación.

El enfoque científico como una estrategia lógica

Una de las características del pensamiento científico es la consideración del razonamiento lógico para unir la prueba y la explicación. Así como Piaget utilizó el contexto científico para sus investigaciones en el razonamiento de los niños, lo usó también para identificar el “pensamiento científico” en los tipos de “pensamiento lógico” que denominó como característica del pensamiento operatorio formal (Inhelder y Piaget, 1958). Desde el enfoque Piagetiano, la comprensión de la necesidad de controlar las variables, en las experiencias que contienen muchas variables independientes para sacar conclusiones válidas, es una indicación del pensamiento formal. Numerosos estudios han sido conducidos por los didácticos de las ciencias^{iv} para explorar la capacidad de los alumnos en controlar las variables en las tareas, y para evaluar el éxito de diversos puntos de vista de enseñanza. Lawson (1985) señaló una lista completa y detallada. De manera general, la investigación muestra que muchos alumnos de las escuelas tienen dificultades en concebir experiencias variadas y en interpretar los resultados de tales experiencias, (Wollman, 1977; Karplus y al., 1979). Como en otros campos, las ideas precedentes de los alumnos y sus intuiciones son importantes: la idea de “justicia” fuera del establecimiento de comparaciones es cómodamente considerado por numerosos niños de 7-8 años y más. Wollman y Lawson (1977) notan que esta idea básica “no evoluciona espontáneamente” en un procedimiento [para concebir las experiencias] de manera clara y aplicable de manera general, como ha sido constatado en numerosos estudios sobre los adolescentes y los adultos” (p.57). Los niveles de rendimiento están igualmente influenciados de manera significativa por el contenido y el contexto de la tarea (Linn, 1980; Linn y al., 1983; Song y Black, 1992), y los alumnos triunfan indiferentemente en las tareas bien sea porque ellos ponen en juego las experiencias naturales (explicaciones de eventos observados se producen dentro de los dispositivos de la vida de todos los días) o de las experiencias de laboratorio (Jun y Branco, 1977).

Numerosos estudios se han realizado para evaluar las enseñanzas con el fin de mejorar el rendimiento de los alumnos. Jun y Angelev (1976) encontraron que la práctica en la

resolución de problemas relativa al control de las variables condujo a una mejora, pero de la discusión explícita de las soluciones se evidencia que no ha habido ganancia suplementaria. Rowell y Dawson (1984) han señalado un aumento significativo de éxitos en la utilización de un enfoque de enseñanza fundado en un procedimiento general de solución, pero han notado sin embargo una fuerte influencia del contexto en el rendimiento.

Para la investigación sobre los “procesos” de la ciencia, un problema central para estudiar la enseñanza del control de las variables es inventar los ítemes de test después de la enseñanza que sean suficientemente diferentes de los utilizados en la enseñanza para probar que se produce una transferencia en la comprensión, sin producirse un distanciamiento muy grande que conlleve a un resultado nulo. El grado con el cual cada estudio llega a una conclusión, inevitablemente, es un problema de juicio. Considerado en su conjunto, la literatura sugiere que la capacidad de los alumnos mejora con la edad y con la realización de las tareas exigiendo esta forma de razonamiento, y que ella puede estar todavía acrecentada por las intervenciones específicas concebidas cuidadosamente. A la vez antes y después de toda enseñanza dirigida, hay posibilidad de variaciones considerables en el rendimiento de acuerdo a los contextos y entre las experiencias “naturales” y planificadas.

Las grandes investigaciones sobre el rendimiento de los alumnos hechas en el Reino Unido por la Unidad de Evaluación del Rendimiento (Assessment of Performance Unit, APU) a finales de los años setenta y a inicios de los años ochenta estuvo sustentado en un análisis del rendimiento en ciencia que insistía en la capacidad de conducir una investigación científica, considerada como la investigación que la “APU” utilizó siendo del tipo “control de variables”, influenciada fuertemente en torno a la integración de un componente de investigación en los exámenes nacionales para la edad de 16 años, y en consecuencia en el currículo nacional inglés (DES/WO, 1989).

La investigación APU (APU, 1987), y los trabajos ulteriores específicamente unidos al currículo nacional (Gott y Duggan, 1995), han corroborado los principales resultados de los trabajos previos descritos acá arriba. Ellos han mostrado que los alumnos encuentran que las tareas que contienen variables continuas son mucho más exigentes que las que implican variables categoriales (comparaciones), y que el rendimiento está fuertemente influenciado por el contenido científico de la tarea de investigación y por el contexto en el cual ella fue concebida (cotidiano o laboratorio).

Los *conocimientos procedimentales* de los alumnos – el término de la APU para la comprensión relativa en la investigación – aparecen dando cuenta de una pequeña parte de la variación de su transformación de acuerdo a sus tareas, los conocimientos sobre los contenidos científicos y los conocimientos informales en el contexto fueron más significativos. Un resultado similar fue señalado por Erickson y al. (1991) a partir de una investigación muy importante sobre el rendimiento de los alumnos en Colombia Británica.

Sin embargo, una crítica más general del enfoque de la APU, y más tarde en la del currículo nacional inglés, es que ella limita “las investigaciones científicas” en las tareas relativas a las relaciones entre un cierto número de variables. A pesar de que el procedimiento de dirección y de interpretación de una experiencia controlada sea importante en todas disciplinas científicas y tecnológicas, existe más que eso en la investigación científica.

Un tipo de resultado más o menos diferente está dado por Schauble y sus coequipos (Schauble y al., 1991) a partir de un estudio de los alumnos realizando las tareas de control de variables. Ellos consideran que los alumnos se desplazan desde un “enfoque de ingeniería” en la cual las variables son adaptadas para optimizar un efecto, frente a un “enfoque científico”, en el cual son exploradas la relación entre las variables. Esto pone el acento no sobre la competencia técnica de los alumnos en manipular las variables, sino en su comprensión del objetivo. Los resultados sugieren que los alumnos pueden tener necesidad de que uno los ayude a comprender los objetivos del trabajo de investigación en ciencia si queremos que ellos triunfen.

El enfoque científico como una resolución de problemas

Un problema con los dos puntos de vista del “proceso” y del “control de las variables” es que ellos están, en su orientación, fundamentalmente “algorítmicos”: Presentan las investigaciones científicas de una forma invariante. Además suponen que existe un “método científico”, por encima de una cosa más flexible que podemos llamar un “enfoque científico” de la investigación. El enfoque por el “control de las variables” corresponde a ese método científico reduciéndose al alcance de lo que rinde cuentas de una “investigación científica”, e implícitamente (puede ser involuntariamente) adoptando un enfoque fuertemente empirista del conocimiento científico, en el cual las construcciones teóricas (las variables estimadas pertinentes) “emergen” de la situación aun cuando ellas no son impuestas en la situación por la forma como el investigador la comprende.

Algunos investigadores, trabajan desde una perspectiva cognitiva de la ciencia, han tratado el enfoque científico como una forma de resolución de problemas. Kahr y Dunbar (1988), por ejemplo, han solicitado a los estudiantes universitarios de estudiar la función de los botones de control del juego robótico programable “Bigtrak”. Han analizado grabaciones detalladas de secuencias de investigaciones realizadas para cada alumno para resolver ese problema. Han considerado que esas investigaciones podrían ser mejor comprendidas si se les interpretaran como una investigación, por los alumnos, en dos campos de su memoria: el campo de experiencias posibles y el campo de las hipótesis posibles. Klahr y Dunbar critican los trabajos precedentes en ciencias cognitivas sobre el razonamiento científico, sobre la base de que las tareas propuestas son analogías pobres de situaciones reales donde es exigido el pensamiento científico. Sin embargo, su propio estudio puede ser criticado sobre bases similares: el trabajo comporta una débil carga conceptual; extendió la experiencia posible y más o menos limitada; los resultados de cada experiencia son más o menos identificables; y los alumnos saben que el botón que estudian tiene una función única y simple, que es conocida por algunos. Ninguno de esos trabajos no corresponde verdaderamente al caso de un verdadero “problema” científico.

Sin embargo, yo pienso que es útil considerar la tarea de abordar una investigación en ciencia como implicando una suerte de investigación en un “espacio problema”. Las ideas son extraídas de la memoria a largo plazo, desencadenadas por los aspectos del problema abordado. Fuera de la concepción de una investigación, el investigador escoge las “herramientas” en su “maletín de herramientas”. No todos son necesarios para una investigación dada, la competencia reside en el hecho de saber hacer buenas escogencias, y de saber cómo emplear las herramientas necesarias. Millar (1990) propone un modelo de

ese tipo, en el cual la comprensión procedimental está dividida en tres categorías: las competencias cognitivas generales (tales como la observación, la clasificación etc.), las técnicas prácticas (tales como saber utilizar los instrumentos de medidas variadas) y las tácticas de investigación (tales como saber reproducir las medidas y mejorar su fiabilidad). Indica que la primera categoría no puede ser enseñada, pero que representa aspectos generales de la cognición que todos los niños poseen. Las otras categorías pueden ser enseñadas, pero su selección y su puesta en relación en una estrategia abordando cualquier investigación no se puede resumir simplemente por la puesta en práctica de un “conjunto de reglas”. Erickson (1994) ha utilizado esta estructura para analizar el rendimiento de los alumnos en una tarea de investigación utilizando los imanes. Entre otros resultados, muestra la influencia de los conocimientos conceptuales de los alumnos relativos al magnetismo sobre sus escogencias de los procedimientos de investigación.

Un modelo similar (Figura 1), insistiendo sobre la selección en memoria de las ideas pertinentes, es propuesto por el proyecto PACKS (Millar y al., 1994) para la interpretación de los dones sobre el rendimiento de los alumnos relativos a las siete tareas de investigación.

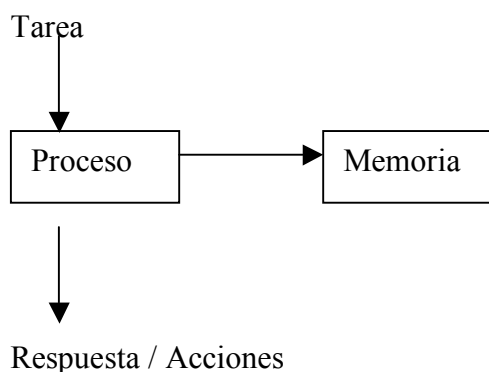


Figura 1. Concepción de una investigación científica: un modelo simple.

Su análisis de las respuestas de los alumnos conduce a la elaboración de este modelo básico, identificando cuatro aspectos específicos de la comprensión vinculada con las diferentes etapas del desarrollo de una investigación (Figura 2).

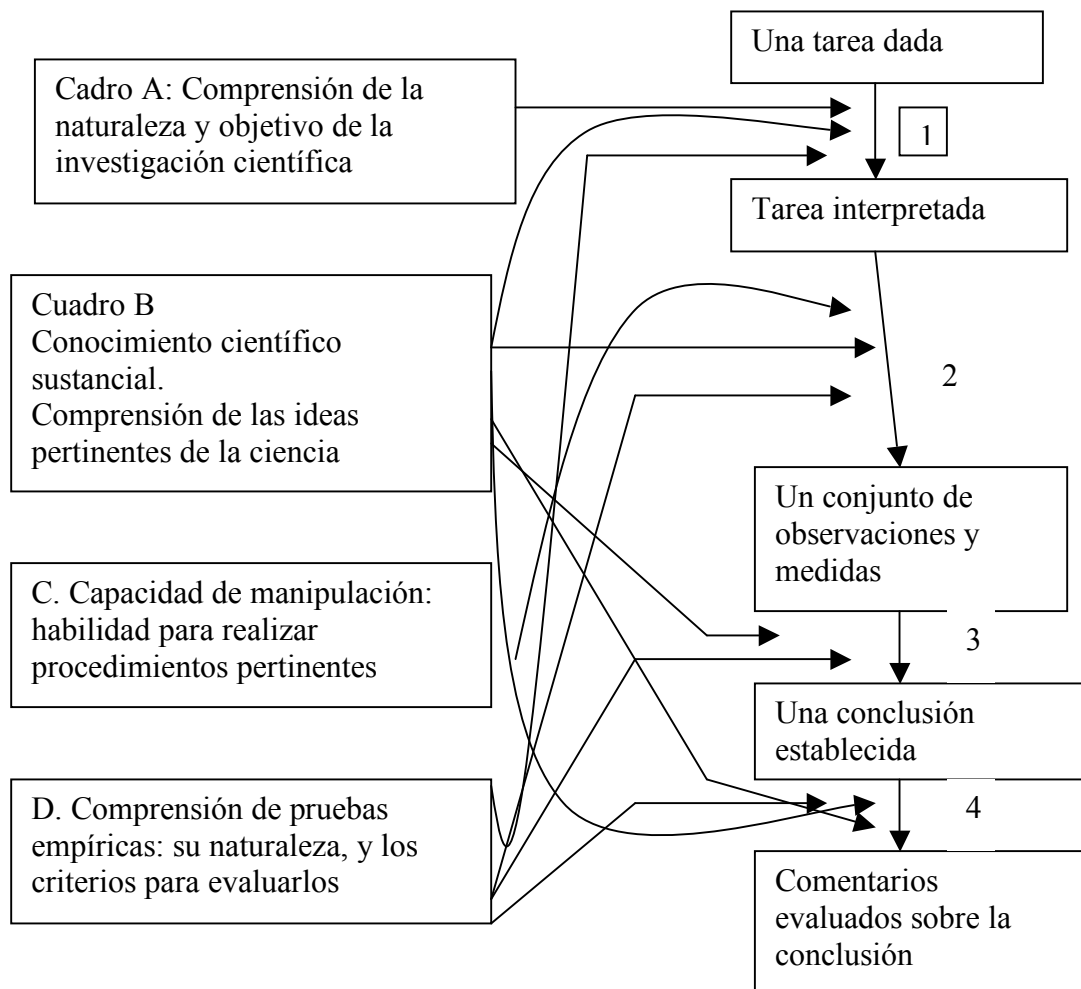


Figura 2. Relación entre la comprensión y acciones en la realización de una investigación científica: el modelo PACKS.

Como lo han mostrado numerosos estudios, uno de los aspectos, la comprensión del contenido científico pertinente, influye de manera significativa en el rendimiento. Es fácil igualmente aceptar que la capacidad (y la competencia) de utilizar un material para la medida y otros aparatos influyen en el rendimiento. Una tercera categoría, etiquetada “cuadro”, desarrolla las ideas de Shauble sobre “el método”, llamando la atención en la influencia de la comprensión por los alumnos, del objetivo de la tarea de investigación sobre su interpretación, y la de sus acciones. El cuarto aspecto, una comprensión de la naturaleza de la prueba empírica (es decir una comprensión del hecho que las medidas están sujetas a los errores, y de la manera de evaluar la fiabilidad de los resultados obtenidos), tiene una influencia particularmente fuerte sobre el conjunto de rendimientos de los alumnos en las tareas de investigación del PACKS. (Este aspecto de la comprensión procedimental será discutido más en detalle en la sección más abajo).

El enfoque científico como una compilación de pruebas empíricas

Las tres perspectivas discutidas anteriormente insisten en la capacidad de concebir y en ejecutar una estrategia para abordar una investigación dada. Sin embargo, puede ser más productivo fijarse en este aspecto esencialmente creativo de la investigación sobre las etapas utilizando los resultados como pruebas que justifican las conclusiones. La distinción es similar a la realizada por los filósofos entre el contexto del *descubrimiento* y el contexto de la *justificación* del conocimiento científico. El primero y más difícil a describir y a explicar – en efecto, puede tener pocas cosas que decir. Lo mismo puede aplicarse a la enseñanza de las formas de realizar las investigaciones científicas: puede resultar más factible enseñar a los alumnos como evaluar sus resultados y presentar sus justificaciones para establecer las conclusiones, que enseñar como abordar nuevos problemas. A partir de ese tipo de perspectiva, los investigadores han explorado la comprensión de los alumnos de la actividad de medida, la recopilación de los resultados como pruebas. El proyecto PACKS discutido más arriba encontró una ausencia de comprensión de ideas relativas a la recopilación y a la evaluación de los resultados empíricos lo que representa una debilidad mayor de numerosos trabajos de los alumnos. Utilizando un instrumento de investigación para recabar las respuestas de los alumnos en las preguntas del diagnóstico implicando la interpretación de la evaluación de los resultados, Lubben y Millar (al parecer) proponen una secuencia de niveles de comprensión de la medida en ciencia. Al más bajo nivel, los alumnos consideran la medida sin ningún tipo de problema: una medida cuidadosa produce un valor “verdadero”. En un nivel intermedio, los alumnos están conscientes de la posibilidad de error, y pueden saber que la reiteración de las medidas es un medio de mejorar sus resultados, pero ellos consideran siempre que un valor no puede ser evaluado sino por la intervención de una autoridad exterior (un profesor, un libro de resultados). El nivel más elevado implica la comprensión de la manera como la variación, después de lecturas repetidas puede ser utilizada para evaluar la “fidelidad” de una medida. Séré y sus colegas (1993) hacen un informe de las comprensiones de las ideas similares en un nivel más avanzado, los estudiantes de la universidad.

La significación de este tipo de comprensión es mostrada claramente en un estudio reciente (Bailey y Millar, 1996) en la cual se solicitó a los alumnos (en edades de 11 a 16 años) de sacar conclusiones a partir de los cuadros de resultados extraídos de experiencias variadas. En ciertas preguntas, los resultados “ideales” eran presentados, con una medida de la variable dependiente para cada combinación de valores de las variables independientes, sin cambios para la variable dependiente cuando una variable independiente es modificada sin ningún efecto. que no tenía un efecto siendo modificado. Una cuestión paralela presentaba resultados mas realistas, dando cada vez tres lecturas repetidas de la variable dependiente, y presentando cambios débiles en el valor medio de la variable dependiente (pero en la selección de las lecturas repetidas) cuando una variable independiente era modificada sin presentar ningún efecto. La capacidad de los alumnos de obtener la conclusión esperada y explicar su razonamiento es sensiblemente pobre para el segundo tipo de preguntas, y las respuestas correctas provenían de los alumnos que habían respondido correctamente a la pregunta relativa a los resultados “ideales”. Esto sugiere que, la comprensión de la manera de evaluar si las pequeñas diferencias son de las pruebas de un efecto real o son simplemente dadas a las incertidumbres experimentales, presenta un problema

suplementario y más o menos importante para los alumnos, más que de las exigencias de razonar lógicamente sobre las variables.

Enseñar (y hacer de la investigación) la comprensión de los alumnos sobre la investigación científica: una manera de ir más lejos.

Como ya se señaló previamente, en la mayor parte de los campos científicos, hay un acuerdo general sobre los tipos de comprensión que debemos desarrollar en la enseñanza científica, y los tipos de tareas que deseamos que los alumnos sean capaces de realizar correctamente. A la vista de los procedimientos de la investigación científica, es menos importante el acuerdo relativo a los dos aspectos anteriormente mencionados. Una primera exigencia, es de gran claridad, sobre lo que deseamos que nuestros alumnos sean capaces de hacer: si deseamos que ellos sean mejores en la realización de una investigación científica realizada por ellos mismos, entonces tenemos necesidad de ponernos de acuerdo sobre los tipos de tareas que consideramos como una “investigación científica”. Entonces seríamos capaces de analizar los tipos de comprensiones requeridas para realizar tales tareas, y de descubrir los modelos para unir los aspectos de la comprensión y los del rendimiento. En el estado actual de las cosas, el modelo desarrollado por el proyecto PACKS (Figura 2) es el modelo disponible más detallado. Un factor importante de ese modelo es que no representa la investigación científica como “gobernada por las reglas”. La considera, más bien, como implicando una investigación de los conocimientos disponibles dentro de las cuatro subcategorías. Sin embargo, sería necesario más trabajo para probar y mejorar ese modelo. Por ejemplo, tenemos necesidad de saber más sobre el tipo de elementos de memorias recordatorias: pertenecen a hechos aislados, o de principios, o son más probablemente, de “escenarios” más generales salidos de la vida cotidiana o de las experiencias escolares previas? Y cómo podemos ayudar a los alumnos a acceder a sus propios conocimientos notables y útiles para responder a una tarea dada?

Desde el enfoque del profesor, yo pienso que el es de un gran auxilio al considerar la transformación de las tareas de investigaciones prácticas como esencialmente basadas en los conocimientos (más, por ejemplo, que de imaginar como revelando las “competencias”, que es un término definido de manera aproximativa). Numerosos estudios han mostrado que los conocimientos del contenido de la ciencia son muy importantes: más ustedes conocen sobre la idea de la ciencia que están ligadas a una investigación, mejor (dentro de una perspectiva científica) podrá ser su investigación. Pero otros campos de la comprensión son igualmente importantes. Entre esos se encuentran:

- una comprensión clara del objetivo de la investigación (en ciencia, dirigida hacia la explicación más que hacia la optimización de un objeto o de un efecto)
- una comprensión de la idea de una variable, y del control de las variables en las experiencias variadas
- una comprensión del problema relativo a la recopilación de resultados válidos y confiables, y de la manera de evaluar la validez y la confiabilidad de los resultados recabados.

Ese programa para la enseñanza genera igualmente un programa de investigación, sobre la comprensión de los alumnos y la manera de desarrollarla, y sobre la eficacia de tipos específicos de intervenciones en la enseñanza.

En fin, Todo esto vale la pena notar que esta comprensión no es solamente importante en el contexto de la investigación por los alumnos. Ella es igualmente esencial en los programas de enseñanza en los cuales los alumnos no han concebido y realizar investigaciones en ciencia. Cuando los alumnos no comprenden esas ideas claves sobre la investigación científica, ellos tienen bases relativamente débiles para vincularse en discusiones de clases sobre la interpretación de los resultados salidos de ejercicios prácticos y de demostraciones hechas por el profesor teniendo como objetivo ilustrar y proveer de justificaciones para la aceptación de las ideas científicas establecidas. La comprensión procedimental no es un suplemento opcional; ella escalona la enseñanza y el aprendizaje del contenido de la ciencia.

Referencias

American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1967). *Science - A Process Approach*. Washington, DC: AAAS.

Assessment of Performance Unit (APU) (1987). *Assessing Investigations at Ages 13 and 15. Science Report for Teachers: 9*. London: DES/WO/DENI.

Atkinson, P. and Delamont, S. (1977). Mock-ups and cock-ups - the stage management of guided discovery instruction. In P. Woods and M. Hammersley (eds.), *School Experience: Explorations in the Sociology of Education* (pp. 87-108). London, Croom Helm.

Bailey, S. and Millar, R. (1996). *From logical reasoning to scientific reasoning: students' interpretation of data from science investigations*. Science Education Research Paper 96/01. Department of Educational Studies, University of York.

Bredderman, T. (1983). Effects of activity-based elementary science on student outcomes: a quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, 53 (4), 499-518.

Department of Education and Science/Welsh Office (DES/WO) (1989). *Science in the National Curriculum*. London: HMSO.

Erickson, G., Bartley, R.W., Blake, L., Carlisle, R.W., Meyer, K. and Stavy, R. (1992). *British Columbia assessment of science 1991 technical report II: Student performance component*. Victoria, B.C.: Ministry of Education and Ministry Responsible for Multiculturalism and Human Rights.

Erickson, G. (1994). Pupils' understanding of magnetism in a practical assessment context: the relationship between content, process and progression. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (eds.), *The Content of Science* (pp. 80-97). London: Falmer.

- Finlay, F. (1983). Science processes. *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (1), 47-54.
- Gott, R. and Duggan, S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Gott, R. and Welford, G. (1987). The assessment of observation in science. *School Science Review*, 69 (247), 217-27.
- Hainsworth, M.D. (1956). The effect of previous knowledge on observation. *School Science Review*, 37, 234-42.
- Harris, D. and Taylor, M. (1983). Discovery learning in school science: The myth and the reality. *Journal of Curriculum Studies*, 15 (3), 277-89.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71 (256), 33-40.
- Inhelder, B. and Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Karplus, R., Karplus, E., Formisane, M. and Paulsen, A.C. (1979). Proportional reasoning and control of variables in seven countries. In J. Lochhead and J. Clement (eds.), *Cognitive Process Instruction* (pp. 47-103). Philadelphia, PA: Franklin Institute Press.
- Klahr, D. and Dunbar, K. (1988). Dual search space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12 (1), 1-48.
- Kuhn, D. and Angelev, J. (1976). An experimental study of the development of formal operational thought. *Child Development*, 47, 697-706.
- Kuhn, D. and Brannock, J. (1977). Development of the isolation of variables scheme in experimental and 'natural experiment' contexts. *Developmental Psychology*, 13 (1), 9-14.
- Lawson, A.E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (7), 569-617.
- Linn, M.C. (1980). Teaching students to control variables: some investigations using free choice experiments. In S. Mogdil and C. Mogdil (eds.), *Towards a Theory of Psychological Development* (pp. 673-97). Windsor, NFER.
- Linn, M.C., Clement, C. and Pulos, S. (1983). Is it formal if it's not physics? (The influence of content on formal reasoning). *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (8), 755-70.
- Lock, R. (1993). Assessment of practical skills. Part 2. Context dependency and construct validity. *Research in Science and Technological Education*, 8 (1), 35-52.

Lubben, F. and Millar, R. (forthcoming). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, in press.

Millar, R. (1990). A means to an end: The role of processes in science education. In B. Woolnough (ed.), *Practical Science* (pp. 43-52). Milton Keynes: Open University Press.

Millar, R. and Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

Millar, R., Lubben, F., Gott, R. and Duggan S. (1994). Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9 (2), 207-248.

Rowell, J. A. and Dawson, C.J. (1984). Controlling variables: Testing a programme for teaching a general solution strategy. *Research in Science and Technological Education*, 2 (1), 37-46.

Schauble, L., Klopfer, L.E. and Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 859-882.

Séré, M.-G., Journeaux, R. and Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement error. *International Journal of Science Education*, 15 (4), 427-438.

Shymansky, J.A., Kyle, W.C. and Alport, J.M. (1983). The effects of new science curricula on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 387-404.

Song, J. and Black, P. J. (1991). The effect of task contexts on pupils' performance in science process skills. *International Journal of Science Education*, 13 (1), 49-58.

Song, J. and Black, P. J. (1992). The effect of concept requirements and task contexts on pupils' performance in control of variables. *International Journal of Science Education*, 14 (1), 83-93.

Wellington, J.J. (1981). 'What's supposed to happen, sir?' - some problems with discovery learning. *School Science Review*, 63 (222), 167-73.

Wollman, W. and Lawson, A.E. (1977). Teaching the procedure of controlled experimentation: A Piagetian approach. *Science Education*, 61, 57-70.

Wollman, W. (1977). Controlling variables: Assessing levels of understanding. *Science Education*, 61, 371-83.

ⁱ Nota de los traductores
la palabra inglesa traducida por investigación es "inquirir" que puede también ser traducida por encuesta.
ⁱⁱ "Science education" ha sido traducida por "didáctica de las ciencias"
ⁱⁱⁱ "laboratory" en la versión inglesa
^{iv} "science educators" ha sido traducido por "didácticos de las ciencias"