

ESTUDIOS DE EDUCACION

LOS ADOLESCENTES Y EL
APRENDIZAJE DE LAS
CIENCIAS

Iñigo Aguirre de Cárcer





LOS ADOLESCENTES Y EL
APRENDIZAJE DE LAS
CIENCIAS



MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION
Y DOCUMENTACION EDUCATIVA
Madrid, 1985

MAQUETA DE LA COLECCION
Luis López Gil

ILUSTRACION CUBIERTA
García Ramos



**LOS ADOLESCENTES Y EL
APRENDIZAJE DE LAS
CIENCIAS**

Premio 1983 de Breviarios de Educación

Iñigo Aguirre de Cárcer
Universidad Autónoma de Madrid

ESTUDIOS DE EDUCACION



© MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
Centro Nacional de Investigación y Documentación Educativa
© Iñigo Aguirre de Cárcer

Primera edición: Octubre de 1985. Tirada 2.000 ejemplares
Edita: Servicio de Publicaciones del Ministerio
de Educación y Ciencia

Impreso en España por AGISA
Tomás Bretón, 51 – 28045 MADRID
Depósito Legal: M-34183-1985 I.S.B.N. 84-369-1247-0



INDICE

PROLOGO	9
PREFACIO	11
I. INTRODUCCION	15
II. INVESTIGACION BASICA Y ACTUACION EN EL AULA ..	17
III. APLICABILIDAD DE LA TEORIA DE PIAGET A LA REA- LIDAD DEL AULA	21
III.1. El desarrollo intelectual según J. Piaget	22
III.2. El razonamiento de los alumnos a partir de la 2. ^a eta- pa de E.G.B.	25
III.3. El techo teórico: investigaciones actuales sobre la transición al pensamiento formal	31
IV. EL MODELO PIAGETIANO COMO «PARADIGMA» EXPLI- CATIVO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	39
IV.1. Aprendizaje de contenidos y nivel de desarrollo	40
IV.2. Las operaciones formales y el aprendizaje de la Ciencia	44
IV.3. Comprensión de las explicaciones y nivel de desa- rrollo	46
IV.4. Explicaciones espontáneas de los alumnos sobre fe- nómenos naturales	56
V. METODOS DE INSTRUCCION PARA LA ENSEÑANZA DE CONTENIDOS FORMALES: FACTORES A TENER EN CUENTA	61
V.1. La interacción social	61
V.2. La experiencia física	65
V.3. La autoequilibración	71
V.4. Los «Ciclos de Aprendizaje» como síntesis de algunos resultados piagetianos	73
VI. BIBLIOGRAFIA	77
VII. APENDICES	85



Prólogo

No parece muy aventurado afirmar que las relaciones de la psicología y la educación en nuestro país, y probablemente en muchos otros, son las correspondientes a la clásica pareja mal avenida. No pueden concebirse la una sin la otra, pero, al mismo tiempo, tampoco acaban de encontrar el ajuste adecuado, ese grado óptimo de colaboración que debería darse entre dos disciplinas con tantos puntos de contacto. En este sentido creo que algunos malentendidos muy habituales residen en lo siguiente. Por un lado, los psicólogos tendemos a veces a considerar los problemas educativos, sobre todo los relacionados con los procesos de enseñanza-aprendizaje, desde una visión excesivamente centrada en nuestra propia disciplina. Así, por ejemplo, se encuentra muy extendida la opinión de que para que se produzca una correcta asimilación de los contenidos escolares basta con conocer su dificultad en términos de la demanda o exigencia cognitiva que imponen a la mente del alumno. Como es sabido, esto es una cuestión importante e incluso decisiva a la hora de seleccionar contenidos para un currículum escolar, pero obviamente no es la única, ni mucho menos, porque, en definitiva, los problemas educativos no pueden reducirse a los datos que nos proporcionan las investigaciones sobre el desarrollo cognitivo de los alumnos. En este orden de cosas a mí me sigue pareciendo una buena metáfora la que solía utilizar Piaget al comparar el funcionamiento psicológico con el de un automóvil. Los aspectos afectivos y motivacionales vendrían a ser la gasolina y los intelectuales el motor. Obviamente es esencial conocer la estructura de ese motor, pero siempre y cuando no olvidemos que sin una gasolina adecuada, en cantidad y calidad, el coche no podrá funcionar, es decir, no habrá comprensión ni aprendizaje. Así, quizá no está de más insistir en la necesidad de que nuestras clases, en cualquier nivel de la enseñanza, no sólo deben estar bien diseñadas, cognitivamente y disciplinariamente; sino que también tendrían que poseer una buena dosis de atractivo e interés para los alumnos.

En mi opinión, este libro, claro y bien diseñado, de I. Aguirre de Cácer, posee un buen número de cualidades en relación con lo anteriormente dicho. En primer lugar creo que su autor no sólo ha sabido presentar la teoría piagetiana sobre las operaciones formales con una gran claridad, lo

cual es ya un mérito habida cuenta de lo farragoso del tema, sino que ha logrado exponer con claridad la relación tan directa que poseen dichas operaciones con numerosas nociones científicas que se enseñan a partir de la adolescencia. Por otro lado, creo que es muy oportuno que el autor de las páginas que siguen haya enfocado el desarrollo del pensamiento formal en directa relación con los procesos de aprendizaje, así como con los distintos aspectos que influyen en este último. Sin lugar a dudas, dicho enfoque realizará una contribución decisiva a deshacer una posición que cada vez parece encontrarse más extendida. Me refiero a la visión de las operaciones formales como si fueran test de inteligencia. De esta manera se llega a una visión completamente estática de la teoría de Piaget, que dista mucho de coincidir con las posiciones originales de la escuela de Ginebra. De esta manera se puede llegar a la formulación de verdaderas coartadas tanto para el profesor como para el psicólogo educativo. Es decir, si llegamos a decir con demasiada frecuencia cosas como «este alumno no entiende tal noción porque no ha llegado a las operaciones formales» o «este concepto no debe introducirse en tal curso de ninguna manera porque es demasiado formal», podemos llegar a mantener posiciones excesivamente simplistas e ineficaces. Es obvio que los actuales programas de EGB y BUP están sobrecargados y repletos de conceptos que no deberían incluirse en un determinado nivel y a los que, en cualquier caso, habría que dedicar más tiempo y recursos educativos. Sin embargo, esto no nos debe llevar a plantear una excesiva rebaja en los contenidos ni a pensar que en la escuela sólo es necesario enseñar métodos o destrezas de pensamiento. Los contenidos, convenientemente organizados y secuenciados, también deben cumplir su papel.

Por último, no podemos olvidar que la investigación actual ha mostrado que las operaciones formales no son utilizadas por la mayoría de los adolescentes y adultos con tanta frecuencia como pensaban Inhelder y Piaget, pero también ha hecho ver que su puesta en marcha depende en buena medida de las estrategias de aprendizaje que se utilizan con los alumnos. En este sentido parece sensato recordar que hace unos cincuenta años otro gran psicólogo —F. Bartlett, cuya obra se encuentra estrechamente relacionada con la de Piaget— mantenía que el pensamiento era, en gran medida, una habilidad y no sólo una estructura. Es decir, una capacidad que debe practicarse y actualizarse de las formas más diversas si queremos que funcione, durante toda la vida, a pleno rendimiento. Creo que el conocimiento detallado, y a la vez pragmático, que ofrece este libro sobre el pensamiento formal puede ser muy útil a los profesores, sobre todo porque hace ver que las operaciones formales no son solamente un punto de partida, una *conditio sine qua non*, sino también un punto de llegada, algo que nuestros alumnos deberán manejar mejor al final de cada curso. Por último sólo me queda señalar que pienso que este libro puede ser enormemente útil a los profesores, en particular a los de ciencias, pero también los psicólogos, puesto que está escrito por un docente que posee numerosos conocimientos psicológicos, pero que ha tratado, en todo momento, de aplicarlos de manera constructiva a los problemas educativos.

Mario Carretero

Profesor de Psicología Evolutiva
Universidad Autónoma de Madrid



Prefacio

En este trabajo se intenta presentar una panorámica de las investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales de los últimos años, surgidas como consecuencia de las aportaciones que realizaron Piaget y su escuela acerca del desarrollo del razonamiento en el ser humano. Estas aportaciones han provocado que los investigadores en didáctica prestaran atención a las características del alumno que aprende ciencia, una variable del proceso de aprendizaje hasta entonces olvidada. La aportación que más ha influido en estas investigaciones es la idea que no todos nuestros alumnos razonan de la misma forma y que pocos de ellos razonan como lo hacemos sus profesores. Además de este hecho, la mayor parte de las investigaciones más recientes tienen en cuenta otro de los asertos piagetianos: el aprendizaje no se realiza escribiendo o transmitiendo información a unos cerebros que transcriben ésta de una forma directa en la memoria, sino que las posibilidades de asimilar y utilizar esa información están gobernadas por una serie de factores, entre los cuales destacan las características del nivel evolutivo en el que se encuentra el desarrollo intelectual del alumno.

Más recientemente se están incorporando otras ideas que también tienen que ver con las características del alumno que aprende. Entre éstas destaca la noción de que la información científica que intentamos transmitir no se registra sobre unos cerebros que permanecen hasta ese momento vírgenes respecto a ese área de la ciencia. Los niños y adolescentes han desarrollado una «filosofía natural» propia como consecuencia de todas las interacciones que han experimentado con el mundo físico hasta el día en que se les ha intentado transmitir en el aula nuestra herencia cultural científica. Existe, por tanto, una «física» y una «química» en la mente de los niños y adolescentes que consigue explicar aspectos parciales del funcionamiento de la Naturaleza que les han llamado la atención y que resulta poseer un elevado grado de coherencia interna. Esta «ciencia» espontánea no coincide en múltiples ocasiones con la ciencia que intentamos transmitir, pero constituye «unas explicaciones alternativas» mucho más convincentes que la ciencia que han recibido por parte de sus profesores. De este modo, años después de ofrecerles las explicaciones que mantiene en la actualidad la comunidad científica, las personas en situaciones no

escolares siguen utilizando sus «explicaciones alternativas». Posiblemente el tema de moda en la primera mitad de la década de los ochenta sea la investigación y descripción de las explicaciones espontáneas de los alumnos (Pope y Gilbert, 1983; Fensham, 1983). A ello contribuye un resultado surgido en las primeras investigaciones en esta línea, según el cual, no resulta fácil borrar las grabaciones correspondientes a la ciencia espontánea y sustituirlas por una versión, de fácil digestión, del paradigma científico actual.

En este trabajo se revisan gran número de investigaciones y se aportan algunos datos nuevos; con ello se intenta desentrañar el significado de lo que sabemos hasta ahora sobre la relación entre el aprendizaje de las ciencias experimentales y el desarrollo intelectual del alumno. La revisión no es exhaustiva, pero intenta tocar todos los aspectos relevantes, de modo que los profesores interesados en investigar en el aula dentro de este marco teórico, dispongan de unas referencias bibliográficas para iniciar sus indagaciones. Se ofrecen explícitamente pocos resultados como propuestas de actuación en el aula, ya que se sugiere que el profesor examine en el aula las potencialidades didácticas de los resultados de estas investigaciones.

El primer capítulo de este trabajo, «Investigación básica y actuación en el aula», tiene por objeto ofrecer un marco de referencia que el profesor pueda utilizar para situar su labor de investigador en el aula, y valorar, en el marco que le es propio, los resultados de las investigaciones que se exponen en el resto de la obra.

En el segundo capítulo se pretende proporcionar argumentos para justificar la utilidad del «marco conceptual piagetiano» como guía de las investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales. Ello no implica descartar resultados procedentes de investigaciones surgidas al amparo de otros marcos teóricos, ni negar la posibilidad de interpretar los resultados que expondremos de otra forma. En este capítulo se da una visión sucinta de las ideas de Piaget sobre el desarrollo intelectual, haciendo mayor énfasis en su explicación de la dinámica del desarrollo y en las características intelectuales de los alumnos que estudian ciencia en nuestro sistema educativo. También se intenta resumir las limitaciones actuales del marco teórico que se utiliza en el trabajo. La sección titulada «El techo teórico: investigaciones actuales sobre la transición al pensamiento formal» tiene ese objeto. Esta sección exigirá un mayor esfuerzo por parte del lector, que deberá decidir si su interés por el tema le compensa intentar entender esta primera aproximación a las dificultades con que tropieza la teoría de Piaget en la actualidad.

A continuación se abordan las investigaciones que han permitido pensar que el modelo piagetiano puede resultar útil para explicar parte de los resultados procedentes de las investigaciones en la didáctica de las ciencias experimentales. Así se examina el aprendizaje de contenidos científicos por alumnos de distintos niveles de desarrollo; se analizan las posibles dificultades de comprensión de las explicaciones que ofrecemos en las aulas; se exploran las consecuencias que «las explicaciones espontáneas» de los alumnos tienen sobre el rendimiento de nuestra enseñanza de la ciencia.

El último capítulo intenta delinear algunas ideas susceptibles de ser instrumentalizadas por el profesor en su aula. Los resultados que se ofrecen entran dentro de una perspectiva sobre la utilidad de la teoría de Piaget, más centrada en la descripción del mecanismo del desarrollo intelectual que en la teoría de los estadios de desarrollo.

Estimo que este trabajo habrá merecido la pena realizarlo si algún profesor decide iniciarse en el camino de las investigaciones en el aula o bien si algún lector logra incorporar algunas de las ideas que se exponen, en su actuación en el aula.



I. Introducción

El maestro o profesor que concibe su tarea como organizador de las experiencias que facilitarán el aprendizaje de sus alumnos tiene ante sí un problema con cientos de variables. Un buen número de éstas están condicionadas socialmente y en nada propician que el alumno se disponga a aprender. La falta de interés de los alumnos hacia los contenidos de los programas oficiales, la uniformidad y la pobreza de estímulos del entorno físico donde debe aprender, los bruscos cambios de actitud que debe realizar para acomodarse al estilo de cada profesor con cada cambio de clase a lo largo del día y la percepción de una escasa rentabilidad de sus estudios en el futuro, convierten el aula en un recinto donde muy pocas de esas «maravillosas máquinas de aprender», como en ocasiones se ha llamado a los alumnos, funcionan con un mínimo de eficacia.

Algunos profesionales de la enseñanza ante la posibilidad de perder el gusto por su trabajo han acudido a sus compañeros con más años de docencia, o a las instituciones dedicadas a la formación pedagógica del profesorado, en busca de directrices detalladas para salvarse de la catástrofe. La ineficacia o la ausencia de las mismas provoca en seguida, en gran parte de ellos, el desánimo. Los que aún persisten en no conformarse con la realidad escolar, pulsán pacientemente una combinación de palancas que afectan a las variables que aún se pueden manipular. La naturaleza de estas variables se ha ido intuyendo a través de la observación atenta de los alumnos o en algún cursillo de perfeccionamiento; pero estas variables influyen en menor grado que las anteriores sobre el rendimiento del alumno. El derroche de esfuerzo por parte del profesor en estos casos minoritarios da lugar a una mejora en el rendimiento de sus alumnos, pero ésta es difícilmente evaluable.

Esta situación impulsa a algunos a intentar adquirir conocimientos acerca del proceso que les interesa: el aprendizaje de sus alumnos. Para ello recurren, en busca de teorías del aprendizaje, a las ciencias que estudian al hombre y que parecen estar relacionadas con la educación. La teoría del desarrollo intelectual de J. Piaget es una de estas áreas de conocimientos y en el momento actual parece estar de moda.

A partir de la década de los sesenta surgieron las primeras obras con

títulos que relacionaban la teoría de Piaget y la enseñanza. Casi todas ellas iban dirigidas a prescribir comportamientos didácticos para los primeros cursos del sistema escolar. Una vez más defraudaron a los maestros que buscaban el «recetario científico». Por ello, cuando intentamos indagar las posibles aportaciones de la teoría de Piaget al problema de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales, hay que evitar caer en la trampa de esperar de ella soluciones fáciles y aplicables inmediatamente en el aula, porque, entre otras cosas, ese no es su papel. En la discusión que realizaremos a continuación intentaremos analizar las relaciones que deben existir entre la investigación básica y la actuación en el aula.



II. Investigación básica y actuación en el aula

Gideonse propone una imagen del proceso de aplicación de los conocimientos adquiridos en la investigación básica compuesta por tres niveles paralelos (Gideonse, 1968). Cada uno de estos niveles tiene objetivos diferenciados y responde a necesidades distintas.

En un primer lugar se sitúa la práctica cotidiana de profesores y planificadores educativos. En él se utilizan aquellas formas de actuar que dan la impresión de ser eficaces para la obtención de unos objetivos educativos. Estos objetivos educativos constituyen el resultado esperado por el profesor o la sociedad.

En un plano intermedio se centra la actividad en obtener innovaciones educativas: métodos didácticos, técnicas de enseñanza, materiales didácticos, formatos organizativos, etc. Aquí se intenta obtener innovaciones potencialmente útiles para la práctica educativa. Este nivel podríamos llamarlo de investigación aplicada y desarrollo de innovaciones.

Por último, el nivel superior representa las actividades de investigación cuya finalidad es aumentar nuestros conocimientos sobre un área determinada. Entre estos conocimientos se debe incluir, por ejemplo, información fidedigna de la realidad de nuestro sistema educativo, principios o teorías de instrucción y teorías del aprendizaje en diferentes contextos.

Gideonse apunta que las actividades deben realizarse simultáneamente en los tres niveles, ya que, en su opinión, el flujo de información desde la investigación básica hacia la práctica educativa no sigue un modelo lineal. El proceso puede iniciarse en uno de los niveles, afectando a las actividades de alguno o de los otros dos niveles. Así, al identificarse un problema determinado en la práctica educativa puede iniciarse un proyecto de innovación o desarrollo que presumiblemente resulte eficaz en esa situación. Sin embargo, al planificar y llevar a cabo estas actividades, en muchas ocasiones es necesario contar con la información que sólo puede obtenerse realizando una investigación básica o aplicada específica.

El proceso global tendrá interés para el sistema educativo solamente si el flujo de información es suficientemente rápido, de manera que no

quede rezagado frente al ritmo de cambio propio de las reformas educativas. Para ello es necesario contar con un «saber hacer» en el segundo y tercer nivel, que sólo se consigue cuando existe un potencial humano que haya trabajado en problemas similares, es decir: que la actividad en los tres niveles sea simultánea, paralela y específica de los problemas de cada nivel.

Una innovación se introduce en el sistema educativo a través de una serie de etapas que no conviene eludir. Estas etapas tienen como fin sopesar los efectos positivos o negativos que origina. En primer lugar debe evaluarse en un aula experimental; ya sea en un centro piloto o en cualquier otro centro que reúna unas condiciones que permitan un análisis detallado del proceso mientras éste tiene lugar. Si la experiencia resulta positiva y sin efectos secundarios, que se verían amplificadas en un contexto más representativo de la realidad escolar, vale la pena seguir adelante. Se entraría con ello en la experimentación del proceso de innovación en un grupo de aulas que fuéren representativas del conjunto que constituye el sistema escolar. Tras analizar los resultados de esta amplia evaluación, se estará en condiciones de aislar los elementos que producen resultados positivos, identificando además el tipo de situaciones en los que son válidos. Por fin se estará en condiciones de proporcionar una serie de prescripciones, «recetas», que se pueden utilizar con cierta seguridad.

Aun en este caso el profesor debería utilizar la «receta» con cautela, ya que, como sostiene Dib, la posibilidad de transferir resultados de investigaciones educativas depende de muchos parámetros que pueden variar significativamente en aulas pertenecientes a distintas regiones o medios sociales (Dib, 1980). Este autor, al analizar el fracaso que supuso la implantación de los proyectos curriculares, textos y materiales de laboratorio norteamericanos para la enseñanza de la física en Latinoamérica, concluye que toda transferencia de resultados en forma de procesos educativos o productos finales tiene pocas probabilidades de adecuarse a aulas con características distintas de aquellas para las que fueron creadas. Sin embargo, las posibilidades aumentan cuando la transferencia se realiza al nivel de los principios inspiradores de aquellos productos, y cuando estos principios son transformados en procesos y productos por profesores conocedores de la realidad que viven las aulas en cuestión (Dib, 1980).

Estas innovaciones potencialmente útiles pueden surgir de otras innovaciones desarrolladas con anterioridad, o bien como ideas fértiles emanadas de la actividad de investigación.

Las relaciones entre el nivel de investigación y el de desarrollo de innovaciones son algo más complejas que las que hemos analizado anteriormente. Nos ocuparemos de éstas a continuación.

Snelbecker señala tres vías de aproximación con las que la Psicología puede ayudar a resolver los problemas de la enseñanza. Estas son: las teorías de aprendizaje, las teorías de instrucción y los diseños psicoeducativos (Snelbecker, 1974). En mi opinión, estos conceptos explican las relaciones entre los niveles de investigación básica y desarrollo de innovaciones.

El diseño psicoeducativo lo define como el proceso mediante el cual los principios psicológicos son utilizados para mejorar la realidad educativa. Según este autor «resulta menos importante que uno se ajuste exclusivamente a una teoría psicológica que el que las ideas que se utilicen, independientemente de donde se hayan originado, manifiesten claramente o demuestren conseguir los objetivos educativos deseados». Si utilizamos la terminología que hemos empleado hasta ahora, el diseño psicoeducativo equivaldría a una innovación educativa basada, de alguna forma, en conocimientos psicológicos.

Por teoría de la instrucción entiende un conjunto de enunciados derivados de investigaciones correctamente realizadas, que nos permita predecir la forma en que quedará afectado el aprendizaje del alumno como consecuencias de las alteraciones que se introduzcan en el entorno educativo (Snelbecker, 1974). La enseñanza programada y las máquinas de enseñar, las ideas de Ausubel, Bruner, Bulgeski, Gagné y Rogers son ejemplos de teorías de instrucción; mientras que el condicionamiento clásico de Pavlov, el condicionamiento operante de Skinner y el aprendizaje por imitación de Bandura son ejemplos de teorías de aprendizaje.

Snelbecker afirma que las investigaciones psicológicas sobre el aprendizaje (investigación básica) pueden utilizarse para mejorar la práctica educativa (desarrollo de innovaciones), al menos por tres caminos distintos. En primer lugar, tenemos algunas teorías del aprendizaje que se utilizan como soportes conceptuales para organizar los resultados de las investigaciones psicológicas sobre el aprendizaje. Las teorías de instrucción, basadas o relacionadas, en ocasiones, con investigaciones psicológicas sobre aprendizaje, constituyen medios para organizar la información y guiar investigaciones sobre métodos de instrucción con una base científica. Por último, los diseños psicoeducativos pueden contemplarse como un medio con el cual diseñar innovaciones educativas a partir de teorías del aprendizaje, teorías de instrucción y otras fuentes de ideas (Snelbecker, 1974).



III. Aplicabilidad de la teoría de Piaget a la realidad del aula

En la vasta obra que dirigió Jean Piaget, nos interesa resaltar sus trabajos sobre la evolución del razonamiento desde el nacimiento del niño hasta el final de la adolescencia. Piaget y su escuela de Ginebra no enfocaron sus trabajos intentando perfilar una teoría del aprendizaje. Sin embargo, a partir de los años sesenta un buen número de investigadores se interesó en utilizar sus teorías como marco conceptual para investigar problemas relacionados con el aprendizaje escolar. Nacen así distintos intentos de desarrollo de teorías de instrucción basadas en los descubrimientos de Piaget. Estos trabajos han sido especialmente fecundos en dos áreas: la enseñanza de las matemáticas y la enseñanza de las ciencias. Últimamente algunos investigadores relacionados con la didáctica de otras disciplinas han comenzado a descubrir la fertilidad de sus ideas (Jurd, 1978; Pozo y Carretero, 1983).

Las partes más depuradas y completas del cuerpo de conocimientos acerca del desarrollo intelectual tratan de la descripción del mismo desde el bebé hasta los once o doce años. Las teorías de instrucción para estas edades, preescolar y primeros ciclos de E.G.B., resultan relativamente sólidas. Inspirados en estas teorías se han puesto en práctica programas que sufren un buen número de niños. Desgraciadamente, nuestro nivel de conocimientos sobre lo que ocurre en las aulas es aún tan pequeño que imposibilita la realización de una evaluación completa de los resultados de estos programas en estos niveles.

El desarrollo teórico desde la época pre-adolescente hasta la madurez, se inició más tarde. En él, junto a unos conocimientos sólidamente fundados, persisten lagunas en la descripción realizada por la escuela de Ginebra. Hoy día muchos investigadores en Psicología evolutiva se esfuerzan en cubrir esas lagunas, comenzándose a formular teorías neopiagetianas. Las teorías de instrucción que se apoyan en estos conocimientos se encuentran con una descripción del desarrollo intelectual en la adolescencia más compleja que en las etapas anteriores. Además, con frecuencia, se alcanza el techo que impone el aún escaso desarrollo de la propia teoría de la que emana.

En lo que sigue nos vamos a centrar en el aprendizaje de las ciencias experimentales a partir del inicio de la adolescencia. Se intentará plantear el estado actual de las investigaciones que tienden a aportar datos para el desarrollo de una teoría de la instrucción válida en este dominio. Comprobaremos que aún dista mucho de poder explicar lo que ocurre en nuestras aulas, aunque sí es capaz de dar cuenta de algunos fenómenos. En estas circunstancias, es lógico pensar que el número de innovaciones educativas a que ha dado lugar hasta el momento sea escaso. Sin embargo, utilizadas adecuadamente pueden ser eficaces en determinados momentos.

III.1. El desarrollo intelectual según J. Piaget

Antes de entrar en el detalle de las investigaciones sobre el aprendizaje de contenidos científicos, debemos dar una visión, aunque sea somera, del desarrollo intelectual del ser humano según J. Piaget; a continuación analizaremos con más detalle la descripción piagetiana de la evolución intelectual del adolescente.

Piaget inicia su carrera científica en Biología. Publica, desde muy joven, trabajos de malacología. Realiza su tesis doctoral sobre la adaptación de una especie de moluscos a los distintos nichos ecológicos de medios lacustres. En ella expone que las diferencias en las estructuras de estos moluscos se deben a una adaptación que intenta alcanzar el mayor grado de equilibrio entre el organismo y el medio ambiente que le rodea. El mecanismo de adaptación está compuesto por dos procesos complementarios que se suceden alternativamente: la asimilación a unas pautas de comportamiento y la acomodación de sus estructuras.

En una situación de relativo equilibrio con su entorno, el animal actúa asimilando los estímulos externos que le proporciona el medio. Las estructuras que posee le permiten interaccionar ante un conjunto de estímulos similares, mediante unos esquemas de acción. Cuando se producen cambios en las condiciones exteriores y, por tanto, una rotura del equilibrio relativo, fracasan los esquemas de acción anteriores. En estas circunstancias el animal se adapta, acomodando sus estructuras internas lentamente. Este proceso de acomodación finaliza con unas nuevas estructuras que le posibilitan asimilar los estímulos mediante nuevos esquemas de acción. El animal encuentra así una forma de equilibrio más estable. Los cambios que tienen lugar en el entorno no pueden ser radicales, ya que las nuevas estructuras se originan a partir de las anteriores.

Más tarde, Piaget se traslada a París y allí participa con el doctor Simon en la adaptación de un test de inteligencia. En estos trabajos presta atención al tipo de errores que cometen los niños. Observa que existen errores sistemáticos en distintas edades. Esto le llevará a pensar que existen formas características de razonar en distintos períodos del crecimiento del niño, que son cualitativamente distintas.

Aún joven se plantea estudiar las etapas por las cuales va pasando el niño hasta alcanzar la inteligencia adulta. A partir de entonces se dedica a la epistemología genética; al desarrollo de una teoría que explique cómo evoluciona la construcción del conocimiento.

Los elementos biográficos que acabo de exponer pretenden facilitar la comprensión de la teoría del desarrollo intelectual, proporcionando un marco de referencia conceptual, fácilmente asimilable, que sirva de puente con la trama de conceptos piagetianos. La trayectoria intelectual de J. Piaget puede seguirse en una publicación reciente (Coll y Gilliéron, 1981).

Piaget entiende el desarrollo de la inteligencia como una prolongación del desarrollo biológico, estando gobernado por el mismo tipo de reglas de funcionamiento. A partir de un conjunto muy limitado de pautas de acción con las que el ser humano nace, se inicia un desarrollo continuo hasta llegar a las potencialidades intelectuales del adulto. El motor de este desarrollo es la búsqueda de un equilibrio mental con el mundo que le rodea. Ser capaz de comprender lo que ocurre a su alrededor; es decir, actuar sobre su entorno, transformarlo, comprender el proceso de transformación y, por tanto, comprender cómo está construido.

El mecanismo de comprensión de su entorno, o de la adquisición de conocimientos, no se produce por acumulación de información con la que se razona posteriormente. La posibilidad de comprender la información exterior depende de que se dispongan de las estructuras intelectuales adecuadas para asimilarla. Estas estructuras intelectuales sufren un proceso de evolución, ampliando su potencia y el campo donde pueden actuar. Para estudiar esta evolución se pueden adoptar dos vías distintas: estudiar las condiciones de equilibrio o seguir el proceso de construcción de las estructuras que caracterizan una etapa determinada. En lo que sigue utilizaremos la primera de ellas, ya que nos permitirá intuir cómo actúa la inteligencia.

El recién nacido posee una serie de reflejos innatos que son las únicas herramientas con las que puede interactuar con su entorno. Estos reflejos se utilizan indiscriminadamente con todo objeto que desea conocer, ya que son su único medio de intentar asimilar la realidad. Su utilización produce coordinaciones internas que dan lugar a unos esquemas de comportamiento, consistentes en sucesiones de acciones físicas o interiorizadas que se repiten y se utilizan con objetos diferentes. Al enfrentarse con una nueva situación intentará asimilarla (interiorizar su comportamiento) mediante los esquemas que posee. Las posibilidades de estos esquemas, una vez desarrollados plenamente mediante usos repetitivos, son limitadas. Esto produce una situación de desequilibrio, en la cual el individuo acomodará sus estructuras mediante coordinaciones de los esquemas que ya posee. Nacen así nuevas posibilidades intelectuales, cualitativamente distintas de las que tenía antes. En esta evolución de las estructuras podemos distinguir, aun cuando el proceso sea continuo, una serie de peldaños o de etapas.

Piaget agrupa las sucesivas etapas en unidades que abarcan períodos más o menos largos; así tenemos el estadio sensoriomotor, una fase preoperatoria, el estadio de las operaciones concretas y el estadio de las operaciones formales.

Examinaremos ahora los factores que son necesarios para que tenga lugar el desarrollo intelectual. De acuerdo con Piaget debemos considerar cuatro factores principales: maduración biológica, interacción con el

medio social, experiencia con el entorno físico y un último factor que aglutina los efectos de los demás y les da coherencia, la autorregulación.

La maduración biológica del sistema nervioso es un factor necesario para el desarrollo intelectual, pero esta maduración se alcanza, en los individuos normales, mucho antes de que suponga un freno a la evolución de su forma de razonar.

La influencia del ambiente social queda patente cuando se comprueba que la edad media en que los niños alcanzan los estadios resulta acelerada o retrasada según el ambiente cultural y educativo del niño. Así, en los primeros estudios de Piaget los niños parecían alcanzar el estadio de las operaciones formales a partir de los doce a los trece años. Las mismas pruebas fueron superadas por otro grupo tres o cuatro años más tarde, dentro de la misma cultura, pero en ambientes no tan estimulantes intelectualmente como los de la primera muestra de niños analizados.

Piaget distingue tres tipos diferenciados de experiencias adquiridas al interactuar con el ambiente físico o exterior. En primer lugar tenemos el ejercicio de una actividad directamente sobre unos objetos. Este ejercicio permite extraer dos tipos de experiencias: una de ellas permite acomodar las acciones que se realizan a las posibilidades del objeto; la otra, mediante una repetición activa, permite consolidar las operaciones intelectuales ligadas a esas acciones.

Otro tipo consiste en obtener información de los objetos disociando una propiedad recién descubierta de las demás. A este tipo de abstracción la denomina experiencia física.

Por último, debemos considerar la llamada experiencia lógico-matemática. Lo fundamental de esta forma de experiencia no radica en las propiedades físicas de los objetos manipulados, sino en las propiedades que se pueden extraer de las acciones efectuadas sobre ellos. Para que se dé este tipo de experiencia sigue siendo imprescindible actuar de una forma real o imaginaria sobre los objetos. Piaget señala que la experiencia lógico-matemática resulta crucial cuando la deducción lógica o el cálculo aún no son posibles o frente a problemas en los que el individuo debe descubrir nuevos instrumentos deductivos.

Los tres factores que hemos mencionado hasta ahora carecen de un elemento que coordine los resultados para dar lugar a algo coherente: una operación mental o una nueva estructura. La autorregulación es, por tanto, un factor interno encargado de dar coherencia y equilibrar los distintos mecanismos. Su forma de actuar no es conocida, aunque sí es fácil de intuir para personas que como Piaget poseen un profundo conocimiento del funcionamiento de los sistemas biológicos. Su forma de actuar parece responder a un proceso de probabilidades sucesivas crecientes que marcan una dirección.

Creo que este concepto de autorregulación perderá, en un futuro próximo, buena parte de su carga de misterio. En efecto, Prigogine y su escuela han descubierto en los últimos años que la capacidad de autoorganizarse no es exclusiva de los seres vivos (Nicolis y Prigogine, 1977). Así, fenómenos tan poco organizados como las reacciones químicas en determinadas circunstancias, lejos del equilibrio, dan lugar a formas organi-

zadas; son los llamados relojes químicos. El cuerpo teórico que están construyendo también incluye un proceso de probabilidades sucesivas crecientes con unos puntos de bifurcación, en donde un proceso aleatorio determina la estructura final resultante. Esta teoría se muestra además extraordinariamente fértil para explicar fenómenos de sistemas abiertos en campos muy diversos: desde la construcción de nidos en los insectos sociales hasta en problemas de geografía urbana.

Podemos encontrar una descripción más ajustada de la teoría de Piaget en otro lugar (Piaget, 1981), siendo para ello muy recomendable utilizar el glosario de términos piagetianos que aparece en esa misma obra (Palacios y Ramírez, 1981). Una versión más escueta y fácil de digerir es la que proporciona J. Delval, 1976.

Puesto que nos interesa estudiar los problemas que se presentan en el aprendizaje de las ciencias experimentales a partir de la adolescencia, vamos a ver ahora las posibilidades intelectuales que, de acuerdo con la teoría de Piaget, tienen nuestros alumnos a partir de la segunda etapa de E.G.B. Ello nos obliga a entrar en la descripción del estadio de las operaciones concretas y el estadio de las operaciones formales.

III.2. El razonamiento de los alumnos a partir de la segunda etapa de E.G.B.

A partir de los doce años los niños de nuestro sistema escolar comienzan a recibir una enseñanza diferenciada en el área científica. Salvo excepciones, los niños de esta edad son capaces de pensar, de «razonar» como lo haría un adulto, aunque los instrumentos intelectuales que utilizan para ellos son bastante simples y no tienen la potencia característica de la etapa adulta. El razonamiento del niño es ahora «operatorio»; está basado en operaciones. Para Piaget una operación es una acción interiorizada del sujeto, reversible y coordinada con otras operaciones.

La acción que realiza el sujeto decimos que es interiorizada porque el niño se da cuenta de que está manipulando mentalmente unos objetos, aun cuando físicamente no lo lleve a término. Por ejemplo, el niño se plantea clasificar los electrodomésticos de su casa teniendo en cuenta su función en dos categorías; los que sirven para calentar algo y el resto. En este caso puede realizar la operación sin necesidad de colocarlos físicamente en habitaciones separadas. Estas operaciones son reversibles, ya que el niño es consciente de que puede llevar a cabo una acción que le devuelva a su punto de partida; es decir, realizar la acción complementaria. Por último, estas acciones interiorizadas no se realizan aisladamente, sino que se pueden coordinar con otras operaciones disponibles en ese momento del desarrollo.

Sin embargo, en el período operatorio podemos distinguir operaciones simples y con unas posibilidades de coordinación limitadas (las operaciones concretas); y otras operaciones, que han evolucionado a partir de las primeras, con un campo de actuación muy superior y que según Piaget pueden coordinarse de todas las formas posibles (operaciones formales). A la luz de las investigaciones realizadas hasta el momento en el área de la enseñanza de las ciencias, sólo este último tipo de operaciones permite

la comprensión de la ciencia que enseñamos a partir de la segunda etapa de E.G.B.

Estimo oportuno profundizar, aunque sea mínimamente, en la naturaleza de estas operaciones, ya que creo que son una de las «claves» de las dificultades que encuentran a diario nuestros alumnos en su esfuerzo por comprender. El conocimiento de las posibilidades intelectuales de nuestros alumnos permitirá que se abandone la noción de alumnos capaces (por ejemplo, listos; que entienden las cosas a la primera, motivados por el estudio de la asignatura, etc.) y de alumnos poco capaces (por ejemplo, tontos; que no-dan-más-de-sí, poco motivados a partir de los primeros exámenes del curso, etc.). Este conocimiento nos permitirá, quizá, utilizar métodos de instrucción más eficaces.

Antes de entrar en la caracterización de los subperíodos de las operaciones concretas y formales, recordemos que la teoría de Piaget intenta dar una explicación de cómo tiene lugar la evolución intelectual del ser humano de esta edad (como ente genérico), y no trata de explicar la forma de razonar de un individuo particular, ni cómo razona éste en situaciones tan particulares como las vividas habitualmente en nuestras aulas.

Período de las operaciones concretas

Las operaciones concretas son acciones mentales realizadas sobre objetos concretos que el sujeto tiene ante sí u objetos con los que está suficientemente familiarizado. Con estos objetos nuestro alumno puede realizar operaciones de lógica de clase y operaciones de lógica de relaciones. Estas operaciones lógicas tienen unas reglas de funcionamiento y una estructura que Piaget denomina agrupamientos. Sus propiedades pueden estudiarse en otro lugar (Flavell, 1976).

Entre las operaciones de clases, disponibles en la etapa concreta, nos encontramos con la composición y descomposición de clases en una jerarquía. Un ejemplo de esta operación ha sido mencionado ya, a propósito de la capacidad para clasificar los electrodomésticos caseros. El sujeto concreto es capaz de clasificar un conjunto de objetos de acuerdo con distintas características. Por ejemplo, los electrodomésticos caseros puede clasificarlos teniendo en cuenta el tipo de fuente energética que utilizan (red eléctrica, pilas, etc.). Las especies vegetales de un parque puede clasificarlas teniendo en cuenta diferentes dimensiones; árboles, arbustos, hierbas, etc.; con flores o sin flores, etc. Si el conjunto de elementos a clasificar está formado por sustancias químicas podrá clasificarlas respecto a su estado sólido o líquido. Puede volver a considerar el conjunto de sustancias y categorizarlas, en otra ocasión, respecto al color en que transforman al papel de tornasol, etc.

Respecto a las operaciones de relaciones, el sujeto concreto es capaz de establecer correspondencias uno a uno, o puede ordenar los objetos en una serie de acuerdo con el valor de una propiedad. Un alumno estaría utilizando esta operación si, con el dispositivo experimental adecuado, ordena una serie de materiales (sólidos o líquidos) teniendo en cuenta su conductividad. Además puede establecer correspondencias entre dos series ordenadas. Esta última operación le permite concebir que estos obje-

tos son ordenables en una matriz de doble entrada, teniendo en cuenta las magnitudes de esas dos propiedades diferentes (por ejemplo, al confeccionar una tabla periódica de clasificación de elementos con un número limitado de elementos).

Estas operaciones no agotan la descripción piagetiana del estadio de las operaciones concretas, pero creo que son las más relevantes para el aprendizaje de las ciencias. Los logros y limitaciones intelectuales en esta etapa han sido resumidos por J. Flavell de la siguiente forma:

1. «Las operaciones concretas son concretas en un sentido relativo, su actividad de estructuración y organización está orientada hacia cosas y hechos concretos del presente inmediato.»

2. «El hecho de que el niño del subperíodo operacional concreto esté aún (relativamente) ligado al aquí y ahora de los fenómenos, da lugar a una segunda limitación: deberá dominar las diversas propiedades físicas de los objetos y los fenómenos (masa, peso, longitud, superficie, tiempo, etc.) una a una, debido a que sus instrumentos cognoscitivos son insuficientemente "formales", insuficientemente desligados y disociados de la materia a la que se aplica, como para permitir una estructuración independiente del contenido particular, que sirva para todos los casos.»

3. «Los diversos sistemas operacionales concretos... existen como islotes de organización más o menos separados..., no se traban para formar un sistema simple, integrado, que permita al niño pasar sin inconvenientes de una estructura a la otra en el curso de un único problema» (Flavell, 1976, págs. 223-224).

Recientemente J. Delval ha descrito las características y potencialidades del período de las operaciones concretas de un modo asequible y completo (Delval, 1983).

Período de operaciones formales

Las operaciones formales constituyen la fase más avanzada del desarrollo del razonamiento lógico-matemático según la escuela ginebrina. La adquisición y utilización de estas operaciones está estrechamente relacionada con la asimilación de gran parte de los conceptos y procedimientos de resolución de problemas que se imparten en las aulas de ciencias a partir de la segunda etapa de E.G.B.

Al examinar las características del alumno en la etapa de las operaciones formales recordemos que la teoría de Piaget se interesa por la evolución de las formas de pensar (en concreto del razonamiento lógico-matemático) y por ello describe el razonamiento de un individuo genérico, el sujeto epistémico. El sujeto de sus investigaciones no es un individuo concreto y, por tanto, la descripción que realizan no tiene por qué ajustarse a la forma de razonar de nuestros alumnos «reales» ante problemas escolares específicos. En lo que sigue se describe la forma de actuar del individuo «formal» que intenta comprender algún aspecto de la realidad que lo circunda; en concreto, las diversas herramientas intelectuales que tiene a su disposición para llevar adelante su objetivo. En el aprendizaje

escolar raramente nos encontramos con situaciones de aprendizaje que persigan objetivos similares a aquél.

El sujeto formal indaga en la realidad utilizando en primer lugar las operaciones concretas con las que construye proposiciones. Estas proposiciones las combina de todas las formas posibles como paso previo a la búsqueda de las que son compatibles con los datos que la realidad le ofrece. Es decir, el gran salto intelectual consiste en considerar lo real como una parte de lo posible. Si además tenemos en cuenta que no necesita tener físicamente delante los objetos sobre los que actúa, nos daremos cuenta que el dominio sobre el que puede reflexionar se abre enormemente.

El razonamiento hipotético-deductivo, finalmente le permite poner a prueba un buen número de hipótesis y proposiciones sin necesidad de comprobarlas empíricamente. Todo ello posibilita la construcción de teorías, operación imprescindible para la comprensión de las ciencias que intentamos enseñar a los adolescentes.

Piaget mantiene que el razonamiento lógico-matemático del adolescente en la etapa de las operaciones formales está organizado en torno a las 16 combinaciones binarias posibles de dos proposiciones y de las cuatro transformaciones proposicionales siguientes: la identidad (la proposición no cambia nada), negación (cambia todo en la proposición), recíproca (permuta afirmaciones y negaciones, pero no cambia conjunciones y disyunciones), correlativa (permuta conjunciones y disyunciones, pero no cambia las afirmaciones y negaciones). Estas transformaciones tienen estructura de grupo.

Además de esta estructura global del pensamiento proposicional y combinatorio, el adolescente utiliza unos instrumentos cognoscitivos especializados cuando se enfrenta con problemas específicos: los esquemas operacionales formales. Piaget ha descrito un total de ocho esquemas formales: la utilización de las proporciones en ámbitos muy distintos, la capacidad de aislar y controlar variables, el razonamiento probabilístico, el razonamiento con correlaciones, la coordinación de dos sistemas de referencia, la noción de equilibrio mecánico, las compensaciones multiplicativas entre dos variables implicadas en un fenómeno, y algunas formas de conservación de magnitudes que sobrepasan la experiencia. Inhelder y Piaget explican estos esquemas en detalle, así como su conexión con el razonamiento combinatorio e hipotético-deductivo (Inhelder y Piaget, 1972).

Algunos autores han ejemplificado las posibilidades que ofrece el pensamiento formal en las aulas de ciencia de la siguiente forma (Collea y col., 1975; Karplus y col., 1977):

Razonamiento teórico. Aplicar clasificaciones múltiples, conservación lógica, orden serial y otros esquemas de razonamiento, a relaciones y propiedades que no son directamente observables (por ejemplo: distinguir entre reacciones de oxidación y de reducción; utilizar el principio de conservación de la energía; ordenar las plantas superiores e inferiores según una secuencia evolutiva; hacer inferencias de acuerdo con la teoría de que la corteza terrestre consiste en un número de placas rígidas en movimiento, aceptar una hipótesis no intuitiva para iniciar una argumentación).

Razonamiento combinatorio. Considerar todas las combinaciones de elementos tangibles o abstractos (por ejemplo: enumeración sistemática de los genotipos y fenotipos con respecto a caracteres gobernados por dos o más genes; al inferir el diseño en un circuito eléctrico a partir de las medidas realizadas entre sus terminales, considerar todas las posibles formas en que pueden estar conectadas las resistencias, condensadores y el resto de los elementos del circuito).

Funcionalidad y razonamiento proposicional. Establecer e interpretar relaciones funcionales en forma matemática (por ejemplo: la velocidad de difusión de una molécula es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular; al realizar gráficos e interpretar datos experimentales; ajustar la línea despreciando las pequeñas irregularidades en las medidas, describiendo la relación mediante una fórmula algebraica sencilla).

Control de variables. Para indagar sobre el papel que juega una determinada variable en un fenómeno que se desea estudiar, reconocer la necesidad de un diseño experimental que controle todas las variables, menos aquella que se esté investigando.

Capacidad de criticar su propio razonamiento. El alumno busca de forma activa verificar la validez de sus conclusiones, utilizando otros datos o informaciones disponibles (por ejemplo: verificar que la solución de un problema cinemático debe estar comprendida entre la solución al mismo problema en ausencia de rozamiento y el caso en que el rozamiento es muy grande y el cuerpo no se desliza).

Antes de entrar a perfilar las aportaciones más recientes de las investigaciones «piagetianas» sobre el razonamiento del adolescente, quizá sea conveniente comentar la incidencia del razonamiento «concreto» y «formal» en nuestras aulas.

Cualquiera que consulte la bibliografía de Piaget sobre las operaciones formales, leerá que este estadio del desarrollo se adquiere a partir de los once años, y que la mayoría de los adolescentes han consolidado esta forma de razonar hacia los quince años. Un buen número de investigaciones repitieron los experimentos piagetianos y mostraron que esta situación no es universal. Los datos de estos estudios hicieron rectificar sus ideas respecto de la edad en que se consolida el pensamiento formal (Piaget, 1972).

Chiappetta revisó todos aquellos estudios que intentaron determinar de una forma fiable la proporción de sujetos concretos y formales entre estudiantes norteamericanos. Según los datos que recopiló, al menos el 85 por 100 de los adolescentes y jóvenes norteamericanos no parecen dominar las operaciones formales (Chiappetta, 1976).

En nuestro país, por el momento, solamente disponemos de datos parciales, que hacen referencia a poblaciones específicas y han sido obtenidos con pruebas de papel y lápiz cuya validez es menos rigurosa que las entrevistas clínicas tradicionales. De acuerdo con esos datos, al menos un 46 por 100 no muestra un razonamiento combinatorio en 2.º de B.U.P., y un 64 por 100 no muestra un razonamiento proporcional en 1.º de B.U.P.,

utilizando en ambos casos situaciones muy sencillas (Aguirre de Cárcer, 1981).

Al utilizar pruebas de papel y lápiz más válidas y que evalúan distintos aspectos del pensamiento formal (Longeot, 1968), obtuvimos los siguientes datos:

	R. Concreto	R. Incipiente	R. Avanzado	R. Formal
Núm. casos	14	46	79	59
Porcentaje	7,1	23,4	40,3	30,1

Resultados en el test de Longeot. Instituto Piloto de Bachillerato «Cardenal Herrera Oria». Octubre 1982, 2.º B.U.P. N = 196.

El lector interesado también puede consultar los datos que aporta un estudio realizado con una muestra de estudiantes gaditanos utilizando el test de Longeot en su versión de entrevistas clínicas (M. González y col., 1983).

El sistema educativo no parece propiciar el desarrollo intelectual de los estudiantes en la enseñanza media. A pesar de la criba de alumnos que tiene lugar a medida que se avanza en ella, nos encontramos con estudiantes cursando el primer año universitario sin dominar totalmente el razonamiento formal. La siguiente tabla exhibe los resultados de una muestra de estudiantes de primer curso de diferentes especialidades ante una versión modificada del test de Longeot, en la que se evaluaba la inclusión de clases y la lógica de proposiciones (Aguirre de Cárcer, 1984).

Facultades/Especialidades

CATEGORIAS	Número de alumnos							
	Psico.	Derch.	Ec. y Empr.	Matem.	Fís.	Quím.	Biol.	Ciencias (global)
1. Razonamiento concreto	11	46	11	—	—	8	9	17
2. Razonamiento formal incipiente	49	158	59	—	—	22	47	69
3. Razonamiento formal consolidado	167	364	173	114	93	111	259	577

Al interpretar estos datos debemos mantener cautela, ya que la mayoría de los alumnos, dentro del espectro de edades que estamos considerando (segunda etapa de E.G.B. hasta el primer ciclo universitario), se hallan en un estadio intermedio en su evolución hacia la consolidación del razonamiento formal. En estas circunstancias, el tipo de razonamiento que el alumno exhibe depende del esquema de razonamiento formal que se esté evaluando y, dentro de este esquema, del tipo de tarea que se utilice para solicitarlo.

Sin embargo, estos datos nos permiten presumir que su comportamiento no será «formal» cuando la tarea ofrezca una mínima complejidad. En efecto, dentro de la teoría piagetiana se incluye la noción de «desfase horizontal» por el cual el individuo no siempre actúa con el tipo de razo-

namiento más elaborado. Parece ser que la familiaridad con la tarea a realizar facilita la utilización de aquellos esquemas de razonamiento más sofisticados de que dispone el alumno, mientras que en tareas o contenidos poco familiares, el alumno suele recurrir a operaciones mentales propias de niveles anteriores de su desarrollo intelectual. De ahí que buena parte de los estudiantes que parecen mostrar un nivel de desarrollo lógico-matemático propio de las operaciones formales en las pruebas pertinentes utilicen unos esquemas de razonamiento mucho menos potentes (actuación) en nuestra aulas de ciencias experimentales.

En un futuro próximo tendremos una evaluación más fiable de la evolución del desarrollo intelectual en nuestras aulas. Un grupo de investigadores se propone estudiar este problema, analizando el tipo de razonamiento que manifiesta una muestra (en la que se incluirán estudiantes de diferentes cursos) a lo largo de varios años (1).

III.3. **El techo teórico: Investigaciones actuales sobre la transición al pensamiento formal**

Las investigaciones realizadas a partir de la publicación de la obra de Inhelder y Piaget *De la lógica del niño a la lógica del adolescente* (edición francesa de 1955), muestran que esta primera aproximación al modo de razonar del adolescente es, en el mejor de los casos, incompleta.

Las siguientes características podrían sintetizar, siguiendo a A. Corral, la descripción realizada por Piaget del último estadio del desarrollo intelectual.

- Es un intento (no explícito) de «describir» las operaciones lógico-matemáticas necesarias (¿y suficientes?) para moverse dentro de la física newtoniana, es decir, un intento de formalizar epistemológicamente esta última.
- Es un modelo total y omnicomprendivo que pretende tener la entidad suficiente como para dar cuenta de cualquier comportamiento intelectual importante del sujeto cuando se enfrenta con tareas lógico-matemáticas.
- Es una teoría que ha sido falsada en numerosos puntos, pero no ha encontrado ninguna otra alternativa de superior valor explicativo y predictivo, permanece vigente, a salvo de las modificaciones *ad hoc* promovidas por algunos resultados empíricos.
- Tiene la enorme ventaja de abarcar un conjunto enorme de problemas y situaciones, y de ofrecer una visión general del acceso al pensamiento científico, cosa que nadie había hecho anteriormente y después ha sabido mejorar (A. Corral, 1983).

(1) «El desarrollo del pensamiento de la adolescencia a la edad adulta: Razonamiento y Comprensión». Proyecto de investigación iniciado bajo la dirección de M. Carretero. ICE Universidad Autónoma de Madrid.

En la actualidad la mayoría de los investigadores consideran la teoría piagetiana de las operaciones formales como una teoría «ideal» del comportamiento intelectual (A. Corral, 1982). Una teoría que describe la competencia pero no la actuación, es decir, el funcionamiento real del individuo formal. Según A. Corral, la mayoría de las investigaciones recientes están basadas en esta distinción entre competencia y actuación. Estas investigaciones se han dirigido principalmente a la búsqueda de explicaciones para los siguientes resultados: es escaso el porcentaje de adolescentes y adultos que resuelven tareas formales; la actuación de las personas en distintas tareas formales no es muy consistente; en las tareas formales se observan niveles de dificultad diferentes (A. Corral, 1982).

En esta sección revisaremos resultados procedentes de investigaciones básicas sobre el desarrollo intelectual, con el ánimo de descubrir algunas de las dificultades que éstos pueden imponer al desarrollo de la investigación piagetiana en la enseñanza de la ciencia.

La influencia de la escuela actual sobre la velocidad de desarrollo y los intentos de adiestrar a los alumnos en la utilización de los diversos esquemas formales será el primer área que someteremos a examen. Más tarde analizaremos algunos detalles acerca de los conocimientos actuales sobre la naturaleza de las operaciones formales. Por último, nos detendremos en una de las últimas conceptualizaciones de la teoría, la diferencia entre «competencia formal» y «actuación formal».

Escuela y Desarrollo Intelectual

La teoría de Piaget en su descripción del desarrollo intelectual indica que éste se produce espontáneamente. El desarrollo intelectual se produce, digamos, casi sin querer, cuando la persona se encuentra en una situación de desequilibrio con los datos que le ofrece la realidad de su entorno. Naturalmente al sujeto que no le preocupe esa situación de desequilibrio, en el área concreta donde surge, no realizará el esfuerzo necesario para acomodar activamente sus estructuras mentales y no logrará desarrollo alguno.

De acuerdo con la teoría, además de un nivel de maduración biológica, es imprescindible contar con un cúmulo de experiencias que requieran un razonamiento lógico-matemático para que tenga lugar un progreso intelectual. La escuela (enseñanza primaria, media y universitaria) parece constituir un entorno en donde el alumno se ve expuesto ante numerosas tareas concretas y formales, por lo que, a primera vista, cabría pensar que fuera el medio ideal para que tenga lugar el desarrollo intelectual.

Karplus y Karplus realizaron un estudio longitudinal para sondear el grado de desarrollo intelectual que tiene lugar en la escuela (Karplus y Karplus, 1972). Utilizaron un test de papel y lápiz, el test de D. Largo y D. Corto (véase apéndice I), para evaluar el razonamiento proporcional de un grupo de 155 alumnos, y compararon estos resultados con los que obtuvieron dos años después. La muestra de alumnos al finalizar la segunda recogida de datos estaba en niveles equivalentes a nuestro 6.º, 8.º de E.G.B. y 3.º de B.U.P. Al analizar los resultados se comprobó que más de un tercio de los alumnos de la muestra no habían sufrido ningún cambio

de actuación en esta tarea (Karplus y Karplus, 1972). En este estudio también se puso en evidencia que los sujetos incluidos en aulas para «buenos alumnos» obtuvieron mayores avances en el desarrollo del razonamiento proporcional que aquellos sujetos escolarizados en aulas para «alumnos normales» y para «alumnos lentos».

La escasa colaboración de la escuela en el desarrollo intelectual de los alumnos que la sufren no parece que dependa del nivel de escolaridad. Schwebel determinó el grado de desarrollo de una muestra aleatoria de alumnos de primer curso (N = 60) de una universidad norteamericana. Evaluó el nivel de dominio de las operaciones formales al iniciar y al terminar los dos primeros semestres, utilizando en cada ocasión entrevistas clínicas con tres tipos de tareas. Los datos que obtuvo le permitieron afirmar que el desarrollo cognoscitivo producido era inapreciable (Schwebel, 1972).

Aunque la eficacia de la escuela como promotora del desarrollo intelectual de los estudiantes aún debe investigarse de forma más completa, los estudios que acabamos de revisar dibujan una situación poco halagüeña. Incluso convendría no descartar de antemano la hipótesis de que algunos tipos de escuelas frenan, en lugar de promover, el pensamiento formal. Aún no se dispone de un modelo de desarrollo intelectual que dé una explicación causal, pero los factores que se hipotetizan como necesarios para que tenga lugar el desarrollo, se hallan totalmente marginados en la enseñanza que se imparte en bastantes centros de nuestro sistema educativo. Al discutir (pág. 71) las exigencias cognoscitivas de las tareas escolares tendremos ocasión de ampliar este punto de vista.

La escasa incidencia del pensamiento formal entre los estudiantes de las escuelas secundarias y el primer ciclo universitario (Chiappetta, 1976; Mckinnon y Renner, 1971) hizo que muchos investigadores plantearan experimentos para acelerar el desarrollo intelectual en cortos períodos de tiempo, y otros que arrojasen una nueva luz sobre la naturaleza de las operaciones formales. El primer tipo de estudios fueron denominados por J. Piaget la «cuestión americana», y a ellos dedicaremos las próximas líneas.

La adquisición de esquemas operaciones formales mediante entrenamiento

Los estudios de entrenamiento tienen como fin obtener, en cortos períodos de tiempo, cambios apreciables en el continuo: pensamiento concreto-pensamiento formal. Podemos distinguir al menos tres tipos de estudios de acuerdo con el objetivo específico perseguido en cada uno de ellos. Uno se caracterizan por adiestrar a los sujetos en proporcionar respuestas formales a las tareas que utilizó Piaget en sus investigaciones clínicas. Los estudios pertenecientes a esta categoría miden los efectos de diferentes estrategias de enseñanza sobre el aprendizaje de las tareas piagetianas. El resultado de estos estudios parece indicar que es posible enseñar a contestar formalmente en los problemas piagetianos. Sin embargo, no sabemos si el aprendizaje de las respuestas es permanente o transitorio.

El significado educativo de este tipo de aprendizajes es bastante irrelevante, ya que el resultado no es la adquisición de una nueva forma de razonar, sino una pauta de respuestas a unos problemas específicos.

El segundo tipo de estudios centra su atención en adiestrar a los sujetos en determinadas operaciones mentales, tales como el razonamiento proporcional, el control de variables, etc. A diferencia de las investigaciones pertenecientes a la primera categoría, en éstos se intenta enseñar a los sujetos a generalizar lo que aprenden de forma que resuelvan distintas tareas que impliquen la utilización del mismo esquema de razonamiento. No todas las operaciones formales han recibido la misma atención, siendo el «control de variables» la que ha generado un mayor número de investigaciones. Algunas de estas investigaciones han obtenido resultados positivos, logrando que los alumnos generalizaran el tipo de razonamiento en distintas tareas. Aquellas que tuvieron éxito se caracterizan por utilizar un modelo de instrucción constante con diferentes problemas; sin embargo, tampoco en este caso podemos discernir si el aprendizaje producido fue transitorio o permanente.

Por último, en una tercera categoría podemos incluir a los estudios que no se han centrado en una operación formal específica, sino que buscan lograr un cambio global hacia el pensamiento formal. Estas investigaciones emplean normalmente períodos de entrenamiento más largos: un mes, semestre, curso académico. Hasta el momento el resultado de estos estudios sigue sin ser claro.

Las investigaciones realizadas en este campo entre 1971 y 1976 han sido revisadas y discutidas con detalle (Aguirre de Cárcer, Gabel, Staver, 1978). Parece que en la década de los ochenta los estudios de entrenamiento han perdido parte de su interés, ya que en la conceptualización piagetiana de las operaciones formales han aparecido fisuras y los investigadores parecen más preocupados por los estudios que analizan el aprendizaje de contenidos formales y la utilización de las operaciones formales disponibles en distintos contextos.

Perspectivas neo-piagetianas

Piaget mantiene que la mayoría de las personas alcanzan su madurez intelectual utilizando las operaciones normales, pero parte de ellas sólo lo hacen en áreas específicas. Estas áreas, a las que se circunscribe el razonamiento formal de algunos jóvenes y adultos, están configuradas por las aptitudes y especialización profesional de esas personas (Piaget, 1972). Como indica M. Carretero, esta modificación de la primitiva formulación piagetiana acerca de la universalidad del razonamiento formal a partir de la adolescencia plantea la siguiente cuestión de fondo: «¿... sus características (del pensamiento formal) representan unas adquisiciones necesarias e inevitables para constituir la inteligencia adulta o sólo serían un conjunto de habilidades especializadas que varían según las diferencias individuales?» (Carretero, 1980a).

Esta y otras cuestiones han sido analizadas por Carretero realizando una revisión de las investigaciones que se han ocupado de la naturaleza de las operaciones formales (Carretero, 1980a; Carretero, 1980b).

Los trabajos de Neimark confirman buena parte de las conclusiones de Inhelder y Piaget sobre la transición del pensamiento concreto al formal; entre otras, que esta transición no parece tener lugar de forma continua, existiendo algún momento en el que se produce un salto de unas estructuras mentales a otras (citado en Carretero, 1980a). Además, otras investigaciones sugieren la posible existencia de un período preformal. Como característica del razonamiento de este supuesto período pre-formal tendríamos: la utilización de métodos de razonamiento formal pero con escaso provecho, la utilización de esquemas de razonamiento concreto en contenidos abstractos, o la utilización de esquemas formales nada más que en tareas abordables con el pensamiento concreto (Carretero, 1980a).

La formulación piagetiana de las operaciones formales como una estructura de conjunto, implica en cierta forma que la adquisición de alguno de los esquemas del razonamiento formal supone, casi, la adquisición simultánea de las demás. Los estudios realizados hasta la fecha indican que este aserto no es sostenible, ya que se ha comprobado que los distintos esquemas de razonamiento formal ofrecen distintas dificultades adquiriéndose unos antes que otros (Carretero, 1980a).

Hasta hace relativamente poco tiempo se venían utilizando en las investigaciones de corte piagetiano distintos problemas con la misma estructura lógica para solicitar del sujeto un tipo de razonamiento. Estos problemas o tareas parecían intercambiables, independientes del contenido y del formato de presentación de las mismas. Esto obedecía a que la teoría de Piaget hacía caso omiso de la posible relevancia del contenido específico en la utilización de uno u otro tipo de razonamiento. Sin embargo, mediada la década de los setenta se descubrió que existían adultos incapaces de razonar formalmente ante los problemas clásicos de las entrevistas clínicas piagetianas, pero que sí lo hacían cuando se les presentaban problemas con la misma estructura lógica y cuyo contenido les resultaba familiar (Carretero, 1980a). Posteriormente se fue comprobando que las tareas cuya resolución implica la utilización de un mismo tipo de estructura lógica ofrecen diferentes dificultades al alterar el contenido del problema y que los adolescentes tienen posibilidades de mostrar un razonamiento formal si el contenido del problema les resulta muy familiar (Carretero, 1980b)

Estos resultados llevan a distinguir entre la competencia formal de una persona, mostrada en la resolución de algunas de las tareas formales que se le proponen, y su actuación, que no tiene por qué ser formal ante cualquier tipo de contenido. Carretero expone brevemente y con acierto las características de la Teoría de los Operadores Constructivos de Pascual-Leone; formulación neo-piagetiana que intenta predecir el efecto que puede tener el contenido de una tarea sobre su dificultad (Carretero, 1980b). Esta teoría hace entrar en juego, como dato a tener en cuenta, además de la estructura lógica del mismo, la memoria a corto plazo que exige cada problema. La cantidad de memoria a corto plazo de cada tarea explica la dificultad relativa de cada una de ellas, siendo aquélla función de las características del individuo y del contenido concreto. Desgraciadamente, la forma de calcular el espacio mental que exige cada problema es algo que resulta inaccesible salvo para el grupo de investigadores de Pascual-Leone.

Carretero concluye su revisión indicando que «... es posible afirmar que los sujetos adolescentes sí poseen competencia formal, aunque su actuación se ve mediatizada por su estilo cognitivo, la demanda específica de cada tarea y el contenido de la misma» (Carretero, 1980b). Aclaremos que por estilo cognitivo se entiende la disposición de una persona para manejar información según un conjunto específico de reglas y estrategias. El estilo cognitivo resume el método cognoscitivo básico con que el individuo se enfrenta a todas las formas de estimulación sensorial (A. Corral, 1983).

Vamos a describir por último cómo evolucionan las respuestas de las personas en distintas tareas teniendo en cuenta la estructura lógica de las mismas. Esta descripción puede permitirnos intuir el nivel de actuación de nuestros alumnos en tareas escolares aparentemente análogas y quizá percibir avances en el desarrollo intelectual del alumno a lo largo del curso escolar.

Etapas que señalan la evolución en la actuación del alumno en tareas que exigen la utilización de:

Proporciones: Tipos de respuestas

- I (Intuitivas). No se ofrecen explicaciones. Se realizan cálculos ilógicos. Se adivina el resultado sin justificarlo.
- A (Aditiva). Suma o resta los términos y los compara para obtener una respuesta.
- Tr (Transición). Intenta utilizar una razón sin que ésta sea aritmética; o utiliza una proporción inadecuada; o halla la diferencia e intenta transformar esa diferencia utilizando una proporción.
- R (Razón). Utiliza el razonamiento proporcional para establecer una ecuación con dos proporciones.
- C (Conversión). Introduce una nueva cantidad como factor de conversión y multiplica a continuación.

Correlaciones: Tipos de respuestas

- I (Intuitiva). Falta de comprensión del problema o explicación ilógica.
- N.R. (Sin relaciones). Se describen las observaciones, pero sin relacionar las frecuencias de las distintas celdas.
- 2.C (Dos celdas). Se comparan los números de acontecimientos nada más que de dos celdas.
- 4.C (Cuatro celdas). Utiliza el número de acontecimientos en las cuatro celdas para realizar dos comparaciones cualitativas o cuantitativas.
- Co (Correlación). La conclusión utiliza datos de las cuatro celdas para realizar dos comparaciones cuantitativas que después se comparan.

Probabilidad: Tipos de respuestas

- I (Intuitiva). Falta de comprensión del problema; explicación ilógica; adivinar.
- A.V. (Valor absoluto). Compara los valores absolutos.
- 1.C. (Una comparación). Sólo se fija en una de las probabilidades, sin comparar la probabilidad que resulta de un acontecimiento distinto.
- 2.C (Dos comparaciones). Tiene en cuenta la probabilidad de los dos sucesos.

En otras tareas, por encima de la respuesta intuitiva, encontramos las siguientes categorías:

Ap (Aproximada). Realiza una descripción aproximada o cualitativa.

Q (Cuantitativa). Realiza una descripción cuantitativa.

Nuestros conocimientos sobre la etapa de las operaciones formales parecen estar aún lejos de constituir una base sólida sobre la que podamos desarrollar un programa de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales. Sin embargo, por el momento es la única teoría psicológica que disponemos sobre el desarrollo intelectual después de la niñez. Quizá lo que ocurre es que nos estamos haciendo la pregunta inadecuada; en este sentido las ideas de Inhelder y Piaget formarían parte de un marco teórico más amplio y apropiado, y seguirían siendo válidas en un campo más limitado. O quizá esta plétora de resultados que no encajan puede deberse a la utilización de técnicas de análisis muy burdas; por ejemplo, muchos de los estudios experimentales calculan correlaciones entre variables, considerando a éstas como variables de intervalo cuando realmente no lo son.





IV. El modelo piagetiano como «paradigma» explicativo en la enseñanza de las ciencias

La influencia del nivel de desarrollo intelectual sobre el aprendizaje de las Ciencias Experimentales

En primer lugar revisaremos los estudios que intentan poner de manifiesto que el nivel de desarrollo intelectual del alumno limita las posibilidades de aprendizaje de éste en contenidos de ciencias. Esta limitación deberá plasmarse en el rendimiento de los alumnos que aún no son formales y podremos observarla en las calificaciones escolares que obtienen. La revisión de los estudios que analizaremos a continuación tratarán de explorar esa conjetura.

Aceptar estas premisas implica que el tipo de enseñanza que, por lo general, ofrecemos no se adecua a las necesidades de los alumnos que aún no han entrado en la última etapa del desarrollo. Para intentar sostener esta afirmación examinaremos también las exigencias cognoscitivas que demandan las explicaciones de los libros de texto, y algunos datos sobre el razonamiento espontáneo de nuestros alumnos ante contenidos de física y química.

Una posible solución al panorama que ofrecen las dificultades de aprendizaje de buena parte de nuestros alumnos es la de acelerar el desarrollo intelectual de nuestros alumnos primero y enseñarles ciencias después. Los estudios que hemos examinado en la sección III.3 muestran que la escuela tradicional no parece facilitar este desarrollo y que los intentos de acelerar el desarrollo en cortos períodos de tiempo no han tenido éxito.

La única alternativa que nos queda es adecuar la enseñanza de las ciencias para que los alumnos concretos obtengan al menos una comprensión parcial de los contenidos, y que facilite su evolución intelectual. Este tipo de enseñanza implica forzosamente examinar los contenidos con mayor lentitud y se puede llegar a pensar que el procedimiento perjudi-

caría a los alumnos que ya dominan las operaciones formales. Por ello, antes de entrar en la búsqueda de estos métodos de instrucción, debemos examinar el efecto de los métodos «concretos» sobre el aprendizaje de los alumnos formales.

IV.1. Aprendizaje de contenidos y nivel de desarrollo

Lawson y Renner desarrollaron y comprobaron la validez de unos exámenes de física, química y biología a nivel secundario, con el fin de averiguar la relación existente entre aprendizaje y nivel de desarrollo. Los exámenes presentaban un formato de elección múltiple, con igual número de preguntas que requerían haber asimilado los contenidos mediante operaciones concretas y preguntas que requerían haber estudiado el contenido con operaciones formales. El nivel de razonamiento de 133 alumnos fue determinado previamente mediante entrevistas clínicas. Los conceptos incluidos en el examen fueron explicados a lo largo del curso. Finalizado éste, se evaluó el nivel de asimilación de los contenidos. El análisis de los resultados reveló que ningún alumno concreto consiguió contestar correctamente ninguna pregunta formal (Lawson & Renner, 1975).

Howe y Durr realizaron un análisis mucho más fino de esta cuestión. El contenido presentado a los alumnos se redujo al concepto de mol y utilizaron una metodología didáctica que había mostrado su eficacia en cursos anteriores dentro de la escuela donde se efectuó el estudio.

Los autores de este trabajo identificaron todos los objetivos de instrucción que debían cubrir los alumnos con el concepto de «mol». El rendimiento fue evaluado utilizando preguntas pertenecientes a test standards, cuyas características ya habían sido probadas y que se ajustaban a los objetivos que se proponían. Estas preguntas fueron clasificadas teniendo en cuenta el nivel de desarrollo intelectual que exigían en las siguientes categorías: concreto avanzado, formal incipiente y formal consolidado.

Para analizar los resultados de la prueba, en cada pregunta se buscó el nivel intelectual mínimo a partir del cual un 60 por 100 de los alumnos de esa categoría la contestaban correctamente. Según los autores, ninguno de los alumnos concretos consiguió dominar aspecto alguno del contenido tratado. El criterio de 60 por 100 sólo se alcanzaba con alumnos del subestadio formal incipiente, mientras que los alumnos del subestadio formal consolidado dominaron todas las preguntas salvo algunas preguntas clasificadas en la categoría formal consolidado, que resultaron excesivamente difíciles incluso para ellos (Howe & Durr, 1982a).

Con estos estudios, por tanto, se ha llegado a establecer experimentalmente la existencia de conceptos «concretos» (asimilables mediante operaciones concretas) y conceptos «formales» (asimilables únicamente mediante operaciones formales). Las ciencias experimentales y en particular la física y química, por el tipo de conocimientos que persiguen, utilizan una gran proporción de conceptos formales; de ahí que toda la bibliografía consultada arroja el mismo resultado: los alumnos formales obtienen mejores resultados que sus compañeros concretos.

Es lógico pensar que las dificultades con las que se enfrentan los alum-

nos concretos deben plasmarse fatalmente en sus calificaciones. Muchos estudios corroboran esta impresión (Sayre & Ball, 1975; Kolodiy, 1975; Bender y Milakofsky, 1982; Wiseman, 1981; Boulanger y Kremer, 1981).

Boulanger y Kremer utilizaron métodos cuantitativos para resumir los estudios que relacionan el nivel de desarrollo evolutivo y el aprendizaje de contenidos científicos. La muestra de estudios que analizaron se centra en los cursos que van desde 6.º de E.G.B. hasta C.O.U., y engloba a todos los publicados entre 1963 y 1978 (Boulanger y Kremer, 1981).

En este estudio se muestra la existencia de una alta correlación entre el nivel de desarrollo intelectual y las puntuaciones que obtienen los alumnos en las calificaciones sumativas o en pruebas de conocimientos científicos.

Esta correlación va aumentando durante los últimos cursos de E.G.B., alcanzando un máximo en el curso equivalente a nuestro 1.º de B.U.P. Es decir, la correlación aumenta durante los cursos en donde las asignaturas científicas son obligatorias. En nuestro sistema educativo, por tanto, debemos esperar una correlación máxima en 2.º de B.U.P. Según este estudio la correlación disminuye en los cursos más avanzados, donde estas asignaturas son optativas. En estos cursos parece que opera una autoeliminación de los alumnos con un desarrollo cognoscitivo más lento. Esta selección actúa cuando los alumnos no eligen asignaturas donde el fracaso lo tienen asegurado de antemano. Los trabajos de Kolodiy confirman esta suposición.

Kolodiy evaluó el nivel de desarrollo intelectual de tres grupos de alumnos, utilizando entrevistas clínicas. Un primer grupo estaba formado por alumnos que cursaban biología en el último año de enseñanza secundaria; otro grupo incluía a alumnos de física y matemáticas de primer curso universitario en facultades de ciencias; el último grupo estaba matriculado en el cuarto curso de una carrera de ciencias. Kolodiy descubrió un incremento drástico del porcentaje de alumnos formales entre los dos últimos grupos de alumnos, y realizó un estudio de seguimiento de los alumnos del primer curso universitario de ciencias. Al realizar este seguimiento descubrió que los alumnos concretos de este grupo abandonaban asignaturas de ciencias con mayor frecuencia que sus compañeros formales. Según el autor este hecho puede dar cuenta de la elevada proporción de alumnos formales en el cuarto curso comparado con la proporción encontrada en el primer curso (Kolodiy, 1975).

Si nos restringimos al nivel universitario podemos observar algunos matices. Según Bender y Milakofsky el razonamiento proporcional es el tipo de capacidad que muestra una mayor relación con la adquisición de conocimientos en química (contenidos teóricos y laboratorio). A este resultado se llegó al comparar las correlaciones que se producían entre las distintas tareas piagetianas y el rendimiento en química (Bender y Milakofsky, 1982).

En el estudio de Wiseman se analizaron las correlaciones entre los resultados de un test de razonamiento operatorio y las calificaciones finales de cuatro cursos de química universitaria de dificultad creciente. Las correlaciones disminuían con la dificultad del curso: 0.19 en química orgáni-

ca de 3.^{er} año, 0,43 química general de 1.^o y 2.^o año, 0,53 en Introducción a la química universitaria y 0,95 en química cultural (para no científicos). La misma tendencia se observa al aumentar el rango y la puntuación media de cada grupo en el test de razonamiento formal (Wiseman 1981).

Herron ha especulado sobre el tipo de tareas que nuestros cursos de química requieren habitualmente y el nivel de desarrollo intelectual que exigen (Herron, 1975). Las competencias que se esperan del alumno de C.O.U. o de primer curso de universidad que pueden ser comprendidas por alumnos que NO son formales y aquellas que no pueden ser comprendidas según Herron son:

Sí son capaces

1. Cualquier observación o medida rutinaria
2. Realizar inferencias que sean extrapolaciones directas de observaciones: por ejemplo, «Los objetos de madera se queman» inferencia a partir de observar varios objetos de madera quemándose
3. Comprender que la proporción entre la masa (o volumen) del hidrógeno y la masa (o volumen) de oxígeno en el agua es constante. Siempre y cuando el alumno haya tomado los datos o conozca los procedimientos con los que se obtuvieron los datos
4. Construir curvas de enfriamiento de sustancias puras e impuras, e inferir de la forma de la curva de una sustancia desconocida si se trata de una sustancia pura o impura
5. A partir de la definición de molaridad preparar 1.000 ml de una disolución de 1 M.
6. Seguir una serie de reglas para encontrar la fórmula empírica de un compuesto

No son capaces

1. Medidas de densidad, calor de reacción y otras magnitudes derivadas que no se observan directamente
2. Realizar inferencias que se alejen dos etapas de las observaciones: por ejemplo, el papel, la madera y la gasolina se queman; estos objetos son compuestos de carbono; los compuestos de carbono se queman
3. Razonar que la constancia en la proporción de masas y volúmenes en las sustancias tal como el agua, lleva a la conclusión de que los compuestos pueden representarse por partículas compuestas por átomos que se combinan en proporciones diferentes
4. Explicar por qué tiene lugar una zona horizontal en la curva de enfriamiento de una sustancia pura en un cambio de fase
5. A partir de la definición, preparar 25 ml de una disolución 0,25 M. Preparar 1.000 ml de disolución 0,25 M a partir de una disolución 3 M.
6. Comprender por qué siguiendo esas reglas se obtiene la fórmula empírica

- | | |
|--|--|
| <p>7. Concebir el peso atómico como la masa de un número determinado de átomos</p> <p>8. Ajustar ecuaciones, escribir fórmulas, calcular pesos moleculares, etc., utilizando un conjunto de reglas</p> | <p>7. Concebir el peso atómico como la razón entre la masa de un átomo y la masa de otro átomo que se ha elegido como unidad</p> <p>8. Deducir leyes para ajustar ecuaciones, escribir fórmulas, etc., partiendo de principios generales como la ley de conservación de la masa o la ley de las proporciones definidas</p> |
|--|--|

Arons aporta una visión complementaria a partir de su experiencia como profesor de física en el primer curso universitario (Arons, 1979). Según Arons muy pocos alumnos de este nivel pueden comparar áreas y volúmenes teniendo en cuenta nada más que las razones que relacionan las dimensiones de los distintos cuerpos. La mayoría necesita calcular las áreas y volúmenes sustituyendo mecánicamente los valores en las fórmulas, comparando y ordenando los resultados después. De la misma forma, tampoco son capaces de estimar los cambios de magnitud de las fuerzas entre cargas puntuales cuando las cargas y distancias aumentan o disminuyen según unas razones dadas. Otro ejemplo sencillo de dificultad en el aprendizaje es estimar el efecto de los cambios de presión y temperatura sobre el volumen de un gas ideal sin sustituir a ciegas en la fórmula de la ecuación de estado (Arons, 1979).

Las investigaciones que hemos revisado en esta sección parecen dejar bien claro la existencia de una relación entre el nivel de desarrollo intelectual de una persona y el aprendizaje de contenidos científicos que logra alcanzar. Buena parte de las investigaciones que hemos comentado utilizan análisis de correlaciones a partir de los cuales no podemos formular relaciones de causa a efecto. Sin embargo, los resultados revisados pueden dar pie a que formulemos las siguientes hipótesis respecto a las dificultades con que se enfrentan los estudiantes «concretos» y «formales» al intentar asimilar contenidos científicos. Los estudiantes «concretos» no logran asimilar los conceptos científicos que se les intenta impartir, ya que la construcción de la mayoría de ellos requieren la utilización de competencias (esquemas de razonamiento formales) de las que carece. Los estudiantes «formales» tiene dificultades ante la construcción de conceptos formales debido a que su falta de familiaridad con los fenómenos a estudiar no les permite utilizar los esquemas de razonamiento de que disponen. En el primer caso las dificultades quedarían explicadas por la falta de «competencia», mientras que en el segundo caso la explicación de las dificultades vendría dada por la «actuación» preformal originada por unos contenidos novedosos.

Independientemente del juicio que nos merezcan esas hipótesis debemos tener muy presente que los alumnos formales siempre obtienen mejores resultados, lo que nos invita a considerar el desarrollo del razonamiento lógico-matemático como un objetivo de nuestra enseñanza.

Llegado este momento debemos dedicar algunas líneas a concretar una explicación pausable del papel que juega el nivel de desarrollo inte-

lectual en el aprendizaje de contenidos científicos. Esta cuestión ha sido escasamente tratada en los trabajos revisados, o lo ha sido de una forma implícita y en muchas ocasiones, confusa. Además, la influencia del estadio de desarrollo evolutivo sobre las posibilidades de aprendizaje es la fuente principal de controversias con el grupo de investigadores que niegan utilidad a las ideas piagetianas para la investigación en la enseñanza de las ciencias.

IV.2. Las operaciones formales y el aprendizaje de la ciencia

Para describir el aprendizaje hay que considerar qué es lo que el alumno aprende, qué elementos dispone para aprenderlo y cuáles son sus conocimientos de partida. Naturalmente, la cuestión central «¿a qué llamamos aprendizaje?» da lugar a argumentos muy distintos sobre la hipotética relación entre estos factores.

La contestación a la pregunta ¿qué debe aprender el alumno que estudia «ciencia» en nuestras aulas? no es obvia. La pregunta entra dentro del área de los objetivos de la enseñanza de la ciencia en los niveles de educación general, excluyendo la formación profesional de los futuros investigadores en las ciencias naturales.

Hasta ahora podemos decir que la enseñanza de la ciencia en nuestras aulas parece dirigida a transmitir el enorme bagaje cultural de la ciencia, las explicaciones proporcionadas por la ciencia sobre una diversidad de fenómenos. Dada la imposibilidad de detallar cada una de estas explicaciones se recurre a la transmisión de las teorías científicas actuales que supuestamente dan cuenta de gran parte de aquéllas. La pertinencia de este objetivo general para la educación de nuestros jóvenes conciudadanos es discutible (Otero y otros, 1983), pero no vamos a hacerlo en esta ocasión.

¿De qué elementos dispone nuestro alumno? El objetivo debe lograrse a través de una serie de recursos y facilidades que la sociedad pone a su alcance (condiciones de escolarización en sentido amplio) mediante los conocimientos y destrezas intelectuales de que dispone. Dejemos de un lado el problema de las condiciones de escolarización para centrarnos en el problema que nos ocupa: las posibilidades del aprendiz. Estas están limitadas, fundamentalmente, por los conocimientos previos que ha asimilado y por las herramientas intelectuales que puede utilizar para adquirir nuevos conocimientos.

Champagne, Klopfer y Gunstone indican que las ideas previas sostenidas por los estudiantes influyen en su comprensión de los contenidos científicos expuestos por sus profesores y libros de texto, influyen en las observaciones que hacen de los fenómenos que estudian; y también influyen en la interpretación que dan a las observaciones realizadas (Champagne, Klopfer y Gunstone, 1982). El alumno no se enfrenta de una forma objetiva a la realidad que estudia. Las ideas previas juegan, respecto a aprendizajes futuros del estudiante, el mismo papel que las teorías en el desarrollo de nuevos conocimientos científicos. Por tanto, el estudio de las concepciones previas al aprendizaje debe ser un requisito para el diseño de situaciones de aprendizaje.

Actualmente la psicología educativa distingue entre conocimiento declarativo o figurativo y conocimiento de procedimientos u operativo (Lawson, 1982). Mientras el primer tipo de conocimientos engloba el conocimiento de hechos, principios, etc., el conocimiento operativo comprende las destrezas, el conocimiento de cómo hacer determinadas acciones.

El conocimiento declarativo, por lo general, tiene la característica de poder ser comunicado verbalmente. Nuestra premisa es que los conocimientos científicos actualmente impartidos en nuestras aulas entra dentro del campo de conocimientos declarativos. En las ciencias, el conocimiento de procedimientos abarca toda una serie de destrezas, desde la utilización de instrumentos de laboratorio, confección de programas de ordenador y diseño de experimentos que controlen variables, hasta la resolución de problemas de proporciones o de ecuaciones diferenciales simultáneas (Lawson, 1982).

Estas destrezas nos permiten adquirir nuevos conocimientos declarativos o idear formas de contrastarlos con la realidad. En este sentido (posible contraste con la realidad) las destrezas de saber hacer (conocimiento operativo o de procedimientos) son requisitos imprescindibles para la adquisición de contenidos específicos de la ciencia (conocimientos declarativos). Si el estudiante no tiene la posibilidad de verificar los conocimientos que se le imparten utilizando algún conocimiento de procedimientos apropiado, en lugar de asimilar conocimientos está aceptando dogmas (Lawson, 1982).

Las operaciones mentales propias del pensamiento formal pueden considerarse como procedimientos (acciones mentales, estrategias de razonamiento, etc.) para asimilar la realidad o desentrañar el significado de los argumentos proporcionados en nuestras explicaciones de los conceptos científicos. La adquisición y utilización de estas operaciones mentales son requisitos imprescindibles para intentar asimilar unos contenidos, evitando un conocimiento dogmático cuya utilidad tiene difícil justificación.

La importancia de las operaciones formales dentro de todo el conjunto de «conocimientos de procedimiento» es que aquéllas son las «unidades básicas» que participan necesariamente en la construcción de cualquier otra «estrategia de razonamiento». Con estas «estrategias de razonamiento» funcionamos al intentar comprender nuestro entorno. Algunas de ellas revisten especial importancia para la enseñanza de la ciencia, ya que se tratan de caminos privilegiados para comprender los contenidos científicos. Por lo general, el grado de integración de los esquemas formales dentro de una «estrategia de razonamiento» depende de la presión del medio; si éste es más exigente el grado de integración es mayor. El aprendizaje de las ciencias exige unos niveles de integración bastante más altos que los exigidos para la resolución de los problemas que plantea la vida cotidiana.

En el espacio físico de las aulas y laboratorios de física secundaria se produce una elevación brusca del ritmo de producción de «estrategias de razonamiento» y del nivel de integración de éstas. El impacto del cambio de condiciones es tal que resulta difícil sobreponerse a él en los cuarenta minutos de una clase. El ritmo de aprendizaje es lento contrastando con la velocidad con que recorreremos los más diversos campos de las ciencias

experimentales. El resultado es la suma de las escasas ideas que los alumnos asimilan con claridad curso por curso. Resultado en modo alguno despreciable.

Pero quizá el descenso del ritmo de producción de nuevas estrategias facilite que éstas sean más seguras, y por ello den lugar a un incremento tanto del ritmo de aprendizaje como del aprendizaje asimilado globalmente.

Naturalmente ello conllevaría dejar de considerar como un hipódromo los diversos, diferentes, hermosos campos de la ciencia, que masacramos en los contenidos que impartimos. El método de razonar en ciencia quizá sea uno de los mayores logros en la historia de la humanidad. Si el aprendizaje es forzosamente limitado quizá convenga prestar atención a ese logro en el escaso tiempo de que disponemos.

IV.3. Comprensión de las explicaciones y nivel de desarrollo

En la enseñanza de las disciplinas científicas, en nuestro país, se utiliza el libro de texto y los apuntes del profesor como vehículo principal para la transmisión de conocimientos. Aunque, por el momento, carecemos de datos fidedignos que justifiquen esta afirmación, creo que es legítimo aceptarla, tentativamente, acudiendo al recuerdo de lo que fue nuestra escolarización y a la información que poseemos sobre la enseñanza de estas asignaturas en el momento actual.

La utilización de otros recursos didácticos: laboratorio, trabajos de campo, medios audiovisuales, etc., está subordinada a la consecución de unos objetivos de instrucción que reciben una menor atención por parte del profesor. Prueba de ello es el escaso tiempo escolar que se le dedica y el pequeño papel que juegan en las calificaciones finales de los alumnos.

Al aceptar esta hipótesis debemos admitir la existencia de un conjunto de profesores de estas disciplinas que ponen un mayor énfasis en el desarrollo de destrezas intelectuales. En las aulas de estos profesores, los apuntes y los libros de texto dejan de ser la fuente principal de información. Sin embargo, esta situación la podemos encontrar en escasísimas aulas; parece ser más frecuente en asignaturas de ciencias naturales que de física y química...

Una vez aceptada la suposición de partida, podemos analizar la calidad de la enseñanza de estas asignaturas a partir de las características de los libros de texto. Los atributos más relevantes de éstos, como instrumentos de instrucción, habrá que aislarlos a partir de los conocimientos actuales sobre la forma en que ocurre el aprendizaje a través de un texto. Desgraciadamente este es un campo donde la investigación básica está poco desarrollada (McKonkie, 1977) y de la que no podemos extraer ninguna indicación útil.

Ante la imposibilidad de utilizar criterios que se deriven de la investigación básica hay que acudir a aislarlos indirectamente, por ejemplo, a través de los factores que determinan el aprendizaje de los contenidos

científicos. Uno de estos factores es el nivel de desarrollo del razonamiento lógico-matemático del sujeto que se enfrenta a estos contenidos. Tal como afirman las ciencias cognitivas la comprensión es un proceso constructivo. La comprensión de un texto implica construir activamente una representación cognoscitiva de acontecimientos (o conceptos) y de las relaciones entre éstos en un contexto específico (Doyle, 1983). En esta sección intentaremos aproximarnos a los niveles de razonamiento (en el sentido piagetiano) que las explicaciones de los contenidos científicos exigen a los alumnos que intenten asimilarlos. Estas explicaciones, tal como he dicho anteriormente, pueden estar representadas por las explicaciones que ofrecen los libros de texto y los apuntes dictados por el profesor. La necesidad de realizar este tipo de análisis ha sido mencionada con anterioridad en otros libros y artículos en nuestro país, sin ofrecer resultados explícitos (Bernad, 1976; Fernández Uria, 1978).

Las investigaciones piagetianas como base para el análisis psicológico de los textos

Hartford y Good revisaron los distintos modelos teóricos a los que se puede acudir para evaluar el contenido de los textos, cuando se examinan los requisitos cognitivos que imponen los materiales de instrucción (Hartford y Good, 1976).

Uno de los aspectos que normalmente se tienen en cuenta al analizar la eficacia de un texto es su facilidad de lectura. Este aspecto es, sin duda, el más utilizado; sin embargo, no es el único factor a examinar ni el más importante. En efecto, el nivel de lectura de un texto, tal como se mide con los instrumentos disponibles (fórmula Dale, fórmula Flesch, procedimiento Cloze, etc.) no está correlacionado con la comprensión del mismo.

En el trabajo de estos autores se discuten las posibilidades de tres enfoques distintos para evaluar los requisitos cognitivos: la taxonomía de objetivos educativos de Bloom, el modelo de estructura de inteligencia de Guilford y la teoría de Piaget (Hartford y Good, 1976).

Una primera posibilidad consiste en examinar las capacidades de tipo cognoscitivo que exigen las preguntas de revisión de cada capítulo, utilizando la taxonomía de objetivos educativos de Bloom. Este procedimiento está restringido a los textos que incluyen preguntas de revisión relacionadas significativamente con los contenidos de cada capítulo. Esta situación no es la más común en los libros de texto de física de B.U.P. Además, estas clasificaciones no están exentas de cierta ambigüedad, ya que la historia anterior del alumno puede alterar el nivel taxonómico de la pregunta y el propio profesor puede exigir esos mismos contenidos a distintos niveles.

Al utilizar el modelo de estructura de la inteligencia de Guilford, se buscan factores que estén correlacionados positivamente con el aprendizaje de los alumnos. Hartford y Good hace notar que el número de factores implicados, al ser muy grande (120), ha desanimado a los investigadores a utilizar este modelo.

Tras analizar estas posibilidades, los autores optan por referirse al modelo piagetiano para analizar los contenidos de los materiales de instruc-

ción. El procedimiento concreto que utilizaron lo describiremos más adelante.

Procedimiento para evaluar las exigencias cognitivas de los libros de texto basados en la teoría de Piaget

Los distintos trabajos publicados en este área podemos diferenciarlos en dos grandes bloques, de acuerdo con el grado de subjetividad que introducen en el procedimiento de obtención de datos. Estos bloques quedan identificados en la presente revisión de la siguiente forma: A) Procedimientos de dudosa precisión y B) Procedimientos basados en un esquema de clasificación.

A) Procedimientos de dudosa precisión

Los estudios incluidos en este bloque obtienen sus datos comparando directamente sus unidades de análisis con las distintas tareas piagetianas. En ellos se utiliza el juicio subjetivo del investigador, para evaluar el grado de concordancia entre ambos. En este bloque podemos mencionar dos trabajos: los de Hartford y Good, y Shayer.

Hartford y Good utilizan un procedimiento que permite calcular un índice de la extensión de la utilización del pensamiento formal requerido para la comprensión del libro de texto (Hartford y Good, 1976).

Estos autores determinan en cada tema los objetivos operativos que se pretenden conseguir. Para cada objetivo, examinan los distintos esquemas de razonamiento que haría falta poseer para su consecución. Este examen se realiza de una forma subjetiva contestando a la siguiente pregunta: ¿cuál de las tareas piagetianas sería capaz de realizar el alumno en el caso de que también fuese capaz de superar el objetivo? Estas tareas son: aislamiento y control de variables, razonamiento combinatorio, comprensión del equilibrio mecánico, generación y utilización de proporciones y razonamiento sobre correlaciones.

Dividiendo el número total de tareas por el número de objetivos operativos del tema se obtiene, finalmente, el denominado índice de operaciones formales.

A partir de una ligera modificación del procedimiento que acabamos de reseñar, Han determinó el tanto por ciento de objetivos que requerían la utilización del pensamiento formal, en una muestra de textos de física coreanos (Han, 1978).

Shayer realizó un análisis de la demanda cognitiva del texto «Nuffield Combined Science» (Shayer, 1978). El artículo que describe este análisis es un tanto impreciso en la descripción de la metodología utilizada; no obstante, intentaré resumirla. El autor escogió tres secciones de ese texto y analizó los requerimientos cognitivos de los diversos temas (topics) de que trataba. A partir de lo que en este artículo se dice, es imposible determinar con precisión cuáles fueron las unidades de análisis utilizadas. El análisis del contenido se realizó utilizando dos estrategias: una de ellas para aquellos temas que ya fueron tratados por Inhelder y Piaget; para el

resto de los temas el autor desarrolló una taxonomía teniendo en cuenta los extractos de protocolos contenidos en el libro de Inhelder y Piaget.

Al utilizar la primera estrategia, Shayer hace corresponder la demanda intelectual del tema del libro de texto con el nivel evolutivo que mejor se ajuste, de entre aquellos que se mencionan en el capítulo correspondiente del libro de Inhelder y Piaget.

La taxonomía construida para la segunda estrategia fue confeccionada a partir de las descripciones de comportamiento contenidas en el libro de Inhelder y Piaget, con los siguientes componentes: a) tipo de interés, b) estilo investigativo, c) «razón es...», d) relaciones y e) la utilización de modelos como teorías. No se proporcionan en este artículo los criterios finales de esa taxonomía. El autor señala que normalmente se pudo utilizar esa taxonomía cuando la primera estrategia fallaba. La forma de estimar la validez y fiabilidad del procedimiento de clasificación es aún más confusa.

En otro estudio Shayer exhibe unos datos que según este investigador muestra la validez predictiva del método de clasificación utilizado (Shayer, 1982). Esta validez predictiva descansa en la estructura de los datos de una matriz de doble entrada: nivel de comprensión de los alumnos en objetivos de física, química y biología y estimaciones del nivel de desarrollo intelectual que requiere cada uno de esos objetivos en opinión (estimación media) de 17 profesores de ciencias con experiencia. Sobre la nube de puntos resultante, Shayer traza una línea recta que divide al cuadrante en dos partes iguales, dejando 12 puntos de un lado de la recta y 25 puntos del otro lado de la recta. La recta dibujada por Shayer tampoco es la recta de regresión para esa nube de puntos. No cabe duda de que si el sistema de clasificación de los objetivos de un texto resulta válido existen otros sistemas mucho más fiables para demostrarlo.

Otros autores han optado por elaborar unos criterios que permitan determinar las exigencias intelectuales de los libros de texto con mayor objetividad.

B) *Procedimientos basados en un esquema de clasificación*

Estos estudios obtienen de la teoría de Piaget y de las investigaciones piagetianas una serie de criterios para asignar, con mayor objetividad, cada unidad de análisis a cada una de las categorías que definen.

Los artículos de Lawson, 1978, y Cantú y Herron, 1978, sólo tratan de distinguir entre conceptos concretos y conceptos formales. Mientras que Collea y col., 1975, y Karplus y col., 1977, especifican criterios para analizar las explicaciones de los libros de texto desde esta perspectiva.

Las definiciones de Lawson son las siguientes:

— Conceptos operatorios concretos: son aquellos cuyo significado puede generarse a través de experiencias de primera mano con objetos y acontecimientos.

— Conceptos operatorios formales: son aquellos cuyo significado debe deducirse a partir de su posición en un sistema postuladorio-deductivo. El significado de estos conceptos no proviene de los sentidos,

sino a través de la imaginación o a través de sus relaciones lógicas dentro de un sistema de postulados (Lawson, 1978).

Cantú y Herron utilizan la definición de concepto dada por Gagné y establecen la siguiente dicotomía:

— Conceptos concretos son aquellos cuyos ejemplos y atributos definitorios son observables.

— Conceptos abstractos o formales son aquellos que no poseen instancias perceptibles o aquellos cuyos atributos relevantes y definitorios son perceptibles.

Collea y col. y el equipo de Karplus extraen del libro de Inhelder y Piaget unos criterios que, en su opinión, permiten realizar un análisis de la demanda cognitiva de un texto de ciencias. Ambos trabajos definen los conceptos concretos como aquellos que son comprensibles utilizando modos de razonamiento concretos y conceptos formales los que requieren la utilización de algún modo de razonamiento formal. Según los autores (Collea y col., 1975; Karplus y col., 1977), los esquemas de razonamiento formales requeridos, con más frecuencia, para comprender los conceptos científicos son: C1, C2, C3, C4, F1, F2, F3, F4, F5 (véase tabla 2, pág. 52).

Karplus y colaboradores añaden a estos criterios una serie de posibilidades intelectuales derivadas de la posesión de estos modos de razonamiento. Estas pueden identificarse como:

— Concretas: Ca) entender conceptos y teorías simples que hagan referencia directa a ejemplos y acciones familiares, Cb) seguir instrucciones paso a paso como en una receta, Cc) relacionar su punto de vista con el de otro en situaciones suficientemente simples.

— Formales: Fa) utilizar y seguir razonamientos hipotético-deductivos, Fb) utilizar teorías y modelos ideales para interpretar observaciones y sacar conclusiones, Fc) comprender conceptos definidos a partir de otros conceptos o de relaciones abstractas, Fd) resolver problemas introduciendo variables intermedias no mencionadas en el enunciado original.

Todos estos criterios tienen una validez de contenido que proviene de su relación con las teorías expuestas por Piaget. Así, aunque los autores no lo mencionan, se pueden encontrar referencias a estos criterios en el libro de Inhelder y Piaget «De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent»; por ejemplo, C1 se encuentra formulado en la página 221, F2 en la página 222, F4 en la página 14, F5 en la página 222, etc.

Prosser utilizó los criterios de clasificación citados por Collea y col. para analizar los requisitos intelectuales de dos secciones de un texto de física anglosajón, correspondiente al primer curso universitario (Prosser, 1979).

Prosser elaboró, a partir de los contenidos de esas secciones, una serie de objetivos de instrucción. Estos objetivos de instrucción fueron sometidos a un análisis de tareas para inferir, al modo de Gagné, los prerrequisitos. Los objetivos de instrucción y prerrequisitos constituyen las unidades de análisis que utilizó en su estudio.

Estas unidades de análisis fueron clasificadas como concretas si obe-

decían al criterio C1 únicamente y se las categorizaba como formales si requerían alguno de los modos de razonamiento formal F1 a F5, definidos por Collea y col.

En mi opinión, el procedimiento utilizado por Prosser para extraer sus unidades de análisis introduce, dado su carácter subjetivo, un cierto sesgo por parte del investigador. En efecto, lo que se analiza no es lo que el libro de texto expone, sino la definición del objetivo de instrucción que el propio autor proporciona.

Posteriormente, Prosser se dedicó a evaluar la validez de aquellos resultados (Prosser, 1983). En esta ocasión utilizó la misma metodología del estudio anterior, identificando los prerrequisitos de los objetivos implícitos en dos capítulos de un libro de texto de física, de nivel universitario introductorio, para alumnos del área de las ciencias biológicas y de la salud. Su pregunta, ahora, era ¿qué porcentaje de estudiantes a los que se les prescribe ese texto son capaces de comprender los conceptos previos que él identificó para esos temas? (Prosser, 1983).

Para ello elaboró, sometió a pre-test y modificó oportunamente un test siguiendo las características de una prueba referida a criterios. El test contenía 21 preguntas (12 concretas y 9 formales) de respuesta múltiple con cinco opciones. Las preguntas concretas evaluaban la comprensión de los criterios concretos (C1 a C4) que figuran en la Tabla 2. El contenido de estas preguntas correspondía a los prerrequisitos de tipo concreto identificados anteriormente. Los contenidos de las preguntas formales estaban basados en los prerrequisitos considerados formales y evaluaban criterios formales (F1 a F5). La validez de contenido fue determinada por un panel formado por cuatro profesores de física con experiencia (Prosser, 1983).

Los resultados de las pruebas (138 sujetos) revelaban que al menos un 42 por 100 de las personas de la muestra, matriculados en cursos en donde se utiliza el texto investigado, no eran capaces de utilizar de forma consistente los esquemas de razonamiento requeridos para comprender los conceptos presentados en el texto (Prosser, 1983).

Metodología y resultados obtenidos en el análisis de los textos de física de B.U.P.

Al analizar los libros de texto de física españoles hemos determinado previamente el nivel de explicación (lección, apartado, párrafo, frase, etc.) sobre el que vamos a fijar nuestra atención. Una versión resumida de este trabajo fue publicada anteriormente (Aguirre de Cárcer, 1983).

La unidad de análisis que se ha utilizado en este estudio se define como «el mínimo conjunto de frases que tienen un sentido didáctico definido». Estas unidades tienen una longitud variable conteniendo un dato, una afirmación o un párrafo corto formado por tres o cuatro frases.

Las unidades de análisis definidas de esta forma debemos categorizarlas como «concretas» o «formales» de acuerdo con las exigencias intelectuales que parecen solicitar. Una explicación será: «concreta» si es posible asimilarla utilizando operaciones mentales concretas; y «formal» si su

asimilación por parte del alumno exige ineludiblemente la utilización de algún esquema de razonamiento formal. La asignación de una explicación a una de estas dos categorías debe realizarse atendiendo a una serie de criterios. Estos criterios deben constituir un conjunto completo, fiable y válido.

Se ha partido de las categorías que definen Karplus y col., y Collea y col. (Criterios C1, C2, C3, C4 y F1, F2, F3, F4, F5 de la tabla 2), para obtener un conjunto completo de criterios que permita categorizar cada una de las unidades de análisis encontradas en los textos. En un estudio previo con 99 unidades de análisis se vio la necesidad de añadir a las categorías C1, C2, C3, C4 y F1, F2, F3, F4, F5 iniciales (Karplus y col., 1977, y Collea y col., 1975), tres nuevos criterios (C5, F6, F7) para que el conjunto pudiese dar cuenta de todas las unidades encontradas. El conjunto completo de criterios figura en la tabla 2.

TABLA 2

**CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION DE LAS EXIGENCIAS
COGNITIVAS DE LAS EXPLICACIONES DE LOS TEXTOS DE CIENCIAS**

NIVEL DE RAZONAMIENTO CONCRETO

Explicaciones que exijan:

- C1. Comprender conceptos definidos a partir de ejemplos y acciones familiares. Entender teorías simples que hagan referencia directa a ejemplos y acciones familiares.
- C2. Aplicar el razonamiento de conversación, cuando a un sistema no se le añade ni quita nada, y se trata de un concepto concreto.
- C3. Establecer correspondencias uno a uno y ordenar datos según secuencias; crecientes o decrecientes. Seguir instrucciones paso a paso como en una receta.
- C4 Realizar clasificaciones simples y relacionar con éxito los subsistemas a los sistemas, las subclases con las clases.
- C5. Nivel de información; memorizar datos o afirmaciones.

NIVEL DE RAZONAMIENTO FORMAL

Explicaciones que exijan:

- F1. Comprender conceptos definidos en función de otros conceptos o a través de relaciones abstractas, como por ejemplo los límites matemáticos. Comprender afirmaciones para las cuales no se le proporciona referencias concretas y tangibles, ni un método de comprobación con el que esté familiarizado.
- F2. Imaginar todas las combinaciones posibles de condiciones aun cuando no todas sean posibles en la naturaleza.
- F3. Analizar el efecto de cada variable manteniendo constantes todas salvo una.
- F4. Utilizar teorías o modelos idealizados para interpretar observaciones y sacar conclusiones. Utilizar y seguir razonamientos hipotético-deductivos.
- F5. Reconocer y aplicar relaciones funcionales, como las proporciones directas e inversas. Resolver problemas introduciendo variables no mencionadas explícitamente en el enunciado original.
- F6. Razonamiento concreto sobre conceptos formales definidos anteriormente.
- F7. Capacidad de razonar en una situación ambigua, ante la que existen muchas soluciones y en la que no se le proporcionan los datos necesarios para poder operar.

Cuatro psicólogos (*) con experiencia de investigación en el campo de las operaciones formales examinaron las nuevas categorías, C5, F6 y F7, concluyendo que poseían la misma validez de contenido que las definidas por Karplus y col. (1977).

Para examinar la fiabilidad del esquema de clasificación se proporcionó a tres profesores de física un par de páginas de un texto para que clasificaran las distintas unidades de análisis, en función de los criterios C1 a C5 y F1 a F7. Este análisis lo realizaron de forma independiente. La muestra analizada contenía 16 unidades de análisis. En el 82 por 100 de los casos los tres jueces coincidieron en el carácter concreto o formal de cada unidad analizada. Sin embargo, sólo en un 50 por 100 de los casos hubo acuerdo sobre el criterio específico de que se trataba. La escasa fiabilidad que muestra la clasificación respecto a cada criterio específico obedece a que, a menudo, se presentan unidades de análisis que hacen intervenir dos o tres criterios formales conjuntamente. En estos casos, los jueces se han visto en la necesidad de elegir uno de ellos y éste no tenía por qué coincidir con el que seleccionaron independientemente los otros dos.

Una vez definidos los criterios a utilizar y analizar su validez y fiabilidad se inició el análisis de los libros de texto.

La muestra utilizada en la obtención de los datos corresponde a las secciones de cinco libros de texto de física de 2.º de B.U.P. que tratan de los siguientes contenidos: Primer principio de la dinámica, Energía térmica, Propagación y reflexión de la luz, Electrización y Ley de Coulomb.

TABLA 3

DISTRIBUCION DE LAS UNIDADES DE ANALISIS SEGUN LOS CRITERIOS DE LA TABLA 2

Libro	C1	C2	C3	C4	C5	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
A	9	0	0	0	21	38	2	1	17	13	0	6
B	18	1	6	0	25	36	4	4	27	11	6	9
C	19	0	5	2	29	29	6	3	32	15	3	13
D	9	0	2	0	17	30	2	0	17	9	2	6
E	13	0	1	2	10	25	0	4	16	5	2	5
Total	68	1	14	4	102	158	14	12	109	53	13	41
%	11,3	—	2,3	—	17,0	26,3	2,3	2,0	18,2	8,8	2,1	6,8

En cada una de las celdas figura el número de «unidades de análisis» que se ha encontrado en cada criterio.

En total se han identificado 589 unidades de análisis de las cuales el 31,6 por 100 sólo requieren la utilización de operaciones mentales concreta y el 68,4 por 100 requieren la utilización del pensamiento formal. Si eliminamos las unidades que transmiten únicamente información, corres-

(*) Desde aquí mi agradecimiento a M. Asensio, M. Carretero, A. Corral, I. Pozo, así como a J. C. Otero y R. Gómez-Carrillo por su magnífica colaboración en este trabajo.

pondientes a la categoría C5, entonces solamente el 21,7 por 100 de las explicaciones proporcionadas por los pasajes de los textos analizados se puede comprender con esquemas de razonamiento no formales. En la tabla 3 figura la distribución de las unidades de análisis según los criterios con que han sido clasificados.

El nivel de desarrollo cognoscitivo que parece requerir los libros de texto en la otra rama de la enseñanza media no es menor. En efecto, Llorens examinó las exigencias cognoscitivas de 332 cuestiones y problemas pertenecientes a los capítulos dedicados a «Cinemática» y «Calor» en una muestra de seis libros de texto del primer curso de formación profesional de primer grado (Llorens, 1983). En este estudio se averiguó que si se utilizaba la metodología que hemos descrito antes, el 76,8 por 100 de los problemas y cuestiones exigen la utilización de algún aspecto del pensamiento formal (Llorens, 1983).

En nuestro estudio también hemos analizado las explicaciones iniciales de cuatro temas para los que no eran necesarios conocimientos previos. En estas secuencias de explicaciones podemos comprobar si se sigue una progresión «concreto-formal». En la tabla 4 figura el número de explicaciones concretas dentro de las cinco primeras unidades de análisis de cada tema, excluidas las unidades de análisis dentro de la categoría de información (C5).

TABLA 4

«Unidades de análisis concretas incluidas en las cinco primeras unidades de análisis. (Quedan excluidas las unidades que responden al criterio C5)»

Libro	A	B	C	D	E	
						TEMA
	1	4	1	2	5	Principios de la dinámica
	1	1	0	0	0	Energía térmica
	1	2	3	0	2	Propagación y reflexión de la luz
	1	1	5	0	4	Electrización y Ley de Coulomb
$\bar{X} =$	1	2	2,1	0,5	2,7	\bar{x} total = 1,7

Como podemos observar, la mayoría de los libros empiezan a introducir las distintas partes de la física, en el primer curso de física de la enseñanza secundaria, utilizando esquemas de razonamiento formal. (Conceptos definidos en función de otros conceptos, o a través de relaciones abstractas, o definidos dentro del marco de una teoría F1 y F4.)

En el momento en que se realizó este estudio, la validez predictiva de los distintos métodos de análisis de las exigencias cognoscitivas de los libros de texto no había sido abordada en ninguno de los estudios publicados.

Para comprobar la validez de construcción o predictiva del esquema de clasificación utilizado (tabla 2) se intentó verificar que los alumnos que no han alcanzado el estadio de las operaciones formales no eran capaces de comprender las explicaciones categorizadas como formales. Para ello se elaboró un test de comprensión de las explicaciones contenidas en un par de páginas de un texto de 2.º de B.U.P. Estas trataban de la propagación rectilínea de la luz y de la ley de la reflexión. La prueba estaba for-

mada por 14 preguntas de contestación corta que evaluaban la comprensión (Anderson, 1972) de otras tantas explicaciones (siete clasificadas como concretas y otras tantas formales). Una muestra de 32 alumnos de 2.º de B.U.P. leyó detenidamente las dos páginas del texto, contestando a continuación al test de comprensión. Estos alumnos habían realizado el día anterior el test de Longeot (Longeot, 1965).

No se ofrecen los resultados, ya que no todas las preguntas fueron contestadas por todos los alumnos, y no podemos suponer que esto constituya un indicio de que la explicación que evaluaban no fueron asimiladas por los alumnos.

Existe un hecho que nos hace pensar que se debe utilizar procedimientos más refinados para comprobar la validez predictiva del esquema de clasificación. La estructura abierta de las preguntas permitía que el alumno ofreciese una explicación que no se ceñía a la pregunta que se le formulaba, por ello, la comprensión del texto se volvió a evaluar utilizando entrevistas clínicas. Previamente, los entrevistados tuvieron ocasión de volver a estudiar el texto. En estas entrevistas se pudo comprobar que los alumnos utilizaban «unas explicaciones alternativas», al esquema de explicación que utilizamos en la física para dar cuenta de estos fenómenos. Por ello, la comprensión de las explicaciones de los textos debe enfocarse evaluando el grado en que son capaces de alterar «las explicaciones espontáneas» de los alumnos concretos y formales. El escaso número de entrevistas realizadas (20 por 100 de la muestra) parecía verificar la validez predictiva del esquema de clasificación; sin embargo, el estudio tuvo que abandonarse con la llegada del fin de curso.

De la tabla 3 podemos inferir que solamente el 17,8 por 100 de las explicaciones de los libros de texto son asequibles mediante la utilización de esquemas de razonamiento concreto. En este cálculo se ha prescindido de las «unidades de análisis» de la categoría C5, dado que no exige ningún tipo de razonamiento.

El 82,2 por 100 de las explicaciones parecen requerir la utilización de esquemas de razonamiento formal con conceptos y contenidos físicos. Es importante recalcar que estos razonamientos deben realizarse con unos contenidos abstractos y poco familiares para el alumno. En estas condiciones, como ya se ha indicado, el nivel de razonamiento de los alumnos suele ser inferior al que utilizarían con contenidos familiares.

A partir de los datos de las tablas 1 y 3 podemos concluir que la mayoría de las explicaciones presentadas en los libros de texto de física de 2.º de B.U.P. exigen unos niveles de razonamiento superiores a lo que los alumnos son capaces de utilizar. Caso de confirmarse la hipótesis de que las explicaciones de los libros de texto son representativas de las explicaciones que ofrecen buena parte de los profesores en sus aulas, la diferencia entre el nivel de desarrollo intelectual del alumno y el nivel de razonamiento que exigen las explicaciones podría ser una de las causas del bajo rendimiento en la adquisición de conocimientos físicos.

La confirmación de esa hipótesis también nos haría concluir que la enseñanza de la física en nuestras aulas no favorece el desarrollo del razonamiento formal en los alumnos.

Los alumnos que se enfrentan con razonamientos que en su gran mayoría superan sus posibilidades cognoscitivas no tienen otra posibilidad que recurrir a memorizar los contenidos y las estrategias de resolución de «problemas-tipo». Esta conjetura fue estudiada por Coulter, Williams y Schultz al pretender averiguar el mecanismo que utilizan los profesores para convencerse de que han enseñado conceptos que según las investigaciones piagetianas sólo las comprenden los sujetos formales. Para ello introdujeron en los exámenes que elaboraba el profesor, unas preguntas que hacían referencia a los contenidos estudiados. Al analizar las contestaciones de los alumnos con mejores notas durante el curso, encontraron que las preguntas de los investigadores discriminaban entre alumnos concretos y formales mientras que las preguntas elaboradas por el profesor no lo hacían (Coulter, Williams y Schultz, 1981). Los resultados de este estudio sugieren que los profesores enseñan algoritmos para problemas-tipo y evalúan la aplicación de los algoritmos en los problemas-tipo. Los alumnos que no son capaces de comprender los conceptos que se les enseñan son capaces, sin embargo, de alcanzar las expectativas del profesor en los exámenes, memorizando los contenidos (Coulter, Williams y Schultz, 1981).

Las diferencias que hemos encontrado, entre las posibilidades intelectuales de la mayoría de los alumnos (a los que, por otra parte, debería ir dirigida la enseñanza) y las exigencias cognoscitivas de los libros de texto nos dan pie a sugerir que los libros de texto no constituyen guías metodológicas válidas. La forma con que los libros de texto introducen los conceptos formales tampoco parece que facilite la asimilación de esos conceptos al alumno que lo utilice como único medio de instrucción.

Por último debemos indicar que todas estas conclusiones deben considerarse como provisionales hasta que compruebe la validez experimental de los criterios que hemos utilizado, aunque ya tenemos ciertos indicios de su posible validez (Prosser, 1983).

IV.4. Explicaciones espontáneas de los alumnos sobre fenómenos naturales

Cuando facilitamos a nuestros alumnos una serie de contenidos sin proporcionarles la oportunidad de reelaborarlos, de asimilarlos por su cuenta, puede ocurrir que las explicaciones que les proporcionemos exijan la utilización de unas operaciones mentales que el alumno ya posee o bien que la demanda cognoscitiva de las mismas supere con mucho las posibilidades intelectuales del alumno. En el primer caso, como veremos más adelante, el alumno podrá asimilar lo que le ofrecemos a costa de un esfuerzo mental. En el segundo caso, no le queda más remedio que memorizarlos. Sin embargo, este esfuerzo de memorización es en la mayoría de los casos baldío, ya que la nueva información debe competir con las explicaciones o razonamientos espontáneos que ya posee sobre el fenómeno.

En efecto, como han demostrado Viennot y otros investigadores, los niños y adolescentes se han forjado ya una explicación «satisfactoria» sobre una porción de los contenidos de física y química, al encontrarse con esos fenómenos en multitud de ocasiones en su vida cotidiana. Otras se han producido, por diversas causas, a lo largo del aprendizaje escolar.

Estos esquemas de razonamiento se muestran impermeables a la enseñanza que les ofrecemos y sumamente resistente a ella. Por tanto, si al evaluar el aprendizaje de nuestros alumnos tomamos la precaución de evitar formular preguntas que se puedan contestar memorizando un contenido o las pautas de resolución de un problema-tipo aparecerán, en la mayoría de los casos, la explicación espontánea; en buena parte de los casos, conceptos erróneos. Resulta, por tanto, crucial precisar lo más posible los atributos de estos conceptos «científicos» paralelos, sus relaciones y sus reglas de utilización, incluyendo la delimitación de las situaciones en las que existe coincidencia o contradicción con la ciencia experimental que enseñamos. O precisar aquellas conductas didácticas que dan lugar con contenidos específicos a que se desarrollen errores conceptuales, como ha hecho Fisher en el caso de la traducción genética y la síntesis de aminoácidos (Fisher, 1983).

Estas explicaciones espontáneas o esquemas alternativos constituyen, de acuerdo con Viennot, una física «implícita» que se utiliza muy a menudo. En nuestras aulas en particular, los estudiantes las utilizan paralelamente a la física que les enseñamos, «inconscientes de ir caminando sobre dos pistas a la vez, a pesar de que en ocasiones busquen la forma de salir de una para llegar a la otra» (Viennot, 1979).

L. Viennot examinó el razonamiento espontáneo de 1.600 alumnos sobre dinámica elemental. Para ello utilizó cuestionarios de papel y lápiz que eran contestados en veinte o treinta minutos, y entrevistas individuales con los estudiantes de carreras humanísticas. Las características de este razonamiento espontáneo, según los datos que obtuvo, son las siguientes (Viennot, 1979):

Existe una tendencia, en el razonamiento espontáneo, consistente en explicar el movimiento como debido necesariamente a la existencia de una fuerza del mismo sentido que aquél, y el reposo o frenado como debido a la ausencia de fuerza.

La relación entre la fuerza y la velocidad es pseudolineal, y según los datos aportados por Viennot tiene las siguientes características:

- a) Si existe una velocidad, o una componente de velocidad, en una dirección dada, entonces existe una fuerza de la misma dirección.
- b) Si la velocidad de un móvil es nula, la fuerza sobre ese móvil es también nula.
- c) Si los movimientos de dos móviles son diferentes, ya sea porque sus velocidades son diferentes en dirección y/o en módulo, entonces las fuerzas ejercidas sobre estos móviles son distintas.

El razonamiento espontáneo pone en juego dos conceptos de fuerza que tienen propiedades diferentes, aunque ambas tienen una única finalidad: explicar el movimiento.

— La fuerza de interacción, \vec{F}_{ex} , función vectorial del punto, determina una variación de velocidad $\vec{F}_{ex} = m \cdot \vec{a}$. En relación con la forma de percibir esta fuerza se considera sobre todo las posiciones de los elementos del sistema. Esta fuerza responde a la formulación «fuerza ejercida sobre... (masa)».

— \vec{F}_c . Esta fuerza está muy ligada al movimiento $\vec{F}_c = \alpha (\vec{V})$. Este concepto interviene cuando el movimiento es uno de los datos de partida y sobre todo cuando parece incompatible con la fuerza de interacción. «La fuerza de la masa...» o bien «Aún le queda la fuerza...», son ejemplos de formulación de esta fuerza por parte de los alumnos.

La relación entre estas dos fuerzas es la siguiente: la fuerza de interacción real interviene sobre la otra (que ya tiene por estar en movimiento) para modificarla en uno u otro sentido, por ejemplo:

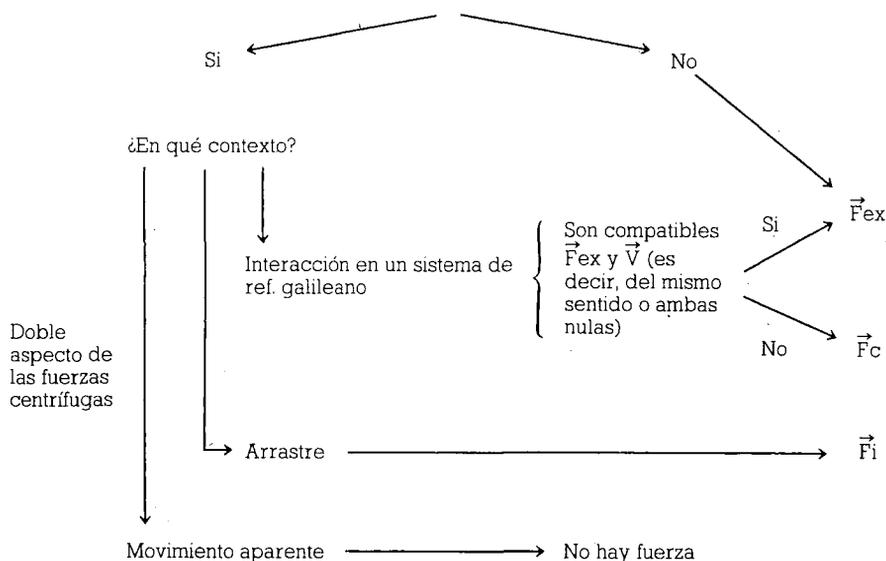
$$\vec{F}_c = \alpha (\vec{V}); \vec{F}_{ex} = \Delta \vec{F}_c = \alpha (\vec{V})$$

donde esta $\Delta \vec{V}$ está relacionada de una forma muy relajada con el tiempo. Parece una interpretación laxa de la relación de Newton $\vec{F} = m \cdot d\vec{V}/dt$.

Viennot denomina a \vec{F}_c «capital de fuerza» para hacer constar que es capaz de disminuir con el movimiento: se gasta. Quizá nosotros deberíamos denominarla «cantidad de fuerza en una dirección».

El siguiente esquema muestra las condiciones de utilización de ambas fuerzas (Viennot, 1979).

Forma de la pregunta: ¿El movimiento es uno de los datos de partida?



También se ha estudiado con detalle el conjunto de errores conceptuales sobre el equilibrio químico de dos muestras de estudiantes: alumnos que han cursado C.O.U. (A) y candidatos a profesores de enseñanza media licenciados en Ciencias (B) (Furió y Ortiz, 1983). En el sondeo realizado por estos investigadores aparecen los siguientes resultados:

- a) Desconocen las condiciones que debe reunir un sistema, en el que intervienen gases, para poder iniciar el estudio del equilibrio químico (A 47,5 por 100; B 18,2 por 100).

- b) Conciben el estado de equilibrio como dos estados, uno el de los reaccionantes y otro el de los productos (A 53,7 por 100; B 25,5 por 100).
- c) Consideran la «constante de equilibrio» como un valor no constante (A 95,1 por 100; B 27,3 por 100).
- d) Utilizan como valores de la concentración de las sustancias para el cálculo de la constante de equilibrio el número de moles de cada una de ellas en el equilibrio (A 78,5 por 100; B 72,7 por 100).
- e) Carecen de una idea clara de lo que significa «La concentración de una sustancia en estado sólido» (A 70,5 por 100; B 72,7 por 100).

(Furió y Ortiz, 1983)

Otras investigaciones realizadas en España muestran que estos resultados pueden ser muy representativos del conocimiento que adquieren nuestros alumnos al terminar C.O.U. El Seminario Permanente de Química del I.C.E. de la Universidad de Barcelona encuestó a una amplia muestra de alumnos de C.O.U. (400) sobre algunos aspectos del equilibrio químico (Caamaño y otros, 1982). en esta encuesta volvemos a encontrar un desconocimiento del significado de la constante de equilibrio (43 por 100) y de la concentración de un sólido (54,8 por 100) en 3.º de B.U.P.: N = 276.

El valor de estos resultados es innegable, pero debemos seguir investigando hasta dar con la forma con que estos alumnos estructuran conceptualmente el equilibrio químico. Es decir, qué ideas previas poseen sobre el equilibrio químico y cuáles de ellas permanecen después de ser sometidos al aprendizaje de este tema.

Otros estudios tratan de las dificultades conceptuales con otros contenidos, por ejemplo, comprensión de los campos gravitatorios y electrostáticos (Lovell, 1973), cinemática (J. Aguirre y G. Erikson, 1983), propagación de la luz (Karrquist, 1983), energía (Duit, 1983) o las ideas espontáneas con respecto al calor, la temperatura y la transmisión del calor (Delval, 1983), por citar sólo unos pocos. El equilibrio químico parece haber sido estudiado con mayor intensidad (Driscoll, 1966; Weeler y Kass, 1978; D. Cros, 1983) que otros temas. Sin embargo, convendría comprobar la solidez de los conceptos previos intervinientes en el equilibrio químico, ya que existen indicios de que esos conceptos químicos elementales también ofrecen dificultades (Hall, 1973; D. Cros, 1983). Otros estudios hacen referencia a las ideas espontáneas de los alumnos acerca de distintos conceptos químicos (Furió y Hernández, 1982; West y Fensham, 1979) y físicos (Gardner, 1972; Gilbert, 1977; Champagne, Klopfer y Anderson, 1980; Gunstone y White, 1980; Carrascosa y Gil, 1982). También existen trabajos que pueden ayudar a seleccionar la metodología adecuada para realizar este tipo de investigaciones (Easley y Driver, 1978; White, 1979).

Es importante tener en cuenta que contrariamente a lo que se podría esperar, nuestras lecciones tanto en la enseñanza media como en la universitaria, no dan lugar a alteraciones drásticas en la maduración conceptual de los alumnos (Faucher, 1983; Whitaker, 1983; Karrquist, 1983). Estos errores no se circunscriben a los estudiantes que no saben; aquellos que proporcionan contestaciones correctas a las preguntas que se les formula,

en más de la mitad de las ocasiones, pueden justificar sus contestaciones con el mismo tipo de errores que sus compañeros que contestan incorrectamente (Whitaker, 1983).

Imaginemos por un momento la fragilidad de la estructura conceptual científica que logramos que nuestros alumnos asimilen después de cinco, siete o diez años de aprendizaje de las ciencias.

A pesar del interés de las cuestiones tratadas en este apartado no empezaremos a tener ideas claras o representaciones detalladas y fiables del conocimiento realmente asimilado por nuestros alumnos en bastantes años debido a la inmadurez de las técnicas de extracción de datos. Dos preguntas aparentemente iguales son contestadas de formas distintas en cuanto exista una mínima alteración en su enunciado. La interacción entre el instrumento de medida y el sujeto que responde es demasiado fuerte y, básicamente, desconocida.



V. Métodos de instrucción para la enseñanza de contenidos formales: factores a tener en cuenta

Al explicar la teoría de Piaget en el apartado III.1, vimos que según este autor, para que se produzca desarrollo intelectual es necesario que se conjuguen cuatro factores. Uno de estos factores, el desarrollo biológico de las estructuras cerebrales, está garantizado, salvo casos de lesión grave, para alumnos de las edades que estamos considerando. Los otros tres factores pueden ser instrumentalizados didácticamente por el profesor para facilitar el desarrollo intelectual de los alumnos y el aprendizaje de las ciencias experimentales. Vamos a examinar las posibilidades de instrumentalización de estos factores en las aulas de ciencias a la luz de las investigaciones realizadas hasta el momento.

La idea clave es conseguir desestabilizar el razonamiento espontáneo del alumno sobre los fenómenos bajo estudio para, más tarde, facilitar la consecución de una nueva estructura conceptual que les resulte «satisfactoria» y que, además, sea más acorde con la ciencia que les intentamos transmitir. Para ello debemos aprovechar las herramientas que el individuo utiliza para conseguir el equilibrio mental con el entorno que le rodea; estas son, como ya dijimos anteriormente, la experiencia física con los objetos, la experiencia lógico-matemática y la interacción social.

Iniciaremos esta revisión con el papel de la interacción social en el desarrollo cognoscitivo y en el aprendizaje de las ciencias. Las conclusiones que podemos extraer pueden servirnos de guía cuando utilicemos el trabajo en pequeños grupos como método didáctico.

V.1. La interacción social

Perret-Clermont ha examinado las investigaciones que hacen referencia al desarrollo intelectual resultante de la interacción entre iguales (Perret-Clermont, 1981). Esta investigadora opina que al diseñar tareas de

realización en grupo hay que conseguir que los alumnos no las perciban como una actividad «escolar». Los trabajos que examinó parecían apuntar que si los alumnos entienden el trabajo a realizar como un deber escolar se sienten impulsados a organizarse de forma que se deshagan de él cuanto antes. Así, una estrategia típica es delegar en el alumno más apto del grupo la realización de la tarea, con lo que se ven libres de ella en el menor tiempo posible. Esto no ocurre en todas las ocasiones, según Perret-Clermont, ya que cuando los adolescentes consideran la tarea «intrigante», independiente de un deber escolar, se establecen verdaderas confrontaciones «socio-cognoscitivas» y el *status* de participación es más igualitario. En opinión de esta investigadora, el desafío pedagógico consiste en buscar el marco en que los alumnos se vean obligados a coordinar sus puntos de vista y resolver el problema encontrando un compromiso (Perret-Clermont, 1981).

El proceso de equilibración motivado por la interacción social también ha sido analizado por Perret-Clermont. De acuerdo con esta investigadora, el individuo en el grupo que está en el nivel de desarrollo intelectual más avanzado respecto a la tarea que se proponen, no es percibido por sus compañeros menos avanzados como alguien que forzosamente tiene razón, sino, inicialmente, como una opinión más y no necesariamente correcta. En la confrontación de sus opiniones, argumentos, refutaciones, etc. es donde nace el desarrollo cognoscitivo, de forma que la solución que adopta el grupo de ninguna manera puede considerarse como la pura adopción de la opinión más adecuada. El mismo tipo de fenómeno ocurre cuando todos los elementos del grupo están situados en el mismo nivel de desarrollo, con tal de que al menos tengan opiniones distintas.

Si examinamos la interacción entre iguales, teniendo en cuenta las diferencias en el nivel de desarrollo de un grupo, obtenemos las siguientes conclusiones tentativas. Fagal encontró que los alumnos concreto-incipiente obtenían mayores rendimientos al trabajar solos, mientras que para alumnos formales no se observan rendimientos diferentes al trabajar solos o con un compañero de un nivel de desarrollo menor (Fagal, 1978). No cabe duda que es necesario investigar más en este área para obtener resultados generalizables.

Steiner exploró el efecto de la interacción social sobre la componente afectiva del aprendizaje de los alumnos universitarios. Este profesor dedicaba los últimos veinte-veinticinco minutos de su clase a que los alumnos resolvieran por grupos problemas de química orgánica. Estos problemas eran difíciles de resolver por un individuo aislado, pero sí era posible resolverlos entre varios alumnos reflexionando juntos. Los problemas eran recogidos y puntuaban para la calificación final (Steiner, 1980).

De acuerdo con los datos de Steiner, el número de alumnos interesados en la asignatura aumentó en un 55 por 100, mientras que el número de los que manifestaron tener poco interés por la misma descendió en un 78 por 100. La resolución de aquel tipo de problemas en grupo y en clase, era juzgada por los alumnos de la siguiente forma:

- a) La experiencia es positiva porque:
 - «me fuerza a pensar en algo» (32/41);

— «puedo preguntar a mis compañeros en lugar de al profesor» (20/41);

b) Trabajar con mis compañeros me ayuda a comprender el contenido (33/41);

c) En mi grupo existió un intercambio de ideas activo y casi igualitario.

Webb realizó una revisión de los estudios que exploraron el papel de la experiencia del alumno que interactúa en pequeños grupos sobre el aprendizaje de los mismos (Webb, 1982).

En estas investigaciones se ha encontrado que los alumnos que proporcionan explicaciones a sus compañeros, acerca de cómo realizar la tarea, muestran unos aprendizajes superiores a los que obtiene el alumno de su mismo nivel de habilidad pero que no se implica activamente en la interacción del grupo.

La efectividad del proceso de recibir ayuda de un compañero parece depender de: 1. La naturaleza de la ayuda recibida, y 2. El comportamiento del alumno que originó que se le ayudase.

Cuando el alumno que comete errores o realiza preguntas recibe explicaciones acerca de la tarea, aprende a realizarla. Cuando este mismo alumno no recibe respuesta del grupo o recibe solamente la solución parafraseada sin explicaciones, entonces no aprende a realizar la tarea. Además, los errores que comete en la prueba de rendimiento corresponden al contenido con el que tuvieron dificultades durante el trabajo en grupo.

También parece bastante claro que recibir ayuda es efectivo solamente cuando se recibe como respuesta a una necesidad del alumno. Otro resultado fundamental es que el no recibir respuesta a una pregunta está negativamente correlacionado con el aprendizaje. Por tanto, aunque las contestaciones a las preguntas de los compañeros no siempre alivian la confusión del que pregunta, no recibir respuesta cuando se solicita parece ser nocivo para el aprendizaje (Webb, 1982).

Bargh y Schul sugieren que prepararse para enseñar a otro puede producir una estructura cognoscitiva más organizada que la que se produce cuando uno trata de aprender el contenido para sí mismo. Estos investigadores proporcionan evidencias de que esto es así: encontraron que la persona que estudia para enseñar muestra rendimientos superiores en preguntas sobre detalles periféricos, así como en preguntas que evalúan el mensaje básico del contenido. Bargh y Schul sugieren que no sólo la persona que se prepara para enseñar reorganiza el contenido para proporcionar una presentación más clara, sino que la persona que está enseñando activamente puede reorganizar o clarificar el contenido en o durante ese momento, permitiéndole ambas cosas «que el profesor vea la idea desde nuevas perspectivas, permitiéndole ver relaciones que antes no sospechaba entre elementos discretos. Puede que esta construcción de nuevas relaciones le facilite una mejor comprensión del contenido» (Bargh y Schul, 1980, pág. 595).

De las investigaciones que acabamos de reseñar se desprenden una

serie de ideas que constituyen posibles hipótesis de trabajo dignas de consideración y ensayo en el aula.

La primera de ellas es presentar las tareas que pretendemos que nuestros alumnos realicen de modo que constituyan un «reto intelectual» para el grupo de alumnos. No cabe duda que esta propuesta exige una dosis de imaginación y conocimiento considerable sobre los intereses y motivaciones de los adolescentes. Para los profesores acostumbrados a enseñar la ciencia que recogen por capítulos los libros de texto, seguramente nos supondrá un cambio de actitud radical. Pero no olvidemos que si el alumno no considera el problema como propio no se implicará activamente en él buscando la forma de resolverlo. Y esta actividad en la que se despliegan todas las potencialidades y recursos del estudiante resulta imprescindible para lograr asimilar unos contenidos científicos que, por otra parte, distan mucho de ser sencillos o evidentes.

La búsqueda de modos de presentación que constituyan retos intelectuales para los alumnos es difícil, pero sería demasiado fácil decir que es imposible. Así, los alumnos del I. B. «Juan Gris» de Móstoles realizaban estudios apasionados sobre los hábitos alimentarios de sus vecinos, y, como resultado del proceso, adquirieron unos conocimientos biológicos a los que hubiesen sido impermeables en las clases por lecciones o capítulos (M. T. García Jiménez, 1984). A. Fernández-Valmayor aprovecha el entusiasmo de un grupo de alumnos por las técnicas de programación de microprocesadores para retarles a que elaboren un programa que simule el sistema planetario solar a partir de la interacción gravitatoria. Posiblemente el conocimiento que adquieran sobre la interacción gravitatoria será un resultado didáctico mucho más valioso que el esbozo de programa que logren desarrollar.

El trabajo en grupo ante un problema interesante seguramente será bullicioso y sin resultados instantáneos, por lo que se debe prever, si constituye una experiencia aislada, una actitud de rechazo por parte de los colegas. Por ello, este tipo de actividades exige una planificación previa cuidadosa. En la planificación no sólo debe considerarse los aspectos materiales y recursos a disposición de los alumnos, sino que además debemos enseñar a los alumnos unos principios elementales para el trabajo en grupo.

Entre estos principios deberíamos incluir aquellos señalados anteriormente, convenciendo a los alumnos mejor preparados que ellos se beneficiarán más, de una explicación proporcionada a un compañero que se la solicita, que el propio compañero.

Por último, no olvidemos que el sistema de evaluación debe ser coherente con las tareas solicitadas, considerando, en su justo valor, el trabajo realizado en las tareas de grupo en las calificaciones que obtengan en las «evaluaciones».

Un nuevo factor a considerar al intentar movilizar el desequilibrio de los razonamientos espontáneos del alumno es la manipulación real o imaginaria de objetos; el factor de la experiencia física.

V.2. La experiencia física

Otro de los resultados piagetianos que permite una instrumentalización didáctica inmediata, en la enseñanza de las ciencias experimentales, está relacionado con las adquisiciones cognoscitivas que se producen al manipular objetos. El aserto piagetiano según el cual la manipulación real o imaginada de los objetos es un factor necesario en la acomodación y equilibración de las estructuras intelectuales, está siendo objeto de un buen número de estudios en el área de la enseñanza de las ciencias. Todos estos estudios tratan de encontrar el tipo de metodología que facilite la comprensión de contenidos formales por parte de alumnos que no han alcanzado el pleno dominio de las operaciones formales.

Goodstein y Howe exploraron la eficacia resultante de utilizar modelos moleculares, contruidos por los propios alumnos, sobre el aprendizaje de la estequiometría. En este estudio participaron alumnos norteamericanos de un nivel equivalente al de 3.º de B.U.P. La muestra de alumnos participantes estaba compuesta por: un 40 por 100 formal consolidado, un 35 por 100 formal incipiente, un 21 por 100 concreto consolidado, y un 4 por 100 en el nivel concreto incipiente.

Los alumnos del grupo experimental construyeron inicialmente un modelo de molécula de hidrógeno y un modelo de molécula de oxígeno. Se les pidió que construyeran un modelo de molécula de agua. Tras algunas manipulaciones percibieron la necesidad de utilizar una segunda molécula de hidrógeno, obteniendo entonces dos moléculas de agua. En las clases sucesivas manipularon los modelos de moléculas para representar los distintos conceptos estudiados. El grupo de control determinó experimentalmente el número de Avogadro, utilizando una capa monomolecular de un compuesto. En las clases en las que tenía lugar el tratamiento experimental el profesor utilizaba con profusión modelos moleculares a gran escala para representar algunos de sus enunciados verbales.

Al analizar los resultados encontraron que sólo los alumnos formal-consolidado se beneficiaron del tratamiento experimental. Los conocimientos logrados por los alumnos del resto de los niveles de desarrollo en el grupo experimental eran estadísticamente equivalentes a los conseguidos por el grupo de control. En el grupo de control, los conocimientos adquiridos por los alumnos concretos y formales eran estadísticamente equivalentes (Goodstein y Howe, 1978).

Gabel y Sherwood realizaron un estudio similar pero de mayor duración. Este estudio se llevó a cabo con dos objetivos: a) comprobar si la manipulación de modelos moleculares durante períodos de tiempo prolongados mejoraba el aprendizaje de contenidos de química en la enseñanza secundaria, y b) descubrir si los efectos eran diferentes según el nivel de desarrollo intelectual de los alumnos (Gabel y Sherwood, 1980).

En esta investigación, cada profesor (en total siete) tenía asignado un grupo experimental y otro de control. Su actuación en cada una de ellas venía marcada por una guía del profesor, lo que aseguraba unos comportamientos didácticos uniformes en cada tipo de tratamiento. Estas guías trataban de la metodología a utilizar en ocho temas de química, pero se

les animó a que siguieran las mismas pautas durante el resto del curso. Los alumnos de los grupos experimentales manipularon unos modelos moleculares; en el grupo de control eran los profesores los que utilizaban los modelos en «demostraciones de cátedra».

El tratamiento experimental produjo mejores resultados que el tratamiento de control en los tres tipos de instrumentos que se utilizaron para medir los conocimientos en química. Sin embargo, los datos no revelaron ningún efecto interactivo entre el tipo de tratamiento y el nivel de desarrollo intelectual (Gabel y Sherwood, 1980).

Este último resultado no parece extraño toda vez que los instrumentos utilizados en el estudio para evaluar el nivel de desarrollo intelectual de los alumnos no eran excesivamente fiables y, además, la mayoría de los alumnos estaban incluidos en una de las tres categorías con las que se dividió el continuo de desarrollo intelectual.

Cantú y Herron hipotizaron que los conceptos formales ofrecen dificultades, para su comprensión y asimilación, por carecer de atributos perceptibles. Estos investigadores elaboraron un tratamiento experimental en el que se proporcionaba a los alumnos «pseudoejemplos» de los conceptos tratados. La misión de estos «pseudoejemplos» era la de focalizar la atención de los alumnos en los atributos críticos del concepto. El efecto de los mismos se examinó evaluando el aprendizaje de los alumnos en seis conceptos para los que se elaboraron «pseudoejemplos»; estos conceptos eran: gas ideal, isómero, metal, ácido-base (definición operacional), ácido-base (definición de Bronsted) y un concepto artificial. En este estudio los sujetos formales del tratamiento experimental obtuvieron mejores resultados que los sujetos concretos (Cantú y Herron, 1978). El evidente fracaso de estos métodos para movilizar la capacidad de aprendizaje de los alumnos no formales, quizá pueda explicarse si retomamos las formulaciones piagetianas sobre el papel que juega la experiencia física en el desarrollo intelectual.

Según Piaget, la experiencia física como factor en el desarrollo puede adoptar tres sentidos. Uno de ellos corresponde al simple ejercicio en una tarea con unos materiales. En nuestras aulas, este tipo de experiencia permitirá, mediante la repetición con ejemplos distintos, que el alumno consolide el tipo de esquemas que ya ha adquirido. Ejemplo de estos esquemas es el modo de actuar, al que aludimos con anterioridad, descubierto al percatarse de la necesidad de una segunda molécula de hidrógeno, dando lugar a dos de agua.

La segunda categoría mencionada por Piaget acerca del papel que juega la experiencia física, consiste en sacar información de los propios objetos por simple abstracción. Naturalmente, este tipo de conocimiento no puede adquirirse con los que hemos denominado conceptos formales. De este modo se explicarían los resultados obtenidos por Cantú y Herron al utilizar los «pseudoejemplos». El problema no parece ser de falta de información, sino que el propio alumno debe «redescubrirla», extrayendo la información a través de la retroalimentación que le proporcionan sus acciones al manipular unas proposiciones u objetos, en el caso de la persona que ha consolidado un pensamiento formal, u objetos, en el caso de la persona que no ha alcanzado aún este nivel de desarrollo en ese área de con-

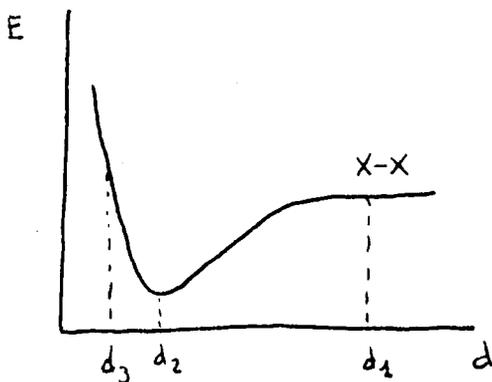
tenidos. Para valorar el aprendizaje sufrido por los alumnos concretos en los tratamientos experimentales que sufrieron, tengamos en cuenta que la utilización de los «modelos moleculares» no permitían adquirir un «conocimiento elemental», en el sentido de primera aproximación, sobre los átomos y moléculas. Los «pseudoejemplos», por otra parte, no proporcionaban retroalimentación, ya que no se puede actuar sobre ellos.

En mi opinión, la utilización didáctica de los juegos de reglas y las simulaciones mediante microcomputador, pueden permitir soslayar en parte la imposibilidad, a la que hemos aludido, de utilizar la experiencia física con conceptos formales.

En los juegos de reglas se simulan las características del sistema en donde está enmarcado el concepto que se estudia, actuando los alumnos como elementos del mismo de acuerdo con las reglas que establece de antemano el profesor. En el juego, una vez iniciada la situación de aprendizaje, el profesor actúa como juez, para evitar que se utilicen reglas distintas, y para proporcionar, además, retroalimentación sobre los resultados de las acciones de los alumnos.

Siguiendo estas ideas, en colaboración con R. Gómez-Carrillo, estamos realizando un estudio piloto, con escaso control experimental, de los efectos sobre el aprendizaje en un grupo de alumnos de 3.º de B.U.P. y C.O.U. de un juego de reglas que hemos denominado «enlace químico». Las peculiaridades de este juego se detallan en el Apéndice III. En el juego pretendemos movilizar la estructura conceptual del alumno sobre «la naturaleza del enlace químico», mediante la «interacción social» y la experiencia que aquél le proporcione. Los conceptos que se intentan inducir están directamente relacionados con las reglas del juego que deberán utilizar repetidamente.

En este estudio piloto pretendemos realizar una primera aproximación sobre el comportamiento del juego con distintos tipos de alumnos: alumnos con distintos niveles de desarrollo intelectual y alumnos dependientes e independientes de campo. Aclaremos que se conoce por dependientes de campo a aquellos alumnos que se fijan en los detalles, mientras que los alumnos independientes de campo localizan antes la estructura general; ambos corresponden a los extremos de un continuo en lo que se denomina un estilo cognitivo.



Antes de iniciar el juego los alumnos respondieron a una prueba que pretendía evaluar sus conocimientos acerca del «enlace químico». En esta prueba los alumnos redactaron contestaciones breves a las siguientes preguntas: 1. ¿Por qué se forman enlaces entre átomos?, 2. ¿Qué es una molécula?, 3. ¿Qué es un metal?, 4. ¿Cuáles son las fuerzas responsables del enlace?, 5. ¿Por qué son conductores los metales?, 6. ¿Por qué no son conductores las moléculas covalentes, por ejemplo, el O_2 ?, 7. ¿Por qué algunos gases al enfriarlos se licuan?, 8. Dado el diagrama Energía-distancia para el sistema X-X adjunto: a) ¿A qué situaciones corresponden los puntos d_1 , d_2 , d_3 ?; b) ¿A partir de este diagrama podemos inferir algo sobre la geometría del compuesto?; c) Si $X = F$, Cl , Br , ó I , ¿variaría en algo el diagrama?

Las contestaciones de los 59 alumnos que participarían en el «juego del enlace químico» fueron analizadas y categorizadas en contestaciones distintas. En cada contestación se iban anotando las proposiciones parcialmente válidas, contando posteriormente el número de atributos de la contestación correcta que cada alumno había reflejado.

La misma prueba fue contestada al día siguiente de finalizar el juego, analizándose los resultados de la misma forma. En el juego participaron 59 alumnos (33♀, 26♂), de los cuales 31 contestaron correctamente, utilizando razonamientos válidos, dos pruebas de razonamiento «proporcional» (Apéndices I y II). El resto sólo superó una de las dos pruebas (23) o ninguna (5). En esta actividad invirtieron dos semanas a razón de dos clases semanales.

Resultados del juego

Nuestros dos grupos («Formales»-«No-Formales» de acuerdo con el resultado simultáneo en dos pruebas simples de razonamiento proporcional) también diferían en cuanto a sus conocimientos previos. En cuatro preguntas (1, 2, 3, 6), las personas pertenecientes a la submuestra «formal» mostraron un número medio de ideas apropiadas significativamente mayor que el promedio manifestado por el resto de sus compañeros. Estas diferencias iniciales quedaron anuladas por el tratamiento, ya que las diferencias en los promedios de ambos grupos tienen más de un 5 por 100 de posibilidades de ser imputables al azar. En la pregunta 3, en la que encontramos varianzas estadísticamente distintas, no tenemos la misma certeza, ya que la prueba de contraste utilizada, «t» de Student, no es aplicable.

El tratamiento parece haber producido mayores beneficios a los alumnos «formales» en la pregunta 5, en la que encontramos una diferencia de progresos entre ambos grupos del orden de $3/4$ de desviación standard ($\Delta = 0,75$). Pudo haber ocurrido lo mismo en la pregunta 8, en donde observamos un crecimiento diferencial más moderado ($\Delta = 0,61$); sin embargo, la varianza del grupo de alumnos formales aumentó demasiado, alejándonos de la situación en la que es aplicable el modelo de contraste estadístico utilizado.

El resultado global fue positivo para el desarrollo conceptual del conjunto de alumnos. En todas las preguntas, excepto una, el promedio de

ideas válidas fue estadísticamente superior en la prueba realizada al finalizar el juego que en la prueba que le precedió. El efecto del tratamiento, utilizando la desviación standard promedio como unidad, en las distintas preguntas arrojó los siguientes valores:

Pregunta	Efecto	Pregunta	Efecto	Pregunta	Efecto
P ₁	0,92	P ₄	1,24	P ₈	0,70
P ₂	0,41	P ₅	0,57		
P ₃	1,05	P ₆	0,86		

De confirmarse estos resultados, utilizando una medida del progreso conceptual más válida, este juego contendría algunas de las características de los métodos de instrucción, que sin «frenar» a los alumnos formales, facilita la adquisición de conceptos formales a los alumnos que no han consolidado el uso del razonamiento «proporcional».

Otro instrumento didáctico que puede permitir obtener conocimientos, utilizando el factor de la experiencia física con conceptos formales, es el uso de programas de simulación con microordenador. En este caso, el programa del microordenador cumple las funciones de juez y fuente de retroalimentación que en el caso anterior adjudicábamos al profesor. Batt diseñó un programa para proporcionar a sus alumnos una simulación de las reacciones químicas de primer y segundo orden al estudiar cinética-química (Batt, 1980). Este programa de simulación constituye el primer paso de una secuencia instructiva que recibe el nombre de ciclo de aprendizaje, cuyas características comentaremos más adelante.

En los últimos años se viene investigando en la utilización del microcomputador en esta dirección, haciendo uso de otras posibilidades que permiten estos aparatos. Así, en el Educational Technology Center de la Universidad de California, Irvine, los programas de microordenador que se desarrollan, además de utilizar el diseño propio de los ciclos de aprendizaje introducen elementos propios del aprendizaje de dominio (E.T.C., 1981).

Por último, la manipulación de objetos y aparatos en el aprendizaje de las ciencias experimentales permite un tercer tipo de experiencia, la experiencia lógico-matemática. En esta ocasión el aprendizaje no proviene de los objetos, sino de la reflexión de la persona sobre el significado y las consecuencias de las manipulaciones que realiza. Así, cuando nuestro alumno manipula objetos de uso común e intenta construir con ellos, por ejemplo, algunos aparatos de medida que requiere para llevar a cabo sus indagaciones, lo que aprende está relacionado con el significado y propiedades de las medidas físicas en cuestión. Estas propiedades no son algo intrínseco de los envases de yogurt, palillos, etc., que utiliza, sino que se hallan implícitas en las acciones que él ha realizado. Del mismo modo, en la llamada «enseñanza de la Ciencia pobre», el alumno aprende la necesidad de mantener constantes todas las variables y características de los objetos que manipula, salvo aquella variable que hace variar «ex-profeso» para averiguar su efecto sobre el comportamiento del sistema. Este tipo de aprendizaje, una vez más, no proviene de los objetos, sino de las manipulaciones realizadas sobre los mismos, y como en el caso ante-

rior resulta fundamental para posteriores aprendizajes, ya que lo que se adquiere en ambos casos son esquemas de acción, u operaciones en la terminología piagetiana, que podrán aplicarse a multitud de nuevos campos.

En ocasiones podemos oír que el aprendizaje por medio de la «ciencia pobre» carece de sentido, ya que la mayoría (?) de los laboratorios escolares disponen de aparatos de medida que permiten obtener resultados experimentales más precisos. Sin embargo, no nos olvidemos que el objetivo principal de estas actividades de laboratorio no es obtener unos resultados concordantes con unos principios y leyes físico-químicas descubiertos por la humanidad en otras épocas. Lo que deben pretender estas actividades es facilitar la comprensión de unos conceptos, relaciones entre conceptos y del método utilizado por la humanidad para llegar a esas conclusiones. Y, precisamente, la utilización de unos aparatos de medida más o menos precisos y de unas situaciones experimentales apropiadas, cuando ambos son proporcionados al alumno desde el exterior, pueden escamotear al alumno el significado de lo que está haciendo, de los métodos que utiliza y, por tanto, de los resultados experimentales. Además, creo que esta metodología didáctica puede facilitar que el alumno adquiera una visión errónea de la Ciencia.

El científico dedicado a explorar nuevos aspectos de su campo de estudio posee un enorme bagaje de conocimientos que le permiten extraer conclusiones adecuadas de los datos resultantes de medir con aparatos de gran precisión. Sin embargo, el alumno que estudia la ciencia impartida entre la segunda etapa de E.G.B. y el primer ciclo universitario, por lo general carece de una comprensión sólida de la naturaleza del problema que estudia, del método de análisis de la realidad que le hacen utilizar, de los conceptos básicos que subyacen a las medidas que efectúa, etc. En estas condiciones la actividad experimental se enmarca en la realización de una serie de tareas que el alumno no interioriza, ni incorpora activamente a su estructura conceptual. Podríamos decir que la verdadera enseñanza activa es aquella en la que el alumno se encuentra intelectualmente implicado en el problema bajo estudio y busca activamente la forma de resolverlo. De este tipo de aprendizaje activo, en ocasiones, no resulta un aprendizaje inmediato de los conceptos que se estudian.

La adquisición de un concepto nuevo en una disciplina que se caracteriza por la existencia de un entramado de conceptos cuyo significado se extrae de sus relaciones con otros conceptos y, en última instancia, de unos datos experimentales, exige el dominio de un buen número de prerrequisitos. El aprendizaje activo puede conducir a consolidar la comprensión de algunos de los prerrequisitos o a la adquisición de la nueva estructura conceptual cuando el alumno ya domina los prerrequisitos. Estos prerrequisitos incluyen conceptos básicos, en ocasiones, excesivamente elementales como para ser tenidos en cuenta por el profesor. También incluyen conceptos básicos sobre la naturaleza de la Ciencia y la posesión de unas formas de razonar ante problemas que tienen una estructura lógica similar. La adquisición de estos dos últimos tipos de prerrequisitos parece exigir disponer de múltiples oportunidades para llevar adelante lo que Piaget denomina experiencia lógico-matemática.

Los resultados examinados en esta sección, y la discusión posterior sobre el significado del factor «experiencia física», debía hacernos reflexionar sobre los objetivos que pretendemos conseguir cuando estimulamos a nuestros alumnos a realizar «actividades», incluyendo en esta categoría las actividades experimentales. Esta reflexión nos permitirá decidir en cuál de los tres tipos de «experiencia física» nos gustaría que se implicaran los alumnos. A partir de ese momento podremos intuir el tipo de recursos materiales que debemos poner a su disposición.

Con el fin de tener una primera aproximación de los efectos de una «actividad» concreta sobre el aprendizaje del alumno, podemos observar lo que el alumno hace, descomponer esa acción en tantas etapas elementales (esquemas) como sea posible, y para cada una de ellas, preguntarnos por las exigencias intelectuales que conlleva esa acción. (A título de ejemplo, sugiero que intente averiguar las exigencias intelectuales que requiere la siguiente «actividad»: un alumno sentado en su pupitre escucha al profesor y simultáneamente toma apuntes.) Aparte de la información que el alumno logre incluir en su memoria a largo plazo, estimo que el aprendizaje resultante de una actividad puede caracterizarse como la consolidación de las acciones o esquemas que esa actividad le haya obligado a realizar (en este sentido, ¿qué «aprendió» el alumno que tomaba apuntes?).

V.3. **Autoequilibración**

Quizá el instrumento didáctico más relevante, de entre los que apunta la teoría de Piaget, se extraiga de la búsqueda del equilibrio que se produce cuando el alumno obtiene informaciones que le sitúan en desequilibrio cognoscitivo. El proceso de autoequilibración o autorregulación, por el momento, no ha sido explicado ni estudiado en detalle por lo que no disponemos de un modelo orientativo de cómo tiene lugar. Aunque no se pueda detallar una serie de actuaciones del profesor que faciliten el proceso de autoequilibración sí se puede utilizar en nuestras aulas algunas ideas generales compatibles con el concepto piagetiano.

De acuerdo con esto, la misión del profesor es en primer lugar diseñar unas actividades que sitúen al alumno en desequilibrio con respecto a lo que inicialmente pensaba sobre el fenómeno a estudiar. Alcanzado este estadio, el profesor debe posibilitar que el alumno realice otras actividades que le ayuden a equilibrarse.

Para el primer tipo de actuación resulta necesario tener información sobre los conceptos espontáneos que el alumno posee acerca de los fenómenos bajo estudio. Con esta información será posible imaginar aquellas actividades que producirán que el alumno haga explícitas sus ideas espontáneas. Acto seguido habrá que presentar al alumno experiencias de las que obtenga datos que contradigan sus conocimientos espontáneos, planteándole a continuación que busque la forma de salir de esas contradicciones.

Para llevar adelante una estrategia instructiva como la que acabamos de delinear resulta necesario que el profesor disponga de un bagaje de

conocimientos mucho más amplio que el simple dominio de la disciplina que imparte. Por un lado es necesario que el profesor conozca las ideas espontáneas que mantienen las personas de esa edad acerca de cada uno de los fenómenos que se estudian y el modo en que esas ideas están estructuradas. Con el fin de facilitar la autorregulación de sus alumnos, también debe conocer cómo evolucionan esas ideas hasta alcanzar la estructura conceptual que caracteriza a la ciencia actual.

El profesor también necesita poseer una información análoga sobre los otros dos tipos de prerrequisitos que hemos mencionado; las formas de razonar propias del alumno y sus ideas acerca de la naturaleza de la Ciencia. Para ambos tipos de prerrequisitos, el profesor debe poseer un conocimiento del estado en que se encuentran sus alumnos y de la evolución probable de ese estado.

Toda esta información permitirá que el profesor pueda prever, más o menos, los procedimientos que propondrán sus alumnos para salir de sus contradicciones y, por tanto, disponer de antemano los materiales adecuados para la realización de esas actividades.

Además, resulta imprescindible que el profesor actúe de acuerdo con algunos principios básicos en la interacción con sus alumnos. En todo el proceso resulta primordial que el profesor incite a que los alumnos reflexionen sobre las formas de razonar que utilizan al encarar los problemas y que evalúen su adecuación, discutiendo ambos aspectos con sus compañeros.

También resulta importante que, al evaluar los resultados del aprendizaje, el profesor tenga en cuenta los progresos realizados por los alumnos respecto al desarrollo evolutivo de los conceptos e ideas acerca de la Ciencia y de las formas de razonar del alumno, en lugar de tener únicamente en cuenta la adquisición de conceptos tal cual los entiende hoy la Ciencia. De otro modo, el alumno encaminaría su estrategia a conseguir los niveles exigidos por el profesor por el camino más económico.

Estimo que la cuestión del grado de sofisticación conceptual que debemos exigir a nuestros alumnos es de especial importancia. Los conceptos científicos que manejamos en nuestras aulas conllevan un gran número de atributos; más de los que nos imaginamos; por ejemplo, pensemos en los conceptos de «electrón» o de «gen». Estos conceptos son mucho más ricos y diferenciados en la mente del investigador que se dedica a indagar en su naturaleza, que en el investigador que lo utiliza pero cuyo trabajo está centrado en otro problema. Podemos pensar que esta última persona tiene un concepto de «gen» o «electrón» más refinado que el que poseemos los profesores de niveles no universitarios a los que se nos exige unos conocimientos que abarcan un campo más extenso.

Nuestros alumnos, normalmente, carecen del concepto o mantienen sobre el fenómeno un «pre-concepto» adquirido espontáneamente o a través de los medios de comunicación de masas. En estas condiciones, creo que es inútil exigirles que dominen el concepto tal cual lo define actualmente la ciencia, ya que, como he indicado antes, esto podría hacerlo solamente el reducido grupo de investigadores que trabajan precisamente sobre esos conceptos. Tampoco es razonable exigirles el concepto que nosotros

poseemos, ya que éste lo hemos adquirido con un buen número de años de estudio (licenciatura y docencia) adicionales. Por ello propongo que se les exija únicamente el dominio de los atributos del concepto más importantes y accesibles, valorando positivamente los avances que realicen en la progresión que he comentado.

El proceso de equilibración exigirá un espacio temporal distinto para cada alumno. El profesor debe, por tanto, permitir que el alumno emplee el tiempo que necesite para cada uno de los objetivos que se proponen. Para ello puede resultar pertinente utilizar las ideas del aprendizaje de dominio, y una evaluación continua que incluya en cada momento todos los conocimientos estudiados anteriormente. Exigir un aprendizaje de dominio permite que el alumno no se vea penalizado por llevar un ritmo de aprendizaje más lento. La inclusión de los conocimientos estudiados anteriormente dentro del esquema de evaluación continua, permitirá que el alumno avance durante el curso a lo largo de la progresión conceptual y cognoscitiva a la que se ha aludido repetidamente.

V.4. Los ciclos de aprendizaje como síntesis de algunos resultados piagetianos

En lo visto en las secciones anteriores hemos podido comprobar la complejidad del aprendizaje de los conceptos científicos y la evidente falta de fórmulas definitivas para su enseñanza en los niveles en que hemos centrado nuestra atención. El hecho de que el aprendizaje no resulte una interacción simple entre una información ordenada y el cerebro del individuo constituye un resultado importante. El proceso parece ser bastante más laborioso y exige un tiempo muy superior al que se dispone en la actualidad para asimilar toda la ciencia que prescriben los programas escolares. Por tanto, debemos limitar drásticamente el volumen de contenidos a impartir en esta etapa de la escolaridad. Con ello quizá se consiga que los adultos de las próximas generaciones recuerden y utilicen en su vida cotidiana algo de la ciencia que se les intentó transmitir en la escuela. Esta ciencia, potencialmente útil para la vida del ciudadano adulto, quizá quede circunscrita a los conceptos básicos de cada una de las disciplinas científicas, a unos procedimientos para buscar soluciones a los problemas que se nos plantean, y a una información somera de la naturaleza y funcionamiento del mundo científico.

A lo largo de las páginas anteriores hemos visto las limitaciones que aún tenemos para poder enunciar una teoría de instrucción para la enseñanza de la ciencia fundamentada en el desarrollo intelectual del alumno. El ideal perseguido es que el lector haya tenido la oportunidad de aislar dos o tres ideas que pueda incorporar a su práctica docente actual, sometiéndolas previamente a una evaluación de su funcionamiento en el aula.

Los investigadores en la enseñanza de las ciencias que utilizan las ideas de Piaget, a la hora de proponer soluciones prácticas para el aula, han centrado su atención, en bastantes casos, en lo que se conoce como «Ciclos de Aprendizaje». Estos «Ciclos de Aprendizaje» instrumentalizan didácticamente algunos de los resultados que se han expuesto en la revi-

sión de las investigaciones que hemos realizado en las páginas anteriores. Sin embargo, no deben considerarse soluciones definitivas sino, simplemente, una aproximación, aún tosca, al problema. Los «Ciclos de Aprendizaje» en opinión de algunos investigadores facilitan el desarrollo intelectual y el aprendizaje de contenidos científicos. Sin embargo, como indica Deanna Kuhn en ellos no se distingue lo que resulta efectivo para promover el desarrollo intelectual y aquello que facilita la adquisición de los contenidos (Kuhn, 1979). De ahí que haya utilizado el apelativo «tosca» para caracterizar a este tipo de soluciones.

Los ciclos de aprendizaje constituyen unos modelos de instrucción que se pueden utilizar para cada uno de los conceptos o principios que se intentan explicar. Cada ciclo está formado por tres etapas sucesivas: exploración; invención conceptual y consolidación conceptual.

Exploración

Durante esta fase no se proporciona al alumno información específica sobre los atributos del fenómeno o concepto que se está tratando. En esta etapa se posibilita que el alumno recoja datos sobre el fenómeno o concepto y desarrolle una comprensión elemental del mismo mediante experiencias concretas que él mismo sugiere y que normalmente implican la manipulación de distintos materiales. La exploración conlleva toda una serie de actividades realizadas por los alumnos, normalmente en grupos, que implican observar, medir, experimentar, interpretar, predecir y generar modelos.

En esta etapa se intenta que el alumno, en una atmósfera no-dirigida, explore sus ideas iniciales sobre el fenómeno, ponga a prueba algunas hipótesis que le surjan y compruebe la existencia de contradicciones entre su forma de pensar y los resultados de sus manipulaciones.

Invención conceptual

En esta fase los alumnos adquieren el lenguaje asociado al concepto o fenómeno con el que han estado trabajando. En la mayoría de los casos el nombre del concepto y la terminología científica asociada al problema es proporcionado por el profesor, aunque los alumnos también pueden proporcionar la terminología que se les ocurra. En esta ocasión se trata de comprobar cómo los distintos resultados obtenidos en la etapa de exploración adquieren cierta coherencia gracias a la introducción de unos conceptos claves.

Consolidación conceptual

La última etapa conlleva casi al mismo tipo de actividades que la fase exploratoria, es decir, observar, medir, experimentar, interpretar, etc. Las actividades están diseñadas en esta ocasión para permitir que los alumnos amplíen sus «estructuras conceptuales», comprobando la utilidad del concepto en otras situaciones y los límites en los que éste es aplicable.

En esta última fase se incita a los alumnos a utilizar el lenguaje recién inventado mientras realizan las actividades de ampliación.

En la fase exploratoria los alumnos desconocen cuáles son los fenómenos que se supone que ocurren y que deben observarse. La responsabilidad de determinar el significado de lo que ha ocurrido en cada experiencia queda en manos del alumno. Finalizada esta fase los alumnos proporcionan por escrito un informe de lo que han realizado y de las evidencias que han recogido. Cuando estos informes no proporcionan datos que se puedan utilizar en la etapa de la invención conceptual, el profesor debe guiar a los alumnos a que realicen exploraciones adicionales. En la última etapa el profesor puede plantear problemas para que los distintos grupos de alumnos los intenten resolver.

Schneider y Renner han intentado evaluar la efectividad didáctica de los ciclos de aprendizaje. Durante doce semanas un grupo de 25 alumnos de un nivel similar a nuestro 3.º de B.U.P. fue sometido a una estrategia instructiva basada en ciclos de aprendizaje, mientras que otro grupo de alumnos hacía las veces de grupo de control, sufriendo una estrategia expositiva (Schneider y Renner, 1980).

Los rendimientos en adquisición de contenidos físicos fueron superiores para el grupo experimental, tanto al terminar la fase experimental como en el mismo examen realizado tres meses después (ambos con el mismo profesor). Las diferencias en ambas medias resultaron ser estadísticamente significativas. El grupo experimental obtuvo asimismo ganancias superiores a las obtenidas por el grupo expositivo en cuanto al desarrollo intelectual —mientras duró ésta—; sin embargo, al cesar la situación de aprendizaje experimental la rapidez del desarrollo intelectual de los alumnos fue similar para ambos grupos de personas (Schneider y Renner, 1980). Al realizar el experimento con alumnos de 2.º de B.U.P. de biología, en esta misma línea de actuación, se extraen conclusiones similares (Purser y Renner, 1983).

También se han obtenido resultados similares cuando los alumnos que sufrieron la experiencia cursaban el primer curso de química universitaria (Ward y Herron, 1980). Estos investigadores realizaron un experimento de menor duración y obtuvieron la misma tendencia en cuanto a los resultados, aunque éstos fueran de menor magnitud. Recientemente se ha realizado un análisis exhaustivo de los conocimientos que se poseen en el actualidad sobre la efectividad de los ciclos de aprendizaje (J. W. Renner; M. R. Abraham; H. Birnie, 1983).



VI. Bibliografía

- AGUIRRE J. y ERIKSON, G.
«Student's conceptions about the vector characteristics of three Physics concepts». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 21, 5, 439-458, 1984.
- AGUIRRE DE CARCER, I.; GABEL, D.; STAVAR, J.
«Implications of Piagetian Research for high school science teaching: A review of the Literature». *Science Education* 62 (4); págs. 571-583, 1978.
- AGUIRRE DE CARCER, I.
«La enseñanza de las ciencias y la teoría de Piaget (1971-1981). Resultados más importantes para el profesorado de B.U.P. y del 1.º Ciclo Universitario». *Boletín del Instituto de Ciencias de la Educación*, núm. 4, págs. 21-39, 1981. Universidad Autónoma de Madrid.
- AGUIRRE DE CARCER, I.
«Dificultades en la comprensión de las explicaciones de los libros de texto de Física». *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 1, núm. 2, págs. 92-98, 1983.
- ANDERSON, R.
«How to construct achievement tests». *Review of Educational Research*. Vol. 4, 1972.
- ARONS, A.
«Cognitive level of college physics students». *American Journal of physics*. Vol. 47 (7), págs. 650-51, 1979.
- BARGH, J. A., y SHUL, Y.
«On the cognitive benefits of teaching». *Journal of Educational Psychology*. Vol. 72, págs. 593-604, 1980.
- BATT, R. S.
«A Piagetian Learning cycle for introductory Chemical Kinetics». *Journal of Chemical Education*. Vol. 57 (9), sept. 1980.
- BENDER, D. S., y MILAKOFSKY, L.
«College chemistry and Piaget: The relationship of aptitude and achievement Measures». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 19, núm. 3, págs. 205-216, 1982.
- BERNAD, J. A.
Guía para la valoración de los textos escolares. Ed. Teide, Barcelona, 1976.
- BOULANGER, F. D., y KREMER, B. K.
«Age and Developmental level as antecedents of Science Learning». *Journal of Research in Science teaching*. Vol. 18, núm. 4, págs. 371-384, 1981.

- CAAMAÑO, A.; CASASSAS, E.; COLOM, J.; GASSIOT, M.; MASJUAN, M. D.
 «Comentaris sobre alguns aspectes de l'ensenyament de l'equilibri químic». Institut de Ciències de l'Educació. Universitat de Barcelona. Col·lecció Documents A 57, 1982.
- CANTU, L., y HERRON, J.
 «Concrete and Formal Piagetian stages and science concept attainment». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 15, págs. 135-143, 1978.
- CARRASCOSA, J., y GIL, D.
 «Los errores conceptuales en la enseñanza de la Física. Un estudio de su persistencia». *I Jornadas de investigación didáctica en Física y Química*. Valencia, septiembre, 1982.
- CARRETERO, M.
 «Investigaciones sobre el pensamiento formal». *Revista de Psicología General y Aplicada*. Vol. 35 (5), págs. 1-28, 1980 a.
- CARRETERO, M.
 «Desarrollo intelectual durante la adolescencia: competencia, actuación y diferencias individuales». *Infancia y Aprendizaje*, núm. 12, págs. 81-98, 1980 b.
- COLL, C., y GILLIERON, CH.
 «Jean Piaget y la Escuela de Ginebra: Itinerario y tendencias actuales en Piaget». *Monografía de Infancia y Aprendizaje*. 2, Madrid, 1981, págs. 55-95.
- COLLEA, F.; FULLER, R.; KARPLUS, R.; PALDY, L; RENNER, J.
Workshop on physics teaching and the development of reasoning. American Association of Physics Teachers. N. Y., 1975.
- CORRAL A.
 «La influencia del estilo cognitivo "dependencia-independencia de campo" en la resolución de dos problemas de física». *Infancia y Aprendizaje*, 1982, 18, págs. 107-123.
- CORRAL, A.
Actuación formal y aprendizaje de operaciones lógico-formales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Octubre, 1983.
- COULTER, D.; WILLIAMS, H., y SCHULTZ, H.
 «Formal operational ability and the teaching of science Processes». *School Science and Mathematics*. Vol. 31 (12), págs. 131-138, 1981.
- CROS, D.
 «Modèles fondamentaux des étudiants entrant á l'Université dans le domaine de la Chimie», en Giordan, A., y Martinand, J. (Eds.) *Quels types de recherche pour rénover l'éducation en sciences expérimentales?* Cinquièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique. Chamonix, 1983.
- CHAMPAGNE, A. B.; KLOPFER, L.E., y ANDERSON, J.
 «Factors influencing the Learning of Classical mechanics». *American Journal of Physics*, 48, págs. 1074-1079, 1980.
- CHAMPAGNE, A.; KLOPFER, L.; GUNSTONE, R.
 «Cognitive Research and the Design of Science Instruction». *Educational Psychologist* 1982, 17 (1), págs. 31-53.
- CHIAPPETTA, E.
 «A review of piagetian studies relevant to science instruction at the secondary and college level». *Science Education*, 60, 123, págs. 253-261, 1976.
- DELVAL, J.
 «La epistemología y los programas escolares». *Cuadernos de Pedagogía*, núm. 13, págs. 12-15, 1976.

- DELVAL, J.
La formación del Espíritu Científico en el niño. XI Plan Nacional de Investigación Educativa. M.E.C. Memoria final, 1983.
- DELVAL, J.
Crece y pensar. La construcción del conocimiento en la escuela. Ed. Laia. Barcelona, 1983.
- DIB, C. K.
 «The transfer of Educational Technology in the scientific Area». *P.L.E.T.* Vol. 17, núm. 3, págs. 250-256, 1980.
- DOYLE, W.
 «Academic Work». *Review of Educational Research*. Summer 1983, Vol. 53, núm. 2, págs. 159-199.
- DRISCOLL, D. R.
Student misconceptions in Chemical equilibrium. Unpublished. B. Ed. Dissertation. Monash University, Victoria, Australia, 1966.
- DUIT, R.
 «Student's notions about the energy concept before and after Physics instruction». *International seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University, junio 1983.
- EASLEY, J., y DRIVER, R.
 «Pupils and paradigms». *Studies in Science Education*, 4, págs. 84, 1978.
- FAGAL, R. E.
The relationship between Piagetian cognitive Developmental levels, Instructional Strategy, and Science Achievement (University of California, 1977). Dissertation Abs Int. 38 (12): 7110-A, June, 1978.
- FAUCHER, G.
 «Advanced Physics courses Do Not Provide Student Conceptual Change». *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University, junio, 1983.
- FENSHAM, P. T.
 «A Research Base for New Objectives of Science Teaching». *Science Education* 67 (1): págs. 3-12, 1983.
- FERNANDEZ URIA, E.
 «Análisis de libros de texto de ciencias en el Bachillerato». *Revista de Bachillerato*, núm. 6, abril-junio 1978.
- FISHER, K. M.
 «Amino acids and Translation: A misconception in Biology». *International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University, junio, 1983.
- FLAVELL, J. H.
La psicología evolutiva de Jean Piaget. Paidós. Buenos Aires, 1976.
- FURIO, C. I., y HERNANDEZ, J.
 «Modelos de gases en alumnos de once a quince años». *I Jornadas de Investigación didáctica en Física y Química*. Valencia, septiembre, 1982.
- FURIO, C. J., y ORTIZ, E.
 «Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico». *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 1, núm. 1, págs. 15-20, 1983.
- GABEL, D., y SHERWOOD, R.
 «The effect of student manipulation of molecular models on Chemistry achievement according to Piagetian level». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 17 (1), 75-81, 1980.

- GARCIA JIMENEZ, M. T.
«Alimentación y nutrición en relación con la higiene y el consumo». *Jornadas de Ciencias Naturales y su Didáctica*. ICE Universidad Literaria y Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2-5, mayo 1984.
- GARDNER, P. L.
«Difficulties with non-technical words among junior secondary science students». *The Words in Science Project*. Australian Science Education Research Assoc., págs. 58-81, 1972.
- GILBERT, J. K.
«The Study of student misunderstandings in the physical sciences». *Research in Science Education*, 7, págs. 165-172, 1977.
- GONZALEZ, M.; GENTIL, C.; MARTINEZ, J. R.; SANCHEZ, R.; REDONDO, A.
Enseñanza de la Física y Química en 2.º de B.U.P. a través de la metodología científica. Memoria final del proyecto financiado por la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía, 1983.
- GOODSTEIN, M. P., y HOWE, A. C.
«Application of Piagetian Theory to introductory Chemistry Instruction». *Journal of Chemical Education*. Vol. 55, núm. 3, págs. 171-73, 1978.
- GUNSTONE, R. F., y WHITE, R. T.
«A matter of Gravity». *Research in Science Education*, 10, págs. 35-44, 1980.
- HALL, J. R.
«Conservation Concepts in elementary chemistry». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 10, núm. 2, págs. 143-146, 1973.
- HAN, J. H.
An analysis of the second year Korean science textbook using Piagetian concrete and formal operational thinking patterns (The Florida State University, 1977). Diss Abst. Inter. 39 (9): 5376-A, marzo, 435, 1978.
- HARTFORD, F., y GOOD, R.
«Assessment of cognitive requirements of instructional materials». *School Science and Mathematics*. Vol. 76, págs. 231-236, 1976.
- HERRON, J.
«Piaget for chemists. Explaining what «good» students cannot understand». *Journal of Chemical Education*. Vol. 53, núm. 3, 1975.
- HOWE, A. C., y DURR, B. P.
«Analysis of an instructional Unit for level of cognitive demand». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 19, núm. 3, págs. 217-224, 1982 a.
- HOWE, A. C., y DURR, B. P.
«Using concrete materials and peer interaction to enhance learning in chemistry». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 19, núm. 3, páginas 225-233, 1982 b.
- INHELDER, B., y PIATGET, J.
De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Paidós, Buenos Aires, 1972.
- JURD, M. F.
«An empirical study of operational thinking in history-type material» en Keats, J. A.; Collis, K. F., y Halford, G. S. (Ed.) *Cognitive Development*; Wiley; New York, 1978.
- KARPLUS, R., y KARPLUS, E.
«Intellectual development beyond elementary School. III. Ratio a Longitudinal Study». *School Science and Mathematics*. Vol. 72, núm. 8, páginas 735-744, 1972.

- KARPLUS, R.; LAWSON, A.; WOLLMAN, W.; APPEL, M.; BERNOFF, R.; HOWE, A.;
RUSCH, J.; SULLIVAN, F.
Science Teaching and the Development of Reasoning. Lawrence Hall of
Science. University of California, Berkeley, 1977.
- KARRQUIST, C.
«How swedish pupils, age 12-15, understand light and its properties». *Inter-
national seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell Uni-
versity, junio, 1983.
- KOLODY
«The cognitive development of high school and college science students». *Jour-
nal of College Science Teaching* 5 (1): 20-22, 1975.
- KUHN, D.
«The application of Piaget's Theory of Cognitive Development to Education». *Har-
vard Educational Review*, Vol. 49, núm. 3, 1979.
- LAWSON, A., y RENNER, J.
«Relationship of Science subject matter and developmental levels of Lear-
ners». *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 12 (4), pág. 397, 1975.
- LAWSON, A.
«A study of the Piagetian Model as directly applied to science subject Mat-
ter», en J. Renner y otros. *Research, teaching, and Learning with the Piaget
Model*. University of Oklahoma Press, Norman, 1978.
- LAWSON, A.
«The reality of General Cognitive Operations». *Science Education*. 66 (2):
229-241, 1982.
- LONGEOT, F.
«Analyse statistique de trois test genetique collectifs». *Bulletin de l'Institute
National d'Etude*, 1965, 20, págs. 219-235.
- LOVELL, K.
«Understanding of scientific Concepts at Different Developmental Levels
and a Technique for investigating the Degree of Understanding illustrated
by reference to electrostatic and Gravitational Potential», en: K. Frey, M. La-
neled. *Cognitive Processes and Science Instruction*. Verlag Hans Huber.
Berna., 1973.
- LLORENS, J. A.
«Propuestas sobre la enseñanza de las Ciencias en Formación Profesional». *Pro-
fesiones y Empresas*. Febrero, 1983, págs. 13-15.
- MCCONKIE
«Learning from text», en L. S. Shulman (Ed). *Review of Research in Educa-
tion*, 5, 1977, Peacock Publishers Inc.
- McKINNON, J., y RENNER, J.
«Are Colleges concerned with intellectual development?». *American Jour-
nal of Physics*. Vol. 39, págs. 1047-52, 1971.
- NICOLIS, C., y PRIGOGINE, I.
Self-Organization in Nonequilibrium Systems. New York, John Wiley y Sons
INC, 1977.
- PALACIOS, J., y RAMIREZ, J. D.
«Glosario de términos piagetianos», en Piaget. *Monografía de Infancia y
Aprendizaje 2*. Madrid, 1981, págs. 123-143.
- PERRET-CLERMONT, A. N.
«Perspectivas psicopsicología del aprendizaje en situación colectiva». *In-
fancia y Aprendizaje*, núm. 16, 1981.

- PIAGET, J.
«Intellectual evolution from adolescence to adulthood». *Human Development*, 15, págs. 1-12, 1972.
- PIAGET, J.
«La teoría de Piaget», en Piaget. *Monografías de Infancia y Aprendizaje 2*. Madrid, 1981, págs. 13-55.
- POPE, M., y GILBERT, J.
«Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science». *Science Education* 67 (2): págs. 193-203, 1983.
- POZO, J. I., y CARRETERO, M.
«El adolescente como historiador». *Infancia y Aprendizaje*, 23, págs. 75-90, 1983.
- PROSSER, M.
«Cognitive analysis of physics textbooks at the tertiary or college level». *Science Education* 63 (5), págs. 677-683, 1979.
- PROSSER, M.
«Relationship between the cognitive abilities of a Group of tertiary physics students and the cognitive requirements of their textbook». *Science Education* 67 (1): 075-083, 1983.
- PURSER, E. K., y RENNER, J. W.
«Results of two tenth-grade biology teaching Procedures». *Science Education* 67 (1), págs. 85-98, 1983.
- RENNER, J. W.; ABRAHAM, M. R.; BIRNIE, H.
«Research with the Learning Cycle in Chemistry and Physics». *56th Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. Abril, 1983, Dallas, Texas.
- SAYRE, S., y BALL, B.
«Piagetian cognitive development and achievement in Science». *Journal of Research in Science Teaching* 12 (2): 165-174 (1975).
- SCHWEBEL, M.
«Logical Thinking in college freshmen. Final Report». U. S. Office of Education, Department of Health, Education and Welfare, Grant, número 0 EG-2-7-0039 (509) (ERIC No. ED 063896Z), 1972.
- SHAYER, M.
«The analysis of science curricula for piagetian level of Demand». *Studies in Science Education*, 5, págs. 115-130, 1978.
- SHAYER, M.
«Cognitive acceleration and science education». Proceedings of UK-U.S.A. Seminar: *Science Education for the Citizen*. Enero 7-12, 1982, Londres, páginas 37-46.
- SNELBECKER, G. E.
Learning theory, Instructional theory, and Psychoeducational Design. New York: McGraw-Hill, Inc. 1974.
- STEINER, R. P.
«Encouraging active participation in the Learning Process». *Journal of Chemical Education*. Vol. 57, núm. 6, junio, 1980.
- VIENNOT, L.
Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Hermann. Paris, 1979.
- WEBB, N. M.
«Student interaction and Learning in Small Groups». *Review of Educational Research*. 1982. Vol. 52, núm. 3, págs. 421-445.

- WEELER, A. E., y KASS, H.
«Students Misconception in Chemical Equilibrium». *Science Education* 62 (2), págs. 223-232, 1978.
- WEST, L. H., y FENSHAM, P. J.
«What is Learning in chemistry?», en F. C. Fogliani (ed.) *Chemical Education —a view across the secondary tertiary interface*. Royal Australian Chemical Institute, 1979, págs. 162-169.
- WHITAKER, R.
«An examination of student inconsistencies in their understanding of trajectory motion». *International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics*. Cornell University, junio 1983.
- WHITE, R. T.
«Describing cognitive structure». *Proceeding for the Annual Conference of the Australian Association for Research in Education*, págs. 198-212, 1979.
- WISEMAN, F. L.
«The teaching of College chemistry. Role of Student developmen level». *Journal of Chemical Education*. Vol. 58, núm. 6, 1981.

VII. Apéndices

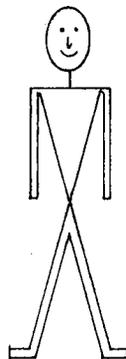
APENDICE I

LAS ALTURAS DE D.BAJO Y D.ALTO

(R. proporcional)

La figura adjunta se llama D. Bajo. Hemos utilizado unos botones grandes puestos unos a continuación de otros, para medir la altura de D. Bajo, desde los pies hasta el final de la cabeza. Su altura fue de cuatro botones.

Cogimos entonces una figura similar, llamado D. Alto, y la medimos con el mismo procedimiento y con los mismos botones. La altura de D. Alto era de SEIS BOTONES.



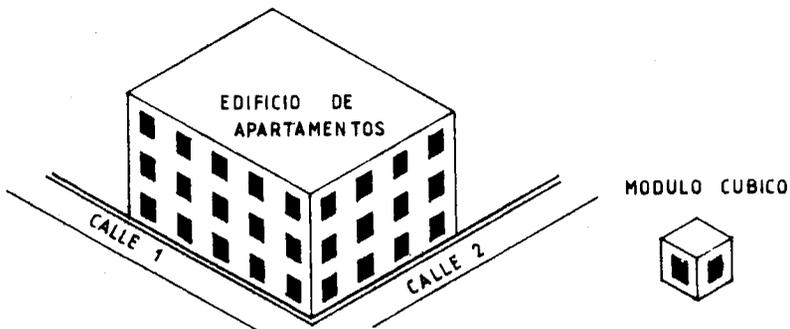
Realiza ahora lo siguiente:

1. Mide la altura de D. Bajo utilizando los clips encadenados que te proporcionamos. La altura es...
2. Predice la altura de D. Alto si la midiésemos con los mismos clips encadenados...
3. Explica cómo has realizado tu predicción. (Puedes utilizar diagramas, palabras o cálculos. Por favor explica los pasos seguidos en tu razonamiento detenidamente.)

APENDICE II

EL PROBLEMA DE LOS APARTAMENTOS

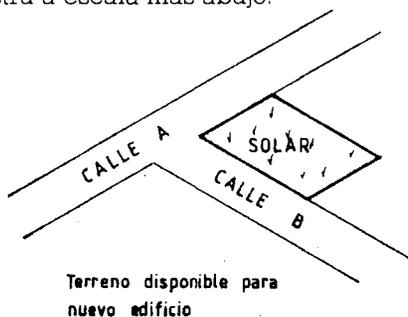
El dibujo a escala representa un edificio de apartamentos completo, construido a partir de módulos. El dibujo muestra una visión tridimensional del edificio, y un módulo aislado. Este módulo cúbico ha sido utilizado repetidamente para construir el edificio mostrado.



La primera construcción de este tipo resultó satisfactoria, de manera que unos constructores han comprado una parcela para construir otro edificio de apartamentos con el mismo diseño modular. La parcela donde se construirá el nuevo edificio se muestra a escala más abajo.

Problema

Si el nuevo edificio debe contener el mismo número de módulos cúbicos que el edificio ya terminado que se mostraba antes, ¿cuántos pisos de altura tendrá este nuevo edificio cuando esté terminado?



Por favor, utiliza el espacio que se te proporciona más abajo para explicar cómo llegaste a esa conclusión.



APENDICE III

EL ENLACE QUIMICO Y LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA: DESCRIPCION DE UN JUEGO DE SIMULACION

En este juego se simula el tipo de interacción que da lugar al enlace químico y que explica alguno de los aspectos de la constitución de la materia. Esta interacción es básicamente la interacción electrostática. (Mundo Científico, 1982.)

La interacción electrostática la representamos como la atracción de personas de igual y distinto sexo, con las siguientes características: dos personas del mismo sexo (en la simulación) se repelen, mientras que dos personas de distinto sexo se atraen. Como en el caso electrostático, la fuerza de atracción disminuye con la distancia entre las personas y se libera energía cuando dos personas de distintos sexo se aproximan, siendo

necesario aportar energía para separarlas, o bien para acercar a dos personas del mismo sexo.

Los alumnos deben tener en cuenta en su movimiento las leyes de la dinámica.

Los contenidos que hemos intentado transmitir con esta simulación son:

1. Las características fundamentales de la interacción que mantiene unida a la materia son:

- a) Las fuerzas electrostáticas actúan entre partículas cargadas.
- b) Los átomos como toda la naturaleza intentan situarse en un estado de menor energía. Estos átomos cuando se acercan entre sí para formar un sistema estable liberan energía y parte de ella se acumula en el llamado enlace químico.

2. Los diferentes tipos de enlaces, iónico, covalente, metálico, etc., no son otra cosa que resultados extremos de un mismo tipo de interacción; la interacción electrostática.

3. Algunas propiedades de la materia, por ejemplo, estado de agregación, conductividad eléctrica y térmica, puntos de fusión, ebullición, densidad, etc., se pueden explicar cualitativamente a partir de las características del enlace que mantiene unido a sus componentes.

4. En el desarrollo de la Ciencia los modelos cumplen una función y van mejorándose y sustituyéndose a medida que se producen nuevos conocimientos.

Al comenzar el juego, el profesor, para proporcionar un ejemplo, indicará cómo se simula un átomo.

Se utiliza el modelo planetario de Rutherford (haciendo ver que se trata de un modelo superado por los conocimientos actuales) estando el núcleo constituido por un número de personas del mismo sexo y alrededor giran el mismo número de personas de otro sexo. A los alumnos se les hace ver que las personas integrantes del núcleo están muy próximas y sobre ellas actúa una fuerza de atracción muy superior a la fuerza de repulsión electrostática; la interacción nuclear.

El objetivo de los participantes consiste en contestar adecuadamente a las preguntas que formula el profesor, simulando la realidad a partir de las reglas del juego que hemos mencionado anteriormente. El profesor planteará una serie de situaciones o de datos y formulará una pregunta que deben contestar. El profesor a partir de ese momento deja actuar a los alumnos. Al recibir las respuestas de los alumnos contesta si han resuelto acertadamente la pregunta o no, o bien si han realizado deducciones correctamente extraídas de la simulación, pero que no se ajustan a la realidad.

Una vez que tres de los grupos han resuelto adecuadamente a la pregunta o bien cuando los alumnos hayan intentado resolver la cuestión durante un tiempo prudencial, 15-20 minutos, el profesor paraliza el juego y con la ayuda de los grupos da la solución correcta, explicando cada uno de los pormenores e indicando los errores conceptuales que han cometi-

do los distintos grupos. En nuestro estudio exploratorio esta última fase fue realizada al día siguiente de contestar al «post-test».

1.ª actividad: «Simular el enlace de dos átomos de Hidrógeno».

La clase se divide en grupos de cuatro personas, dos de cada sexo. Suponemos que la actividad está superada cuando las trayectorias que siguen los electrones son tales que provocan que los protones se mantengan a una distancia más o menos fija. Para ello las personas que representen a los electrones deberán situarse, la mayor parte del tiempo, en la zona donde existe mayor densidad de carga, es decir, entre los dos protones. A los alumnos, una vez resuelto el problema, se les puede pedir que cesen su movimiento en un momento dado y analicen las fuerzas de atracción y de repulsión resultantes entre las cuatro partículas.

2.ª actividad: «Simular el enlace entre dos átomos de electronegatividades muy dipares».

El profesor informa a la clase de que existen compuestos como el NaCl, formados por iones cargados (aniones y cationes) que dan lugar a estructuras tridimensionales en donde los iones ocupan posiciones fijas. Al pedirles que simulen este enlace, se les indica que si fuera necesario el grupo inicial de cuatro personas puede pedir la ayuda a otros grupos. La simulación se considera adecuada cuando simulen la estructura del NaCl en dos dimensiones, y las personas de un mismo sexo caractericen a los iones del mismo signo.

3.ª actividad: «Simular el enlace entre elementos metálicos».

El profesor plantea la existencia de otros compuestos que tienen la característica de que los electrones no se les puede considerar adscritos a ningún átomo o ion particular. La actividad queda resuelta cuando el grupo de alumnos simula el «mar de electrones» que comparten todos los iones metálicos.

4.ª actividad: «Simular distintos tipos de moléculas con enlaces polares».

En esta actividad el profesor sugiere que la intensidad con que dos átomos o iones distintos atraen a un mismo electrón no tiene por qué ser la misma. Las personas nos vemos en ocasiones atraídas hacia las personas del otro sexo con distinta intensidad en función de algunas características de estas últimas, como, por ejemplo, la simpatía, etcétera. En los átomos esta capacidad de atraer electrones se conoce como electronegatividad. El profesor proporcionará una escala de electronegatividades y pedirá a los distintos grupos que simulen una molécula de HCl, de H₂O, NH₃, etc. La actividad se considera resuelta adecuadamente cuando se simulen los enlaces polares y se identifiquen las moléculas con momento polar permanente.

5.ª actividad: «Simular las características del enlace que es previsible encontrar en los sólidos cristalinos».

El profesor proporciona una serie de características de estos compuestos; por ejemplo, no son conductores en estado sólido pero sí lo son una vez fundidos; no conducen bien ni la corriente eléctrica

ni la energía térmica, es difícil romperlos en dos trozos con un cuchillo, tienen elevados puntos de fusión, etc. Para ello se les debe recordar en qué consiste la conducción eléctrica y la conducción térmica y el punto de fusión.

6.ª actividad: «Simular las características del enlace que es previsible encontrar en compuestos fluidos: gases y líquidos».

7.ª actividad: «Simular las características del enlace que es previsible encontrar en compuestos que conducen bien el calor y la corriente eléctrica, son maleables y muy densos».

El número de actividades posible en relación con estos contenidos es, naturalmente, mucho mayor. Una vez que los alumnos han comprendido las ideas básicas que queríamos transmitir, se les puede pedir que construyan un modelo físico que puedan manipular cuando en los sucesivos contenidos les surjan dudas sobre la dinámica del sistema. Estos modelos seguramente tenderán a parecerse al conocido modelo de esferas unidos mediante alambres, pero conviene que utilicen su creatividad y que los compañeros y el profesor critiquen los distintos diseños que se produzcan. A partir de ese momento el profesor deberá vigilar que los alumnos no confundan el modelo con una representación fiel de la realidad que simulan.

Iñigo Aguirre de Cárcer, Licenciado en Ciencias Físicas y Master in Science on Education por la Universidad de Indiana, Director del Departamento de Acceso a la Universidad Autónoma y profesor agregado de Bachillerato (Física y Química). Enseñó ciencias en la 2.^a etapa de E.G.B., Formación Profesional de 1.^{er} y 2.^o grado, Bachillerato y C.O.U., y en el primer curso universitario; también ha impartido seminarios en los I.C.E.s de las Universidades de Córdoba, Cádiz y Autónoma de Madrid sobre el problema del aprendizaje de las ciencias de los adolescentes.

La presente obra es fruto de sus reflexiones sobre las investigaciones realizadas en los últimos 15 años en torno al tema. Este trabajo contiene información relevante para comprender las dificultades que atraviesan los estudiantes desde la segunda etapa de E.G.B. hasta el término del primer ciclo universitario. También se incluyen sugerencias de actuación en el aula que se ofrecen a los profesionales de la enseñanza de la ciencia a modo de hipótesis de trabajo.

