

Insurrección de España. Valladolid. 1979-1980

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE CASANOVA COLAS

CATEDRÁTICO DE MECÁNICA Y TERMODINÁMICA

TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACION DE LA DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1979-80
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

VALLADOLID

1979

TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACION DE LA DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1979 - 80 DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



Disc. Apert. UVA 79/80 ^{BiCe}



5>0 0 0 0 4 0 7 1 0 5



COPIA 407105

R. 110536

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

JOSE CASANOVA COLAS

CATEDRATICO DE MECANICA Y TERMODINAMICA

TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACION DE LA DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

LECCION INAUGURAL DEL CURSO 1979-80
DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Discursos de Apertura. Valladolid. 1979-1980



VALLADOLID

1979

DEPOSITO LEGAL: VA. 308 - 1979



IMPRESO EN LOS TALLERES DE LA EDITORIAL SEVER - CUESTA. PRADO, 10 Y 12. VALLADOLID, 1979

Indice

	Págs.
I. Introducción	9
II. La clase magistral	11
III. La filosofía de Piaget y la investigación de la didáctica	19
IV. Los complementos didácticos y las nuevas técnicas de enseñanza	37
La enseñanza programada: las máquinas de enseñar (TM) ...	38
El ordenador en la enseñanza (CAI)	42
Los multimedia autodirigidos (AT)	43
V. Los sistemas personalizados de enseñanza (PSI)	47
VI. Consideraciones finales	53
Bibliografía	57

Excelentísimo y Magnífico Señor Rector,
Excelentísimas e ilustrísimas Autoridades,
Colegas del Claustro Universitario,
Estudiantes de esta Universidad,
Señoras y Señores:

Al dirigirme a ustedes desde esta Tribuna, en la solemne apertura del Curso Académico 1979-80, cumplo con el honroso deber, y al mismo tiempo con la gran responsabilidad, que impone el riguroso turno de antigüedad, por el que, cada año se designa a uno de los claustrales, para desarrollar la Lección Inaugural.

Puedo asegurar que, desde el instante en que se me comunicó oficialmente el encargo de dictar esta lección, comenzó a preocuparme la elección de un tema que atrajera el interés del distinguido y heterogéneo auditorio concurrente a este solemne acto. Aunque, afortunadamente pasaron ya los tiempos en que estas disertaciones constituían un exponente del bien decir, atendiendo más a la forma que al contenido, puedo asegurar que en este momento desearía poseer la claridad de expresión de mis colegas de las ramas de Humanidades, para exponerles esta lección con toda la pureza del lenguaje y la riqueza de la prosa castellana.

En estos casos, la costumbre más extendida, es que el actuante desarrolle un tema de su especialidad, pero si tal hiciera yo en esta ocasión es seguro que les abrumaría con conceptos y expresiones más propios para ser tratados en reuniones de especialistas. Después de meditarlo mucho, me decidí, a hablarles de las *Tendencias actuales en la investigación de la didáctica de las cien-*

cias con lo cual, sin faltar a la costumbre, puedo hablar de una problemática general que nos inquieta a todos, profesores y alumnos y que, aunque está vinculada al campo de las ciencias, como su título indica, no por eso dejará de serles ajena a los oyentes no científicos.

I. Introducción

Desde hace algunos años en las Universidades de todos los países, han surgido una serie de inquietudes, que se manifiestan en la búsqueda de nuevas directrices didácticas. Este estado de cosas ha nacido del hecho de que los estudiantes al abandonar nuestras aulas, en general, no se consideran capacitados para abordar las funciones para las que, teóricamente, han sido preparados. Su formación y la información que han adquirido en sus respectivas Licenciaturas son inferiores a las que ellos cifraban conseguir. En general, puede decirse que el rendimiento alcanzado por la docencia es bajo.

La culpa de este bajo rendimiento de la docencia, indudablemente no reside en los profesores, los cuales poseen un nivel adecuado de formación, muchos de ellos excepcional, y están animados de un gran interés y dedicación por su trabajo, al que, en la generalidad de los casos, dedican toda o la mayor parte de su actividad diaria. De los estudiantes, puede decirse, igualmente en su mayoría, que sienten una gran inquietud y aplicación por sus estudios, a los que se consagran casi todos ellos en exclusiva, dedicándoles muchas horas de su diaria labor.

Por consiguiente, si en la mayor parte de las aulas, los profesores cumplen adecuadamente con lo que se considera *su cometido* y los estudiantes asisten a las clases interesados en adquirir los conocimientos que aquel trata de transmitirles, ¿dónde reside la causa del fracaso casi total de la docencia? Cifro este fracaso en el hecho de que no se alcancen los objetivos, que implícita o explícitamente nos proponemos, curso a curso y nivel a nivel.

Si preguntamos a los profesores de BUP, con completa unanimidad nos dirán que los alumnos que reciben de EGB tienen una formación muy deficiente; lo mismo decimos los profesores que

impartimos docencia en el primer curso de Facultad respecto a los alumnos procedentes del COU, que incluso han pasado a través del tamiz que representan las pruebas de aptitud; los profesores de los sucesivos cursos de la carrera comparten los mismos criterios y si atendemos a los Licenciados recién salidos, en los que se han acumulado los *objetivos no alcanzados* en los sucesivos niveles, todos estaremos de acuerdo, incluso recordando nuestro propio ejemplo, más o menos lejano en el tiempo, que tanto la formación como la información adquirida tras tantos años de esfuerzos e inquietudes dejan bastante que desear.

Si los profesores, que son los «emisores» de la información, *aparentemente* no son los culpables y si a los estudiantes, que son los «receptores» de aquella información, tampoco parece que se les pueda imputar ninguna responsabilidad, hemos de tratar de encontrar la causa de este fracaso casi general.

Indudablemente los hechos que estamos mencionando no son privativos de nuestro país, ya que por todas partes se alzan voces pidiendo soluciones. Al fin y a la postre la docencia es una actividad muy cara, la pague quien la pague, y no se puede consentir que tantos esfuerzos y tantas horas de actividad, de docentes y discentes, produzcan tan pocos frutos.

Si como decíamos, debemos buscar la causa del bajo rendimiento de la actividad docente, tendremos primeramente que centrar nuestra atención en el método tradicional de enseñanza: la clase magistral. Analicemos así, lo que ocurre dentro del aula, en donde cada día se realiza el encuentro del profesor con sus alumnos. ¿Cómo se desarrolla este diario encuentro? ¿Qué actividades tienen lugar en la misma?

II. La clase magistral

La llamada clase magistral o clase impartida por el «*magister*» o maestro, es la que habitualmente encontramos en la mayor parte de nuestros Centros docentes. En ella el profesor, subido en su estrado va desarrollando ante sus alumnos, con una oratoria más o menos fluída, las distintas partes o preguntas de la lección de cada día. Delante de él un nutrido grupo de alumnos asiste, a menudo entre soñoliento y distraído, a las explicaciones que su profesor va desarrollando y que cada alumno trata de recoger en su cuaderno en notas apresuradas. Si la explicación del profesor se ciñe «exactamente» a un texto previamente recomendado, entonces el alumno, tras comprobar que lo que está oyendo ya aparece en su libro, aumenta su distracción y puede decirse que su alejamiento de lo que acontece en la clase es total. Así ha dejado transcurrir su hora de clase, y volverá a tomar la misma actitud en la clase siguiente y en las restantes del día.

De esta forma, día tras día, se irá desarrollando el curso, sólo interrumpido por los periódicos exámenes parciales o pruebas de aptitud, en las que tras una cuidadosa selección por el alumno de aquellos temas que aparentemente tienen más probabilidad de «caer», se dedicará en la mayoría de los casos a una intensiva memorización de sus notas tomadas a «vuela pluma» o de los correspondientes párrafos de su texto. Los alumnos más cumplidores o los más capacitados, harán una selección menos rigurosa de los temas que tienen que «estudiar», y, por tanto, aumentarán la probabilidad de acertar con las preguntas del examen, con lo que su calificación será superior. Aquellos que no hayan previsto con suficiente antelación el examen y dispongan de poco tiempo o que tengan bajas aptitudes memorísticas, habrán reducido en exceso el

número de temas a preparar y fallarán en alguna de sus previsiones; serán aquellos que obtengan las peores calificaciones.

Los profesores aquí presentes estarán de acuerdo conmigo que el esquema general que acabo de exponer es por desgracia muy frecuente en nuestros Centros docentes.

Pero analicemos más detenidamente este esquema, y en particular todas las actividades que lleva consigo la clase magistral. Esta se puede interpretar a luz de la teoría de la comunicación de Shannon ¹ según la cual debe haber al menos tres elementos en el proceso de la comunicación: *la fuente, el mensaje y el destinatario*. En nuestro caso la fuente es el profesor hablando, escribiendo, dibujando o gesticulando; el mensaje es la información que en forma sonora o visual trata de hacer llegar al destinatario, en este caso el alumno, el cual trata de descifrar el mensaje. La señal puede ser alterada durante la transmisión, a causa de lo que se denomina «*el ruido*». Berlo ², propone ampliar el concepto de ruido a *todos aquellos factores que reduzcan la eficacia de la comunicación*, idea muy conveniente para el problema del aprendizaje.

Weaver ¹, que fue quien aplicó las ideas de Shannon a otras áreas diferentes de las puramente ingenieriles, señala que las principales cuestiones que hay que considerar en el proceso de la comunicación son: A) La medida de la cantidad de información transmitida y de la capacidad del canal de comunicación. B) Las características de un proceso de codificación eficiente y C) Cómo afecta el ruido al mensaje obtenido por el destinatario.

Para conseguir una codificación eficiente, el emisor, en nuestro caso el profesor, debe poseer una serie de características, tales como:

1. Claridad de pensamiento para determinar la información que desea transmitir.

2. Capacidad codificadora, o sea, habilidad para hacerse comprender por el alumno. Para ello deberá escoger las palabras, símbolos, imágenes, etc., *apropiadas al receptor* y combinarlos de la forma más favorable.

3. Poseer un nivel adecuado de conocimientos del tema que trata de transmitir. Naturalmente las tres características deben darse en proporción conveniente porque si alguna de ellas está ausente la emisión falla. Así, todos hemos conocido profesores con amplios

conocimientos de un tema y que resultaban ininteligibles, bien porque no sabían expresarlos adecuadamente, o porque la información que trataban de transmitirnos no estaba suficientemente delimitada.

De la misma forma el receptor, o sea el *alumno* deberá también *poseer* un determinado *nivel de conocimientos* para comprender el mensaje. Esto lo resume Schramm³ diciendo que «*el receptor y el emisor requieren entenderse*»; para ello es necesario que exista «*un área común de experiencias*» entre la fuente y el receptor, hecho que se esquematiza en la fig. 1. En ella se representa la fuente

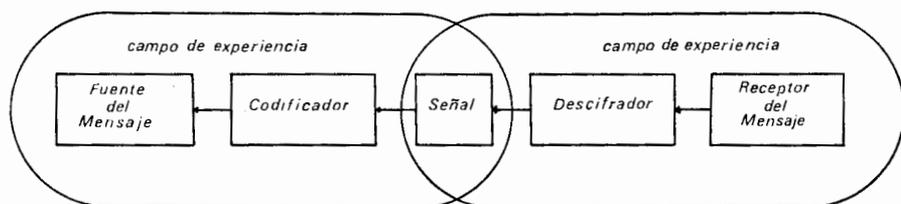


Fig. 1.—Área común de experiencia, según el esquema de Schramm. Tomada de Zaki Dib⁶.

emisora, la cual codifica el mensaje que trata de transmitir, cuando lo va expresando en forma adecuada; el receptor, lo primero que tiene que hacer es descifrar el mensaje para poder interpretarlo.

Si buscamos el símil de las ideas de Schramm, diremos que el receptor y el emisor tienen que estar *sintonizados*, y si esto no ocurre, el mensaje será recibido distorsionado. A veces el alumno tiene disminuída la capacidad de percepción por causa puramente físicas, es hipoacústico (disminución a la recepción por el canal auditivo que son del 4 al 5 por 100 [Redondo⁴] o es ambliope (disminución del canal visual) el 2,8 por 100 [Hernández⁵]. Igualmente juega un importante papel *su capacidad de concentración*.

También influyen las *actitudes* que el alumno toma en clase. Estas se pueden concretar en los siguientes puntos:

- a) Actitudes desfavorables hacia el tema, que puede limitarse a una determinada lección o a la totalidad de la asignatura. Por ejemplo un alumno a quien no le gusta la Física o la Química.
- b) Actitud hacia el emisor. Es muy importante el criterio que tenga del profesor, o la estimación que sienta por él.
- c) Hacia sí mismo. La desmoralización que se apodera del

alumno ante reiterados fracasos, al irse creando en él una sensación de impotencia. Lo contrario actúa en sentido favorable: el premiar al alumno con buenas notas hace nacer en él una sensación de seguridad.

d) Hacia el medio que se utiliza: preferencia o desagrado del canal visual frente al oral, o hacia otros métodos utilizados.

Por último hemos de mencionar que la comunicación del mensaje puede debilitarse por causas puramente ambientales, tales como los ruidos, la falta de visibilidad, las perturbaciones producidas por los alumnos que entran en clase cuando han empezado las explicaciones, el que los proyectores no tenga suficiente luminosidad, etc.

Tanto los defectos en la codificación del mensaje por parte del profesor, como las deficiencias en la transmisión o en el descifrado por parte del alumno, constituyen el *ruido de fondo*, y todas estas causas contribuyen a disminuir la eficiencia de la comunicación y en muchos casos llegan hasta anularla o hacerla ininteligible. Este hecho se complica todavía más si tenemos en cuenta que todas las causas que contribuyen al ruido *son funciones del tiempo*. Así hay días o incluso momentos dentro de una clase en que el profesor no está muy acertado en encontrar las frases adecuadas para expresar su pensamiento, o tiene equivocaciones que pueden ser motivadas por distintas causas. Otros días por el contrario, su explicación será fluida totalmente correcta, pero puede ocurrir que en esas ocasiones el alumno no se halle *sintonizado* con su profesor, porque, aunque él se encuentre en el aula su pensamiento se halle ausente. El alumno también tiene sus problemas y sus preocupaciones, o es sensible al cansancio hasta el punto de hacerle totalmente inútil como *receptor* de una explicación científica.

La complejidad de la comunicación profesor-alumno llega a extremos inabordables, si como ocurre frecuentemente en nuestro país, el número de alumnos por cada profesor es excesivo y además, a pesar de las pruebas de selección, cada grupo de alumnos es altamente *heterogéneo* respecto a su capacidad intelectual, su interés, su dedicación, etc. En estas condiciones, aún suponiendo que un profesor cumpliera perfectamente todos los requisitos, y aunque utilizara correctamente y con plena eficacia los canales auditivo y visual, tan solo lograría estar en sintonía con una pequeña fracción de sus alumnos y el resto recibiría la información más o menos dis-

torsionada y en todo caso atenuada. Para comprobar todo cuanto llevo expuesto no hay nada más que leer *los apuntes* que toman los alumnos de nuestras explicaciones para convencernos de que la información que tratamos de transmitirles no llega a ellos en condiciones ni medianamente aceptables.

Con el fin de obviar estos inconvenientes de la clase magistral, el profesor debe tratar de saber por algún medio ⁶, si en el alumno se ha producido el aprendizaje; para ello éste debe transmitir a su vez hacia la fuente una información que haga saber al profesor el estado de comprensión del alumno. A este proceso se le denomina *retroalimentación*. Wiener ⁷ define la retroalimentación como «el método de control de un sistema por la reintroducción, en el mismo de los resultados de su desempeño».

Si consideramos al estudiante como una «caja negra» podremos considerar en él las entradas (información que recibe) y las diferentes salidas. Conociéndolas (retroalimentación) y analizándolas, podremos deducir las reglas y proyectar experiencias que conduzcan a nuevas deducciones que modifican las reglas. Piaget ⁸ menciona que las respuestas *erróneas* de los niños tienen para él más interés que las correctas, y se han realizado interesantes estudios acerca de estas respuestas erróneas. De esta forma en el caso de la enseñanza de las ciencias, el profesor puede conocer no solamente lo que los alumnos piensan, sino que también obtendrá información sobre su propio método didáctico o sobre el texto utilizado.

De todo lo anterior se puede deducir que si queremos mejorar la comunicación profesor-alumnos habrá que tener en cuenta los siguientes requisitos:

a) Elaborar el mensaje en *función de los objetivos* que tratamos de alcanzar y comprobar por un proceso de «retroalimentación» si estos objetivos se han alcanzado. Al codificar el mensaje el profesor tiene que tener muy en cuenta si el alumno es capaz de entender aquello que se le trata de comunicar.

b) Para la transmisión hay que elegir un canal adecuado, pues de ello va a depender el que se alcancen los resultados previstos o deseados.

c) El receptor debe disponer del *tiempo suficiente* para descifrar el mensaje y dar su respuesta. Naturalmente este tiempo varía de unos alumnos a otros. Si pretendemos llevar la transmisión

a un cierto ritmo los más rápidos se aburrirán y los más lentos no seguirán la comunicación, y perderán todo interés por la clase. Se imponen pues las técnicas a *ritmo propio*, o al menos las que permitan la recuperación de los más lentos, que son indudablemente, los más perjudicados en el proceso.

d) La retroalimentación, en el caso de la educación se puede obtener por medio de los *test de comprensión*, los cuales deben confeccionarse con cuestiones cuyas respuestas sean totalmente objetivas, para que, a su vez, el profesor descifre con claridad el mensaje que como respuesta le transmite el alumno.

e) El profesor al comparar las respuestas que el alumno le transmite con las previstas, debe obrar en consecuencia para elaborar el próximo mensaje. Por tanto el temario de la asignatura debe ser lo suficientemente flexible como para poderlo adecuar a los cambios impuestos por estas causas.

f) A su vez el alumno debe recibir de inmediato una recompensa cuando sus respuestas sean las correctas. Esto lo *motivará* positivamente y aumentará su rendimiento en los mensajes subsiguientes. Traducido al lenguaje ordinario de nuestra docencia significa que las calificaciones que se otorguen como consecuencia de los test realizados por el alumno, deben llegar a su conocimiento inmediatamente.

g) Hay que eliminar las múltiples causas de *ruido* que se presentan en una clase magistral, pero son tantas, como hemos dicho, que quizá sea preferible sustituirla por otras técnicas docentes.

Respecto a esto cita Mellon⁹ a un conferenciante que en un Simposium de educación exclamó: «la clase magistral está muerta como un dodó» expresión inglesa en que se menciona a un pájaro, ya extinguido, significando con ello, que algo ya no tiene ningún valor.

El *educador*, y empleo este término en contraposición al profesor que se limita a transmitir información, utiliza el tiempo de la clase en ayudar a sus estudiantes a que aprendan a pensar. El sabe que pensar es una actividad práctica que puede y debe demostrar, pero que los estudiantes deben también practicar. El educador sabe que debe guiar al estudiante en sus primeros esfuerzos proporcionándole refuerzos (elementos de base), corregir sus res-

puestas inadecuadas, reforzar sus respuestas correctas, sugerirle mejores técnicas, y ayudar al estudiante para que aprenda a valorar su propio trabajo.

Un profesor puede dedicar el tiempo libre de clase a estas importantes actividades de pensar. Primero puede preparar y dar a sus alumnos un conjunto de objetivos para el material que planea enseñar. Este acto sólo, ya cambiará la forma de llevar el curso y proporcionará a los alumnos una base mejor para sus estudios. En segundo lugar, tendrá mayor tiempo libre en su clase utilizando instrucciones programadas, que pueden transmitir información a los estudiantes de una forma más efectiva que con la clase magistral o un texto. Finalmente, puede analizar cuidadosamente el contenido del curso para determinar si es posible eliminar parte del material tradicional y así disponer de mayor tiempo en la clase para desarrollar los comportamientos pensantes que son más importantes. Esta reducción en el contenido realmente no es una pérdida pues hemos de pensar que de la totalidad de un programa de curso normal los estudiantes sólo retienen una mínima parte. Sin embargo, el profesor que utiliza este tiempo disponible en discutir los conceptos y las aplicaciones verá que obtiene una doble ganancia: en la comprensión y en el aprendizaje. Al final del curso, sus alumnos no solamente recordarán y entenderán más de lo que ellos han estudiado, sino que serán capaces de utilizar estos conceptos en los cursos posteriores.

Si un profesor no realiza estas actividades en su clase, en lugar de la simple clase magistral, llegaremos a la conclusión de que su curso probablemente tiene el muy limitado objetivo de la simple repetición. Es posible que no haya otra forma de transmitir la información necesaria a los estudiantes; si este es el caso, es muy desgraciado porque el *limitado tiempo de que dispone para el contacto profesor-estudiante es demasiado valioso para malgastarlo en transmitir información.*

Antes de pasar a exponer las más recientes experiencias en la didáctica de las ciencias que tratan de solventar las dificultades apuntadas en la clase magistral, vamos a mostrar alguno de los trabajos del psicólogo suizo Jean Piaget y el gran influjo que los mismos han tenido en las nuevas directrices de la investigación y aplicación de la didáctica de las ciencias.

III. La filosofía de Piaget y la investigación de la didáctica

Ultimamente la filosofía de Jean Piaget ¹⁰ se ha hecho crecientemente popular entre los científicos. Piaget, nació el 9 de agosto de 1896 en Neuchâtel (Suiza). Su padre fue un medievalista, «un hombre concienzudo y de mente crítica» como él mismo dice en su autobiografía ¹¹, virtudes que configuraron la mente del hijo, dotándola del hábito del pensamiento sistemático. Siendo todavía un joven estudiante entró a trabajar como asistente del director del museo de historia natural de su ciudad natal. Esto hizo que se aficionara por las ciencias naturales y cursase esta carrera, en la que se doctoró en el año 1918 con una tesis sobre malacología.

Su interés por la filosofía, religión, sociología y psicología, junto a su propia especialidad hizo que consagrarse su vida a la explicación biológica del conocimiento. Pasó a París, para estudiar dos años en la Sorbona, y allí conoció a Théophile Simon, que junto a Alfred Binet, fueron los autores del primer test de inteligencia. Utilizando algunos de estos test en que se trata de relacionar las partes con el todo, observó Piaget, que estos eran muy difíciles para los niños hasta los 11-12 años, lo cual le indujo a estudiar las razones de sus fracasos. El impacto que causó uno de sus trabajos en este campo hizo que se le ofreciese la plaza de director de investigaciones del Instituto Jean-Jacques Rousseau de Ginebra, en donde se estudiaba científicamente al niño. Contaba entonces veinticinco años, y durante la siguiente década va a desarrollar una amplia labor de investigación que se materializará en la publicación de cinco libros que hicieron recaer sobre su persona la atención mundial.

Los educadores han descubierto, al aplicar las teorías de Pia-

get, el valor de sus enseñanzas en la educación de los jóvenes ¹². La comunicación a un niño no es igual que la comunicación en el mundo de los adultos. Interesando a los niños en los fenómenos naturales, es posible enseñarles los conceptos científicos relacionados con estos fenómenos, y al mismo tiempo enseñarles habilidades comunicativas y manuales. Sin embargo, la filosofía de Piaget puede no sólo aplicarse a los niños, sino que como veremos después, su filosofía es de aplicación a los jóvenes que siguen los cursos universitarios.

Piaget se titula a sí mismo como un epistemólogo genético ¹³. En este sentido se interesa por el desarrollo del conocimiento en el individuo y no de la raza humana; se ha dicho que se interesó en las ideas de los niños por su semejanza con las mantenidas por Aristóteles.

De esta forma el conocimiento hay que considerarlo algo vital, cambiante, dependiendo del individuo y de su interacción con el mundo que le rodea ¹⁴. El paralelismo entre el desarrollo del conocimiento y el desarrollo de la inteligencia del individuo se explican en términos de la naturaleza biológica de la inteligencia.

El problema de saber cómo adquiere el conocimiento se ve como problema de decidir la relación entre el sujeto y el objeto, o sea, cómo el sujeto conoce el objeto. En términos biológicos esto se reduce a la adaptación del organismo a su entorno ¹⁵. El individuo posee ciertos genes que ha heredado de sus anteriores generaciones y estos determinan la forma en que aquel puede interactuar con el entorno. A través de esta interacción, es como se desarrolla el conocimiento del mundo: Cuando el individuo recibe un estímulo o conjunto de estímulos del entorno lo *asimila* en la *estructura* del conocimiento que él posee. Piaget utiliza estos términos. Para él la *asimilación* es el proceso mediante el cual el individuo toma del medio ambiente todas las formas de estimulación e información y las integra en las estructuras, que son «las experiencias que el individuo tiene, sin interacción mutua, en términos del conocimiento que posea del mundo que le rodea [Piaget] ¹⁶. De esta forma, los estímulos, no sólo provocan una respuesta de acuerdo con los conocimientos previos que el individuo posee, sino que al mismo tiempo, altera la estructura de su conocimiento. Este cambio Piaget lo denomina *acomodación*. Cuando un estudiante

observa una experiencia, por ejemplo, sobre la ley de Ohm, la interpreta de acuerdo con el conocimiento que sobre la misma posee, y al mismo tiempo, esta experiencia afecta al conocimiento que sobre el aspecto teórico de la ley de Ohm tenga.

El proceso mediante el cual Piaget sugiere que los esquemas de razonamiento se perfeccionan, se incrementan o se combinan con otros esquemas de razonamientos, lo llama *auto-regulación*. Inicialmente, los esquemas básicos de razonamiento le sirven para guiar una acción individual a través de su entorno. Tan pronto como esa acción promueve interacciones satisfactorias, el esquema básico continúa guiando el comportamiento. Sin embargo, como consecuencia de la ampliación de las interacciones individuales con el medio ambiente, se llega a situaciones en las que el esquema inicial de razonamiento no es efectivo. Estas contradicciones producen estados de desequilibrio. En otras palabras, sus esquemas de razonamiento han sido superados y deben de ser sustituidos por otros. Si el desequilibrio no es muy profundo espontáneamente tiende a cambiar su esquema de razonamiento y un intento de asimilar la nueva situación. El nuevo esquema de razonamiento que ha desarrollado debe entonces experimentarlo. Si se comporta adecuadamente ante las nuevas situaciones, el esquema se refuerza. Continuando con realimentaciones positivas se alcanza un esquema más y más estable. De esta forma el individuo gradualmente construye un nuevo esquema de razonamiento y se adapta a nuevas situaciones.

El razonamiento del individuo capta una determinada situación y da de ella un determinado significado de acuerdo con la estructura actual de su razonamiento. Esta interpretación puede ser o no apropiada. Las no apropiadas producen lo que denomina un *desequilibrio*, un *conflicto cognoscitivo* o una *contradicción*, con lo que se inicia la segunda fase de la acomodación. En ella, se tiene que realizar, en primer lugar, un análisis de la situación para localizar la causa de la dificultad y a continuación la formación de nuevas hipótesis y planes de ataque. Esto en cada individuo se producirá de acuerdo con sus habilidades analíticas y para la resolución de problemas. Como resultado de estas actividades reflexivas y analíticas se crean nuevos esquemas de razonamiento que pueden incluir nuevos conocimientos.

El desarrollo del razonamiento necesita dos requisitos: ana-

lizar experiencias del mundo físico y discutir y reflexionar sobre lo que se ha hecho, lo que significa que está o no de acuerdo con los esquemas previos del pensamiento. Es por esto por lo que las ciencias y en particular la Física juegan un importante papel en el desarrollo del raciocinio y del conocimiento.

En resumen, mediante la auto-regulación, el razonamiento de un individuo avanza de un nivel al siguiente, avance que siempre se realiza en el sentido de obtener un más amplio esquema de razonamiento. Piaget lo compara al desarrollo biológico de un embrión.

ETAPAS DEL DESARROLLO INTELECTUAL.—Muchos investigadores han estudiado los procesos del razonamiento y llaman la atención sobre las dificultades que los jóvenes estudiantes tienen con el pensamiento abstracto. Las teorías desarrolladas por Inhelder-Piaget¹⁷ y¹⁸, son ampliamente admitidas en grandes sectores de los docentes científicos, sobre todo entre los investigadores de la docencia de la química. Piaget e Inhelder definen cuatro etapas del desarrollo intelectual del niño:

1. La etapa sensorio-motriz (entre el nacimiento y los dos años de edad).
2. Período preoperacional (desde los dos a los siete años).
3. Período de las operaciones concretas (desde los siete hasta los once o doce años).
4. Período de las operaciones formales (desde los once o doce años en adelante).

Cada una de estas etapas se caracteriza por las habilidades adquiridas por los individuos expresadas en términos de ciertas operaciones que aquellos son capaces de realizar. De acuerdo con Piaget e Inhelder, el orden en que aparecen estas etapas es invariante y solamente su ritmo puede ser afectado por el entorno, la experiencia o la cultura. Cada etapa se desarrolla a partir de la que le precede y contribuye a formar la próxima. El desarrollo intelectual es tanto horizontal como vertical. Las estructuras de pensamiento en cada nivel son más complejas que en el anterior y más simples que en el siguiente. La vida de Piaget ha sido una búsqueda continua de estas *estructuras de la totalidad* («structures d'ensemble»).

En la etapa sensorio-motriz el niño interacciona, en sentido físico, con su entorno. En ella desarrolla, principalmente, habili-

dades físicas. En este período el niño elabora el conjunto de las subestructuras cognoscitivas que le servirán como punto de partida de sus construcciones perceptivas e intelectuales posteriores, así como un cierto número de reacciones afectivas elementales que determinarán, en parte, su afectividad subsiguiente.

Durante el período pre-operacional el niño aprende el lenguaje y las imágenes mentales del mundo exterior para las actividades sensorio-motrices de su mundo. Es el período del «como-si». Es la deducción que Piaget hace del comportamiento de sus hijas Jacqueline y Lucienne, cuando estas juegan a «dar de comer» a sus muñecas utilizando conchas en lugar de platos, dándoles cáscaras de naranjas *como* si fueran macarrones. Están en este caso empleando símbolos como platos y comida demostrando la experiencia adquirida en las observaciones realizadas en las actividades y acciones de su medio ambiente. Al mismo tiempo, en esta etapa los niños viven en un mundo muy personal con su propio «ego» como centro.

Normalmente los dos primeros períodos de la filosofía de Piaget, se completan antes de que los niños cumplan los 9 años. El que se realicen más o menos tarde dependen de sus interacciones con los sistemas físicos. La revista *Physics Today* dedicó el número completo de junio de 1972 a analizar el papel que jugaba la Física en el desarrollo del razonamiento durante los años de la escuela elemental.

Las etapas más interesantes para nuestra exposición son la tercera y cuarta correspondientes, respectivamente, a las operaciones concretas y a las formales, pues su transición se va a realizar ya dentro de la edad correspondiente a los estudios del Bachillerato o incluso se va a prolongar en muchos casos hasta los años en que los estudiantes están ya en los estudios universitarios. Ciertas características permiten identificar los esquemas de razonamiento concreto asociados con cada una de estas etapas.

El período de las operaciones concretas se caracteriza por una serie de estructuras intelectuales, y para describirlas Piaget toma el lenguaje de las matemáticas.

Piaget observó algunas características de las operaciones concretas como una serie de estructura de pensamiento organizada:

LA COMPOSICIÓN ADITIVA DE CLASES O LA RELACIÓN PARTE-TODO.—Una persona en esta etapa entiende las clasificaciones simples y las generalizaciones de los objetos o acontecimientos familiares. El niño tarda un cierto tiempo en comprender que el todo es mayor que las partes.

CONSERVACIÓN.—Es la capacidad para comprender que ciertos atributos de un objeto son constantes aunque cambien de apariencia. Así un niño no comprende, hasta que alcanza esta etapa, que un líquido vertido en sendas vasijas de igual volumen, pero una alta y estrecha y la otra baja y ancha, sea la misma cantidad. Igualmente no comprende que una bola de arcilla tenga la misma cantidad de materia que cuando se le da forma alargada.

REVERSIBILIDAD.—Intimamente relacionado con lo anterior está el concepto de reversibilidad. Hasta que no ha llegado a la etapa de las operaciones concretas no comprende que la inversión de una serie de secuencias puede volver el objeto a su estado inicial. La masa de arcilla que primero tenía forma esférica fue moldeada hasta darle forma alargada y luego puede sufrir la transformación inversa hasta volver a su forma primitiva.

ORDENAMIENTO SERIADO.—En él los niños pueden disponer los objetos o datos en un orden y establecer correspondencias entre ellos.

De acuerdo con las características mencionadas, Piaget demostró que los niños a partir de los siete u ocho años son capaces de realizar algunos agrupamientos lógicos, que le permiten organizar muchos tipos de clasificaciones y formaciones de series. Pueden comprender ciertas relaciones en las cosas que observan a su alrededor, pero todavía no tienen capacidad para pensar en todos los posibles tipos de relaciones, tanto reales como hipotéticas.

Siguiendo a Fuller et al ¹⁹ podemos decir que el razonamiento concreto permite que una persona:

a) Entienda conceptos e hipótesis simples que hagan referencia directa a acciones y objetos familiares y que puedan explicarse mediante asociaciones simples. Por ejemplo: debe aplicarse una fuerza mayor para mover una masa más grande.

b) Siguiendo paso a paso las instrucciones, como en una re-

ceta, efectuar cada una de las etapas especificadas, por ejemplo realizar una gran variedad de experimentos físicos con la ayuda de un libro de laboratorio.

c) Relacione su propio punto de vista con el de otra persona en una situación simple, por ejemplo saber que un automóvil que se aproxima a 80 Km. h^{-1} parece que circula más de prisa cuando es observado por un conductor que circula en dirección contraria a 80 Km. h^{-1} .

Sin embargo las personas que no han desarrollado su razonamiento más allá del nivel concreto tendrán ciertas dificultades en su habilidad para razonar. Esto se pondrá de manifiesto porque el individuo:

a) Busca e identifica algunas variables que influyen en un fenómeno, pero no de una manera sistemática; por ejemplo investigará los efectos de una variable sin mantener constantes a las otras.

b) Hace observaciones y deduce consecuencias de ellas, pero sin tener en cuenta todas las posibilidades, por ejemplo, deja de ver todas las causas de error en una experiencia de laboratorio.

c) Responde a problemas difíciles aplicando una fórmula pero no necesariamente aquella que es la correcta, por ejemplo utiliza la expresión $S = \frac{1}{2} at^2$ para calcular un desplazamiento, aún en los casos en que la aceleración no es constante.

La cuarta etapa es la de las operaciones formales: Piaget utiliza la expresión *pensamiento hipotético-deductivo* para describir las operaciones mentales de los jóvenes y de los adultos y con ello quiere significar que poseen un pensamiento que se apoya en una hipótesis para obtener ciertas deducciones lógicas. Ahora el joven ya puede realizar un experimento en el que estudie una variable mientras mantiene constantes las restantes. En este sentido está la experiencia de las variables flexibles descritas por Piaget, para determinar cuándo los estudiantes operan a nivel de operaciones formales. Al alumno se le proporciona un conjunto de varillas de diferentes longitudes, secciones y materiales y unos pesos y se le pide que halle los factores que afectarán la cuantía de la curvatura de las varillas cuando se las cargue con los pesos.

Una respuesta típica de un alumno de nivel concreto, es que carga pesos iguales en una varilla corta y gruesa y en una larga y

fina para «probar» que las «varillas largas se curvan más». Luego utiliza las mismas varillas para «probar» que las «varillas finas se curvan más». Sin embargo, el estudiante en el nivel de operaciones formales, controla las variables, o sea, que sólo varía una y las restantes las mantiene fijas, antes de deducir consecuencias acerca del comportamiento de las varillas.

Para describir las estructuras integradas de las operaciones formales, Piaget utiliza la lógica de grupos y así emplea el grupo INRC (que corresponde a las siglas de Identidad, Negación (o inverso), Recíproco y transformaciones Correlativas) desarrollado por la Escuela de Matemáticas de Bourbaki. Una vez que los individuos han alcanzado el nivel de las operaciones formales comienzan a pensar en términos de posibilidades y sistemáticamente deben abordar todas las combinaciones posibles (todas las posibilidades) que una determinada situación les pueda presentar.

En este sentido se halla la experiencia que se les presenta a los alumnos dándoles cuatro botellas, numeradas del 1 al 4, conteniendo sendos líquidos incoloros (las soluciones son, en la primera ácido sulfúrico diluído, en la segunda agua oxigenada, en la tercera agua pura y en la cuarta disolución tiosulfato sódico), y en una quinta botella una disolución indicada por «g» (ioduro potásico). Al sujeto se le pide que utilizando los líquidos de las botellas numeradas consiga un líquido de color amarillo al adicionarles unas gotas de «g».

Los estudiantes que están en el nivel de las operaciones concretas proceden por tanteos y dado que no analizan todas las combinaciones posibles no encuentran la solución o, si casualmente la hallan, no recuerdan como la han obtenido, por no haber procedido sistemáticamente. Por contraste, el que se encuentra en el nivel de las operaciones formales, puede de una manera sistemática, empezando por las combinaciones dobles: $1 + g$, $2 + g$..., continuando por las triples: $1 + 2 + g$, $1 + 3 + g$... $2 + 3 + g$..., y observando que la $1 + 2 + g$ da la respuesta solicitada. Incluso puede continuar con las combinaciones cuadrúples: $1 + 2 + 3 + g$; $1 + 2 + 4 + g$, y observando que es diferente el comportamiento de los líquidos 3 y 4 cuando se añaden a la combinación que se volvía amarilla, pues mientras el 3 (agua pura, aunque él natural-

mente lo ignora) no produce ningún cambio, mientras que el 4 (tiosulfato sódico) hace desaparecer el color amarillo.

Según Fuller, Karplus y Lawson ¹⁹, las características de un esquema de razonamiento formal, ilustradas con ejemplos de la historia de la Física son:

RAZONAMIENTO COMBINATORIO.—Una persona debe considerar todas las posibles relaciones, tanto teóricas como experimentales, aun aquellas que no sean realizables en la naturaleza. (Por ejemplo, utilizando la respuesta espectral del ojo para desarrollar la teoría tricromática del color).

CONTROL DE LAS VARIABLES.—Para establecer la verdad o falsedad de las hipótesis una persona que conoce la necesidad de tomar en consideración todas las variables conocidas y mantenerlas constantes, salvo la que se analiza. (Por ejemplo, cambiar sólo la dirección de la luz, para detectar la existencia del éter en la experiencia de Michelson).

RAZONAMIENTO CONCRETO DE LAS CONSTRUCCIONES.—Una persona que aplica, la clasificación múltiple, conservación, orden seriado, y otros esquemas de razonamiento, a conceptos y propiedades abstractas. (Por ejemplo, aplicando la ley de la conservación de la energía, para proponer la existencia de neutrinos).

RELACIONES FUNCIONALES.—Una persona que reconoce e interpreta dependencias entre las variables en situaciones descritas por variables, observables o abstractas y establece relaciones en forma matemática. (Por ejemplo, estableciendo que la rapidez de variación de la velocidad es proporcional a la fuerza actuante).

CORRELACIONES PROBABILÍSTICAS.—Una persona que reconoce el hecho de que los fenómenos naturales están sometidos a fluctuaciones aleatorias y que ningún modelo explicatorio puede tomar en cuenta las consideraciones probabilísticas incluyendo la comparación del número de casos confirmados y no confirmados de las relaciones supuestas. (Por ejemplo, deducir un modelo nuclear para el átomo del hecho de que un pequeño número de partículas alfa

lanzadas sobre una lámina de oro se difunden según grandes ángulos.

Muchos resultados teóricos experimentales relacionados con los trabajos de Piaget, están todavía siendo investigados. Recientes estudios sugieren que, aunque prácticamente todos somos capaces de utilizar el razonamiento concreto, muchas personas no llegan a utilizar verdaderamente el razonamiento formal. Estas personas, a menudo, parecen razonar a nivel formal y/o comprendiendo problemas de nivel formal cuando realmente solo están aplicando *frases, palabras o fórmulas memorizadas*.

Después de llevar muchos años trabajando con los alumnos de primer curso de Facultad, podemos asegurar, que su habilidad para razonar a nivel formal raramente es la adecuada para enfrentarse con la problemática de la ciencia moderna. Esto no es sorprendente porque pocos estudiantes tienen una actividad sistemática sobre actividades que requieren razonamientos e interpretaciones. Los estudiantes de este nivel pueden dividirse aproximadamente en dos grupos: un pequeño grupo que ha desarrollado las estructuras del pensamiento formal y puede utilizar un razonamiento científico matemático que se necesita en los cursos de Física y de Química, y la mayoría que no ha desarrollado todavía las estructuras formales, y, por consiguiente, sólo pueden abordar el estudio de las Ciencias si comienzan con materiales concretos. En otras palabras, los *principiantes* en Física deben empezar con ciertas experiencias y conceptos simples de acuerdo con su edad y nivel educativo. Incluso los más adultos, cuando cambian de campo, a menudo pasan por una etapa concreta hasta que se familiarizan con sus reglas y procedimientos.

Se han hecho últimamente muchas encuestas para tratar de medir el porcentaje de población, a varios niveles de edad, que ha pasado de las *operaciones concretas* a las *operaciones formales* según los criterios de la cada día más familiar y empíricamente documentada, taxonomía de Piaget ²⁰.

Las poblaciones analizadas por McKinnon et al ²¹, Renner et al ²², Lawson et al ²³, Karplus et al ²⁴, Bauman ²⁵, Kuhn et al ²⁶, Arons et al ²⁷, Griffiths et al ²⁸, Kolodiy ²⁹, Lawson et al ³⁰, Tomlinson-Keasey ³¹ van desde los 13 a los 45 años de edad, y promediando resultados entre los diferentes grupos observados, atendiendo a su estado social o económico, puede decirse que: un

tercio han hecho la transición a las operaciones formales, aproximadamente otro tercio puede considerarse que se encuentra en el proceso de transición y el otro tercio en el esquema primario del nivel concreto.

De estos resultados Arons y Karplus³² deducen que si es cierto que un tercio de la población escolar utiliza el razonamiento formal, mientras que un tercio lo es de razonamiento concreto, y estas proporciones no cambian sustancialmente a pesar de su continuada escolarización, incluso hasta diferentes niveles universitarios, hemos de llegar a la conclusión que nuestro sistema educativo (se refiere al de EE. UU.) no contribuye significativamente al desarrollo intelectual (razonamiento lógico abstracto). El tercio que es de razonamiento formal pueden muy bien haber realizado la transición por sí mismos, indiferentemente del sistema educativo, mientras que al resto no le ha ayudado a progresar la labor que ha realizado. Y Arons³² añade, «Esto no quiere decir que el sistema educativo falle para desarrollar ciertas habilidades básicas tales como la lectura, la escritura, cálculo y otra serie de cuestiones e informaciones; lo que nos importan aquí son los niveles del desarrollo intelectual que el sistema educativo pretende desarrollar».

McKinnon³³, estudió las respuestas dadas, por 131 alumnos de primer año de una Universidad de Oklahoma, a trabajos sobre problemas de conservación de volumen, relaciones recíprocas de dos factores, eliminación de una contradicción, separación de varias variables, y la exclusión de variables irrelevantes de otras necesarias de las resoluciones de problemas. Estas tareas fueron desarrolladas inicialmente por Inhelder y Piaget²⁰, para determinar la estructura de pensamiento de los niños y las edades a las cuales ocurrían los cambios de tales estructuras de pensamiento.

Los resultados del test fueron los siguientes:

	Varones	Hembras	N.º total	%
Formal.	25	8	33	25
Post-concreto.	12	20	32	25
Concreto.	16	50	66	50
Resultado Piagetiano medio.	12,82	9,45	10,74	—
			promedio	

Basado en el modelo de desarrollo intelectual de Piaget, Lawson³⁴, sugiere que ciertos conceptos son comprensibles para estudiantes que están todavía en el nivel de operaciones concretas mientras que otros conceptos lo son sólo para aquellos que están en el nivel de operaciones formales.

Lawson, ha demostrado que existe una relación discreta entre el aprendizaje de los conceptos formales y el nivel de desarrollo intelectual, como lo definía Piaget. En la figura 2 se representa el

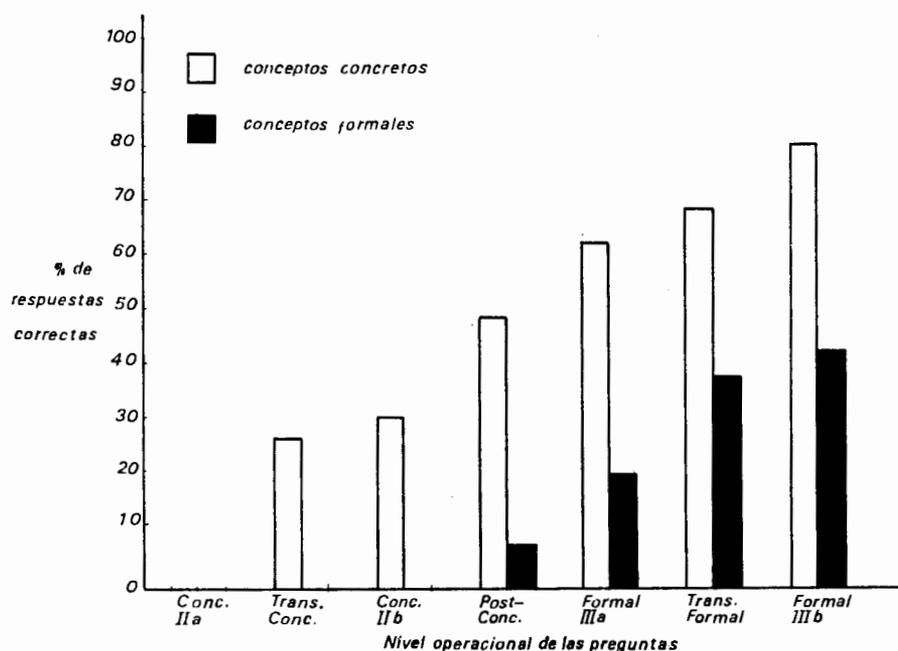


Fig. 2.—Diagrama acumulativo de respuestas correctas sobre conceptos concretos y formales. Los datos han sido corregidos para eliminar posibles aciertos al azar. Tomada de Lawson³⁴.

porcentaje de cuestiones de conceptos concretos y el de conceptos formales contestadas por estudiantes de escuela superior (High School) en varios niveles de desarrollo intelectual.

Se observa en ella que ninguna cuestión formal fue contestada correctamente por ningún estudiante que no hubiera alcanzado el nivel que Lawson llama «postconcreto», que es un estado de transición entre el concreto y el formal. Es más, solamente aquellos estudiantes que mostraban un desarrollo evidente de pensamiento formal (superior al nivel IIIa de Piaget) estuvieron en condiciones

de contestar a la mitad de las cuestiones sobre conceptos formales. (Los porcentajes de la Fig. son algo bajos porque han sido corregidos de aleatoriedad).

El gran problema reside en que prácticamente todas las enseñanzas científicas a nivel universitario, ya desde el primer curso, requieren impartir conceptos de nivel formal.

En esta línea queremos citar por último los trabajos que se están realizando en la Universidad de Purdue (Indiana) por el profesor D. Herron y que han tenido un gran eco en el mundo científico de la investigación didáctica. En la tabla confeccionada por Herron ³⁵ se relacionan una serie de hechos que a juicio del autor deben poder ser realizados por estudiantes que no han alcanzado el nivel formal en su pensamiento y los presenta junto a hechos que considera que requieren un pensamiento formal.

N.º de orden	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales PUEDEN HACER	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales NO PUEDEN HACER
1	—Cualquier medida rutinaria u observación.	—Medida de la densidad, calor de reacción y otras magnitudes derivadas que no se observen directamente.
2	—Hacer deducciones que sean extrapolaciones directas de las observaciones, por ejemplo, «los objetos de madera arden», como una consecuencia de observar varios objetos de madera que arden.	—Hacer deducciones que sean consecuencias de «segundo orden» de las observaciones, por ejemplo, el papel, la madera, y la gasolina arden; estos son compuestos de carbono; los compuestos de carbono arden.
3	—Comprender la idea de que la relación de la masa (o el volumen) de hidrógeno a la masa de oxígeno en el agua es constante. (Esta sería colocada en la lista de <i>puede hacer</i> , solamente si la idea está desarrollada a partir de la observación de datos o a través de un procedimiento que le permita al estudiante entender el origen de los datos).	—Razonar de que la constancia de la relación de masas y de volúmenes en las sustancias tales como el agua conduce a la conclusión de que los compuestos pueden representarse como partículas compuestas de átomos combinados en proporciones definidas.

N.º de orden	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales PUEDEN HACER	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales NO PUEDEN HACER
4	—Construir curvas de enfriamiento para sustancias puras e impuras y deducir de la forma de la curva de una sustancia desconocida si es pura (o una mezcla eutéctica) o impura.	—Explicar a qué se debe la parte plana y horizontal de la curva de enfriamiento de una sustancia pura durante el cambio de fase.
5	—A partir de la descripción del comportamiento de un gas utilizando un modelo físico (tal como el de la Dinámica Molecular) predecir efectos de aumentos de temperatura en la energía cinética media y distribución de la energía entre las moléculas del gas.	—A partir de los postulados de la Teoría Cinética predecir aquellas condiciones de temperatura y presión bajo las que los gases reales no obedecerán la ley de los gases ideales.
6.	—A partir de la definición de molaridad preparar 1000 ml de una disolución 1 M.	—A partir de la definición, preparar 25 ml de una disolución 2,5 M. Preparar 1000 ml de una 0,25 M a partir de una disolución 3 M de reserva.
7	—Seguir una serie de reglas para encontrar la fórmula empírica de un compuesto.	—Entender por qué siguiendo las reglas resultará la fórmula empírica.
8	—Concebir el peso atómico como la masa de un número dado de moléculas; esto es el peso atómico es el peso (masa) de 602, 000, 000, 000, 000, 000, 000, átomos.	—Concebir el peso atómico como la relación de la masa de un átomo a la masa de algún otro átomo que se selecciona como patrón.
9	—Utilizar un ajuste «a ojo» para resolver problemas en casos en los que las unidades proporcionan una indicación de las operaciones que hay que realizar.	—Utilizar relaciones y proporciones para resolver problemas que no se ajusten al «tipo» de problemas que ha sido memorizado.
10	—Ajustar ecuaciones, escribir fórmulas, calcular pesos moleculares, etc. utilizando un conjunto de reglas.	—Derivar las reglas para ajustar ecuaciones, escribir fórmulas etcétera, a partir de los principios generales tales como la ley de conservación de la masa o la ley de las proporciones definidas.

N.º de orden	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales PUEDEN HACER	Cosas que los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel de las operaciones formales NO PUEDEN HACER
11	—Considerar un ácido como una sustancia que vuelve rojo al tornasol.	—Concebir un ácido como un donador de protones o aceptor de electrones.
12.	—Demostrar que una solución conteniendo iones porque conduce la corriente eléctrica; medir la corriente que fluye; mostrar que la masa de metal depositado en un electrodo incrementa regularmente con la corriente o con el tiempo.	—Predecir cambios en el tiempo que deberán compensarse por un cambio observado en la corriente: utilizar la cantidad de corriente y el tiempo para calcular el número de átomos de metal depositado.
13	—Aplicar reglas relacionadas con la velocidad de reacción para predecir cambios en la velocidad, que pueden ser originados por cambios de temperatura y concentración.	—Explicar el efecto de los cambios de temperatura o de concentración en términos de la teoría de la colisión.
14	—Observar el efecto del cambio en la temperatura, concentración de algún componente de un sistema originalmente en equilibrio y predecir la naturaleza del sistema cuando se hagan cambios del mismo tipo.	—Predecir el efecto en algún otro componente del sistema cuando se hagan estos mismos cambios en la temperatura, presión o concentración. —Dada la expresión para la constante de equilibrio, predecir el efecto en la concentración de un componente del sistema cuando se cambie la concentración de otro componente del sistema.
15	—Conociendo el volumen de álcali necesario para neutralizar 1 g. de ácido, calcular el volumen de álcali necesario para neutralizar cualquier cantidad de ácido.	—Conociendo la concentración de álcali y el volumen necesario para neutralizar un volumen dado de ácido, calcular la concentración de ácido.
16	—Colocar varios metales en una solución conteniendo un ión metálico y utilizar los datos para clasificar los metales antes o después del metal de la disolución (empezar por construir una serie de actividades).	—Utilizar los datos de una serie de experiencias tal como ésta donde algún metal aparezca solamente en forma de ión, mientras que otros aparezcan como metales para construir una serie de actividades.

Según este autor existe un número sustancial de estudiantes, quizá el 50 por 100 o más, que abordan el estudio de las disciplinas científicas, que requieren operar a nivel formal, sin haberlo alcanzado. El problema todavía se complica más por el hecho de que últimamente se tiene tendencia a explicar ciertas materias científicas, tales como la Física o la Química en forma teórica. Tan nefasto puede resultar el haber pasado de una enseñanza de la Física basada en una minuciosa descripción de aparatos, o de la Química, fundada en una memorización catalogada de propiedades y características de las diferentes y múltiples sustancias, como el entrar en el estudio de estas disciplinas por la engañosa memorización de una insondable teoría. Como dice Herron³⁵, la alternativa consiste en «reconocer que una gran proporción de nuestros estudiantes operan por debajo del nivel formal» y por lo tanto u orillamos el problema o lo superamos. «Podemos orillar el problema si tratamos de hacer accesible la enseñanza para aquellos estudiantes que no alcanzan el nivel formal y lo podemos vencer si alentamos y ayudamos a los estudiantes para que alcancen el nivel formal».

El problema es muy complejo, porque muchos estudiantes (y profesores) que lean lo que acabamos de exponer pensarán que la mayor parte de los alumnos de nuestros Centros que abordan los estudios científicos ya han alcanzado el nivel formal, porque son capaces de *aprender* conceptos teóricos intrincados, pero hay que asegurarse que han realizado un aprendizaje comprensivo y no una memorización repetitiva.

Siguiendo las líneas de investigación desarrolladas en la Universidad de Purdue, Heron sugiere que los conceptos formales no son realmente accesibles a aquellos estudiantes que no alcanzan el nivel del pensamiento formal, pero a éstos se les pueden proporcionar conceptos supletorios en lugar de los hechos reales, que les permiten manejar muchos (no todos) de los problemas que se les quiera plantear para posteriormente poder pasar con facilidad del concepto supletorio al real.

Hemos de reconocer, que la mayoría de las materias científicas son formales en su *naturaleza* y que pueden ser *comprendidas* nada más que por *mentes formales*; por tanto no, podemos eludir nuestra responsabilidad para el desarrollo del pensamiento formal de nuestros alumnos.

Aunque Piaget sugiere que los estudiantes deben haber desarrollado su pensamiento formal hacia la edad de 15 años, la realidad es que a nivel de preuniversitario y aún con posterioridad, una gran proporción del orden del 50 por 100 como hemos dicho anteriormente, todavía no lo han alcanzado. ¿A qué se debe esto? Según Heron, una posible explicación sea la herencia genética, aunque hay otras observaciones por ejemplo, el que haya mayor proporción de muchachos que de muchachas que alcancen el nivel formal) que sugieren que haya otras razones. Así por ejemplo, los estudios de McKinnon y Renner ²¹, sugieren que la educación mejora el pensamiento formal. Ahora bien, no es la simple educación la que pueda alcanzar estas metas, sino que hay que pensar en experiencias educativas que animen al debate intelectual de las ideas, y que pongan énfasis en *dar sentido* a los hechos observados. Pero este tipo de educación necesita mucho tiempo y requiere la interacción entre los estudiantes o entre estos y sus profesores y, en general, estas experiencias son dolorosamente frustrantes tanto para los estudiantes como para los profesores. Para los estudiantes que todavía no han alcanzado el nivel operacional formal, encuentran, probablemente, la experiencia tan frustrante que desean abandonar (¡gran problema éste en nuestras aulas!), y el profesor seguramente piensa que estos estudiantes son demasiado ineptos para entender la materia.

Analícemos lo que ocurre en la enseñanza de las ciencias desde el propio BUP, hasta los últimos cursos de nuestras Licenciaturas científicas. Se presenta la materia a un nivel abstracto, con pocas apoyaduras concretas a donde puedan cogerse, incluso los mejores estudiantes; como la mayoría de los estudiantes son incapaces de entender estas ideas, ellos memorizan; cuando les ponemos un examen para conocer lo que saben, vemos que sólo han aprendido aquello que se puede aprender memorizando; con ello llegamos a la conclusión de que nuestros estudiantes no pueden realmente pensar y nos contentamos con enseñarles aquello que pueden aprender de rutina; dado que limitamos nuestra instrucción a aquello que sólo necesita memorizarse, los estudiantes no se encuentran nunca forzados a desarrollar su pensamiento hasta el nivel de las operaciones formales; como no desarrollan el nivel formal de

pensamiento no pueden entender el material abstracto que le presentamos.

Es por esto, y dado que la ciencia es en sí misma de naturaleza formal, por lo que hemos de procurar utilizar técnicas didácticas que desarrollen el pensamiento formal.

IV. Los complementos didácticos y las nuevas técnicas de enseñanza

Según el Prof. Schramm, podemos clasificar estos refuerzos didácticos en *cuatro generaciones*. Pertenecen a la *primera generación*, las tablas, las gráficas, los murales, los manuscritos, los modelos, la pizarra y las experiencias de Cátedra. Tienen en común el hecho de que el profesor tiene una participación directa en su realización.

Entre los medios de la *segunda generación*, Schramm incluye todos aquellos que comprenden la palabra impresa: libros de texto o de consulta, test para pruebas de examen, lecturas auxiliares, etcétera... La evolución respecto a los de la primera generación reside en que los alumnos se pueden beneficiar de las ideas y presentación de los conceptos de otros autores alejados de ellos en el tiempo y el espacio. En los últimos tiempos, y gracias a las conquistas de la técnica en medios de reproducción (offset, fotocopias, xerocopias, etcétera...) se han podido ampliar las posibilidades de transmisión de información mucho más allá de las que proporciona el simple libro.

A la *tercera generación* pertenecen las máquinas inventadas por el hombre que utilizan el canal *visual* o el *oral*, tales como la retroproyección, la diapositiva, los films y filminas, las cintas magnetofónicas, etc. o que simultáneamente utilicen ambos canales, como son las películas sonoras y la televisión. Todas ellas se auxilian con dispositivos, que cada día perfecciona más la técnica, tales como los proyectores de distintos tipos, la radio, el magnetofón, los aparatos de televisión etc. De todos estos medios se ha hecho amplio uso y se ha investigado acerca de su eficacia [Báez ³⁶, Lewis ³⁷, Moche ³⁸, Reid et al ³⁹, Woodmann ⁴⁰, Bork ⁴¹, Miller ⁴², Herbert ⁴³, Flechon ⁴⁴, Roger ⁴⁵, National Science Foundation ⁴⁶, Miller ⁴⁷, Co-

mission on College Physics⁴⁸, Comission on College Physics⁴⁹]. Se prevé, la próxima puesta a punto de nuevas técnicas, de bajo costo, que utilizarán video-cassettes y video-discos.

Todos estos aparatos, que constituyen lo que en lenguaje técnico se conoce como el «hardware», si se utilizan adecuadamente y en el momento oportuno, permiten reforzar la información transmitida, la cual constituiría el «software», y al mismo tiempo ayudan a *motivar* al alumno, aspecto este de la máxima importancia en la consecución de un buen rendimiento didáctico, pero que no vamos a tratar en esta ocasión.

El hecho de que exista una *cuarta generación*, de la que más tarde hablaremos, no quiere decir que todo lo correspondiente a la tercera está superado sino que por el hecho de que la técnica esté perfeccionando cada día el «hardware» y poniendo nuevos medios a nuestra disposición hace que el «software» quede retrasado y se esté investigando ampliamente para poder deducir qué información es la más adecuada para ser transmitida por cada medio y de la forma en que aquélla produzca un mayor impacto.

Si el profesor utiliza únicamente el canal oral para transmitir la información al alumno, esta podrá muy fácilmente ser interferida o distorsionada. Es por esto por lo que la más mínima previsión aconseja reforzar esta transmisión con un canal visual, que puede obtenerse de diferentes formas.

La filosofía desarrollada por Piaget ha conducido a otra interesante idea de la que participan las nuevas didácticas: se trata del énfasis que ponen en la enseñanza individualizada [Silberman⁵⁰]. Así ha surgido, en la clasificación del Prof. Schramm la *cuarta generación*, de la que vamos a describir someramente las técnicas siguientes:

—La enseñanza programada: las máquinas de enseñar (Teaching Machines TM).

—El ordenador en la enseñanza (Computer-Assisted Instruction CAI).

—Los multimedia autodirigidos (Autotutorial AT).

LA ENSEÑANZA PROGRAMADA: LAS MÁQUINAS DE ENSEÑAR (TM).—Una denominación más acorde con las ideas actuales acerca de las actividades que tienen lugar en los Centros de enseñanza,

sería denominar a esta técnica *aprendizaje programado*. Quien sentó las bases iniciales fue el psicólogo americano Skinner⁵¹, aunque tuvieron que transcurrir cuatro años, para que una segunda publicación del mismo autor⁵², que seguía líneas similares a las de la anterior, tuviera mejor éxito y causara un gran impacto hasta el punto de que éste ha sido uno de los artículos más solicitados de la revista donde se publicó. La causa se debió a una circunstancia totalmente ajena al proceso educativo y fue el hecho de que aquel año los rusos lanzaran el primer «sputnik» con lo que se hizo en la prensa norteamericana una campaña de críticas contra la política científica que en aquella época desarrollaba el gobierno americano. ¡Esta nueva técnica se benefició de la guerra fría que sostenían rusos y americanos!

Desde entonces la *enseñanza programada* (o *las máquinas de enseñar* como se conoce comercialmente a esta técnica) continúa contando con el aprecio de muchos sectores de la docencia y por ello, sigue experimentando, día a día, un perfeccionamiento y una expansión que hacen que haya que considerarla como una técnica interesante competitiva. Esta didáctica la define Décote⁵³ como *una lección particular puesta por escrito*. De acuerdo con ello el proceso que se sigue consiste en formular al alumno una pregunta y en recoger su respuesta; si esta es correcta se le formula una nueva pregunta y, si por el contrario aquella es errónea, se le conduce, a través de nuevas preguntas en etapas más breves, hacia la contestación adecuada. Con ello se pone en práctica una serie de principios psicológicos: que el alumno se interese y responda a las preguntas (principio de participación activa); que conozca inmediatamente si la contestación es o no correcta (principio de la comprobación inmediata); dispone del tiempo que desee para responder (avance a ritmo propio); respuestas breves y sencillas que puede responder fácilmente (principio del refuerzo por los éxitos).

En esta técnica hay que disponer de los *programas* y de los *medios* para desarrollarlos, que son lo que realmente constituyen las *máquinas de enseñar*. No hay que confundir el programa que se utiliza en esta técnica con el que habitualmente se dispone en las clases ordinarias, ya que en él sólo aparece más o menos someramente indicando, el orden en el que se expondrán los diversos temas y unas pocas indicaciones acerca de la amplitud de los mismos,

mientras que en aquel, además de todo ello, aparece como constituyente fundamental, la lógica y la forma como será presentada la materia.

Prácticamente todos los tipos de programas que existen en esta técnica se reducen a tres tipos, que se conocen con los nombres de sus autores o impulsores fundamentales: son el de Skinner, el de Crowder y el matético o de Gilbert.

El de Skinner se denomina *programa lineal* porque se puede esquematizar como una larga secuencia de elementos breves, en los que se transmite al alumno una fracción de la información. Son tan breves que ordinariamente se le suministran de dos a cinco ideas en una secuencia de unas treinta palabras. En ella además va contenida una pregunta que el alumno debe contestar correctamente antes de pasar a recibir la información contenida en la secuencia siguiente. La respuesta es muy breve ya que ordinariamente se reduce a una palabra, signo o una operación a realizar en la máquina. Inmediatamente el alumno comprueba la bondad de la respuesta comparándola con la que está contenida al principio de la secuencia siguiente.

En el programa tipo Crowder, también denominado *programa ramificado*, la información aparece en secuencias más largas, formulándose al final, de la misma forma que en el anterior, una pregunta que el alumno debe responder correctamente. Si esto es así, sigue adelante, pero si por el contrario la respuesta es errónea, al alumno se le deriva a través de otras secuencias conteniendo nueva información y se le formulan nuevas preguntas, con lo que se le vuelve a poner de nuevo en el camino principal, caso de que la respuesta sea correcta. Naturalmente pueden existir nuevas derivaciones si esto no es así. Se comprende fácilmente que este tipo de programación sea más compleja de elaborar y de ahí que haya muchos menos programas de tipo Crowder que de tipo Skinner.

En los programas tipo matético, introducidos por Gilbert, al contrario de los anteriores que van de lo particular a lo general, al alumno se le expone al principio una visión general del programa y posteriormente se le desarrollan las diversas partes. Este tipo de programación está poco extendido.

En la enseñanza programada hay que considerar también los dispositivos para proporcionar al alumno la información, de donde

procede el nombre de máquinas de enseñar. Estas pueden reducirse a un sencillo recipiente provisto de una abertura a través de la cual van apareciendo las diversas secuencias, y que el alumno opera desde el exterior para que una vez captada la información, desplazar el texto de la secuencia siguiente. Es muy corriente utilizar este dispositivo en los programas tipo Skinner. La forma más elemental de presentar un programa tipo Crowder, consiste en un texto de apariencia normal pero en que las secuencias y sus ramificaciones no siguen la paginación sucesiva, enviando al alumno, de acuerdo con las respuestas que emita a la página donde se encuentra la ramificación que le corresponda. Desde estos dispositivos se pasa a las máquinas más o menos complejas, llegándose a modelos altamente sofisticados.

Algunas de las ventajas que presenta esta técnica didáctica son las siguientes:

1.^a Se trata de un sistema muy versátil pues se adapta a nivel de conocimientos, a la capacidad intelectual y al ritmo propio de cada alumno, lo cual puede constituir un factor muy importante en el caso de una clase que tenga alumnos, que por ser de diversas procedencias, sean muy heterogéneos en su formación.

2.^a El alumno conoce inmediatamente el resultado del test que se le formula, lo cual, según la moderna pedagogía representa una motivación muy importante.

3.^a El alumno está en constante actividad mientras realiza su aprendizaje no permitiéndole desviar su pensamiento del trabajo que está realizando.

4.^a A través de las respuestas que el alumno emite de cada una de las preguntas que se le formulan se va controlando el avance de su aprendizaje. En las máquinas más complejas aquellas quedan registradas y se someten al tipo de estadística que se desee.

5.^a Está ampliamente comprobado que el tiempo de aprendizaje de una determinada materia es menor en comparación con el método clásico, llegando en algunos casos hasta una reducción del 50 por 100.

6.^a En un estudio realizado por Fernández⁵⁴, se comprueba que las calificaciones obtenidas por alumnos que siguieron una enseñanza programada, paralelamente a otro grupo al que se le impartió enseñanza tradicional, fue superior.



7.^a Finalmente debemos mencionar que el utilizar la enseñanza programada produce un cambio de actitudes en los profesores. Según Leboutet ⁵⁵ «la enseñanza programada obliga al profesor a pensar su acción no en términos de la materia a impartir sino en términos de las actividades del alumno, planeadas en función de los resultados y de su medida objetiva; con ello adquiere una actitud experimental frente a una situación didáctica», y más adelante añade: «esta concienciación es favorable a que se den situaciones de investigación en la clase». Estas ideas vienen confirmadas por Décote ⁵³, cuando dice: «la programación es una forma de aprender mucho acerca de la forma de enseñar y podría ser en el futuro un útil complemento en la formación pedagógica de los profesores».

Se le formulan también muchas críticas, centradas casi todas ellas alrededor del hecho de que se pierda el contacto profesor-alumno que tan motivador resulta para éste. Algunos incluso llegan a pensar que el profesor no es necesario, sin pensar que precisamente éste tiene una importancia primordial en la confección del programa y en el análisis de los resultados alcanzados.

Programas de este tipo de enseñanza existen prácticamente para toda clase de disciplinas y entre las científicas hemos seleccionado alguno de los más representativos que recogemos de los siguientes autores: Le Marne ⁵⁶, Lang et al ⁵⁷, Schuszter ⁵⁸, Bus-solati-Rimini ⁵⁹, Molledo ⁶⁰, Pescetti ⁶¹, Salach ⁶², Muster et al ⁶³, Sutton ⁶⁴, Colligan ⁶⁵, Moriber ⁶⁶, Butler et al ⁶⁷, Unesco Pilot Project on the Teaching of Physics ⁶⁸.

EL ORDENADOR EN LA ENSEÑANZA (CAI).—Mattson et al ⁶⁹ definen al CAI (Computer-Assisted Instruction) como un diálogo interactivo que se entabla entre el alumno y el ordenador (algunas veces llamado tutor).

El CAI se utiliza para desarrollar diferentes actividades que podemos clasificar en los siguientes apartados: 1) proporcionar información; 2) presentar cuestiones y problemas; 3) esperar pacientemente las respuestas; 4) dar un refuerzo inmediato; 5) «apuntar» si se le pide ayuda; 6) actuar como en la enseñanza programada tanto con programas lineales como ramificados. Todos ellos son suficientemente explícitos en su contenido para no nece-

sitar mayor explicación. Junto a las anteriores naturalmente están todas las generales del ordenador, tales como las de registro, clasificación, estadística, etc.

La enseñanza por ordenador es socrática, pues a semejanza del filósofo griego pregunta individualmente, utiliza la técnica de la respuesta y trata de hacer pensar lógicamente a sus discípulos. De la misma forma que a Sócrates se le atribuye la habilidad de la información en etapas y poner *puentes* con los que ayudaba a sus discípulos a vencer las dificultades y llegar hasta la siguiente etapa.

El principal obstáculo de este tipo de didáctica es el elevado precio de un ordenador de capacidad adecuada. Desde 1972 se han introducido los calculadores programables o microcomputadores mucho más asequibles de precio, y que han comenzado a ser ampliamente utilizados en el CAI. Si los propios aparatos, el «hardware», están comenzando a ser alcanzables, sin embargo, el «software» de las técnicas pedagógicas deja bastante que desear; a semejanza de otras técnicas, este campo está muy necesitado de una amplia investigación para poner a punto y contrastar los programas de enseñanza.

Otro inconveniente es la falta de personal capacitado para el manejo de los ordenadores, pues, en general, las actividades pedagógicas no pueden competir con otras más remuneradoras para los técnicos especializados en estas máquinas. Igualmente, los propios estudiantes en general, no están capacitados para manejar los ordenadores, o sus terminales. Con el fin de obviar este inconveniente en diversos países se hacen esfuerzos para capacitar a los estudiantes, incluso a nivel de preuniversitario, para que puedan trabajar con los ordenadores y sea de esta forma aceptado ampliamente como instrumento de trabajo.

Para referencias bibliográficas sobre este tema, remitimos al lector a los trabajos de Zinn et al ⁷⁰ y de Kornhauser ⁷¹.

LOS MULTIMEDIA AUTODIRIGIDOS (AT).—En la tecnología educativa se entienden como *medios educacionales* todos aquellos que facilitan la actividad educativa. Es por esto que se encuentran medios de los más variados, que son manejados, vistos, leídos o que hablan, incluyendo los instrumentos que facilitan tal actividad.

Se encuentran pues entre ellos, las máquinas de enseñanza y el material de aprendizaje programado, que hemos mencionado en el apartado anterior, así como los diferentes medios audiovisuales como la radio, la televisión, los diferentes tipos de proyectores, las películas, las diapositivas, etc.

La metodología que se utiliza en el sistema multimedia emplea diferentes medios interrelacionados que se complementan para conseguir el fin deseado. Esta complementariedad consiste en que cada constituyente del aprendizaje debe *ser impartido con el medio más apropiado para hacer más eficaz su captación*. Muchas veces ocurre que un determinado objetivo se puede alcanzar con diferentes medios, por ejemplo, cierta información la puede proporcionar un texto, una grabación magnetofónica, o una emisión de televisión, bien directa, o registrada en un video-cassette. Pues bien, el alumno deberá elegir el que más le convenga, y para esto podrá asesorarse de su profesor quien debe conocer bien sus características personales y las diferentes informaciones que aparecen en cada uno de los medios puestos a disposición del alumno.

El principal inconveniente del sistema multimedia es que pocos Centros poseen suficiente variedad de medios para atender todas las demandas. Así es frecuente que ante la carencia de material de Laboratorio se tengan que contentar con ver experiencias de Cátedra o incluso filmaciones más o menos convencionales.

Otro inconveniente reside en que tanto en la Física como en la Química, las dos ciencias más apropiadas para servirse de esta técnica de aprendizaje, se desconoce todavía el medio que resulta más eficaz para alcanzar un determinado objetivo, así como el medio que es el más apropiado para cada individuo de acuerdo con sus características. Existe aquí un enorme campo de experimentación donde tendrán que aplicarse las técnicas de investigación operativa y habrá que aportar recursos materiales y humanos, si se quiere sacar todo el fruto de esta interesante y compleja técnica. Por todo ello no nos cansaremos de repetir que hay que estimular la investigación didáctica en nuestro país, eliminando ideas obsoletas acerca del valor e interés de los trabajos en este campo.

En el título de este apartado se hace referencia a que se trata de una técnica autotutorial, con ello queremos referirnos a que en muchos casos se hace uso de cintas magnetofónicas en las que el

profesor ha grabado todas las instrucciones referentes al medio que se debe utilizar y la forma como hacerlo.

En la forma más sofisticada el método AT se identifica como un *Centro de Aprendizaje*, donde el estudiante puede trabajar independientemente y equipado con cabinas en las que existen cassettes, proyectores, televisor, un terminal de ordenador, etc., que el alumno utiliza de acuerdo con lo mencionado anteriormente. Los distintos medios pueden complementar su aprendizaje, pasando de unos a otros según su conveniencia, desde luego, siguiendo en lo posible, las instrucciones recibidas.

Lo mismo que en el caso anterior se encuentran múltiples referencias a la aplicación de este sistema a diversos casos, y entre ellos hemos seleccionado como más significativas las de los autores: Hauscomb et al ⁷², Butzow et al ⁷³, Nordland et al ⁷⁴, Sandin ⁷⁵, Thorsland et al ⁷⁶, Mayer-Pani ⁷⁷, Butzow et al ⁷⁸, Black et al ⁷⁹, Branson ⁸⁰, Báez ⁸¹, Berman et al ⁸².

Quien mejor ha descrito este método de aprendizaje ha sido Postlethwait et al ⁸³, y se refiere fundamentalmente a la enseñanza de la Biología. En este trabajo dice lo siguiente: «El profesor debe identificar tan claramente como sea posible las relaciones, actitudes, conceptos, ideas y aptitudes que el estudiante debe adquirir, y a continuación concebir un esquema multi-sensorial con varias facetas que permitirán al estudiante orientar sus propias actividades para alcanzar sus objetivos», en la que se refleja y resume claramente las grandes dificultades que encuentran y la preparación que deben de poseer, los profesores que tengan que dirigir este tipo de didáctica.

Mintz ⁸⁴, hace una recopilación de seis diferentes investigaciones realizadas por este método en comparación con el clásico, y encuentra que en tres el método AT es más favorable y en un caso la técnica clásica. Por otra parte Fisher ⁸⁵, obtiene en seis estudios entre diez realizados, que el sistema autodirigido resulta favorable sobre el de clases magistrales. Finalmente, en el trabajo de Kulik y Jaksa ⁸⁶, de veinticuatro estudios analizados, en nueve resulta más favorable el método autodirigido y en dos el de clases magistrales. Vemos pues, que los métodos autodirigidos parecen que van bien en la enseñanza de las ciencias en donde para alcanzar los objetivos son necesarias experiencias visuales, auditivas o de laboratorio.

V. Los sistemas personalizados de enseñanza (PSI)

Ante toda la problemática que presente la docencia y al quedar establecidas las leyes descubiertas en el campo de la psicología didáctica, existe en todo el mundo, dentro de la enseñanza superior, una tendencia creciente hacia los sistemas de enseñanza personalizada.

En ellos, como ya hemos dicho, se tienen ante todo en cuenta, el carácter diverso de cada uno de los estudiantes, adaptando la metodología y el ritmo de estudio a sus particulares características. Es muy sintomático que estos métodos se estén estableciendo sobre todo a nivel de la Enseñanza Superior, cuando parecería oportuno, dados sus indudables éxitos, que se extendieran a la Enseñanza Media, o al menos a la Preuniversitaria. Creemos que son dos las causas de esta aparente contradicción; de una parte el que los estudiantes a nivel de estudios medios tienen una edad en la que todavía no han alcanzado plenamente el nivel formal de Piaget, pues aunque este lo establece en los 15 años, de acuerdo con sus experiencias realizadas en muchachos suizos, las numerosas valoraciones que se han realizado, que hemos citado ya anteriormente, y las observaciones que año tras año nosotros hacemos con los alumnos que realizan las Pruebas de Acceso de la Universidad (de unos diecisiete años de edad) nos inducen a pensar que este nivel no lo han alcanzado la mayoría de los alumnos de enseñanza media y por tanto, difícilmente pueden serles útiles los métodos de enseñanza personalizados que requieren un nivel de formación suficiente para realizar un amplio trabajo personal. Una segunda dificultad para que estos métodos no se hayan establecido a este nivel es que necesitan, como luego veremos, mayor cantidad de Profesores, y ordinariamente, las estructuras de personal docente de todos los países

no permiten, en general, que a nivel medio, haya más de un profesor por clase y materia.

Si partimos del hecho indudable de que el grupo de alumnos al que vamos a impartir cada año las nuevas enseñanzas, es heterogéneo en cuanto a su capacidad de comprensión y de trabajo (aunque, lógicamente, esta heterogeneidad disminuye según avanzamos en los cursos de una Licenciatura), es lógico suponer que cada uno necesita un tiempo diferente para clarificar sus ideas y asimilar los nuevos conocimientos. Esta es la filosofía básica sobre la que se asientan los diferentes métodos de enseñanza personalizada.

Entre ellos vamos a referirnos fundamentalmente al introducido en el año 1968 por el psicólogo americano, Fred Keller⁸⁷ (aunque ya en el año 1964 lo experimentó en la Universidad de Brasilia), por ser el que ha alcanzado una mayor difusión, primeramente en las Universidades de su país, y posteriormente en la de otros países, pudiéndose decir que en la actualidad se practica, en más o menos extensión en todo el mundo, y en una gran diversidad de materias, no solamente entre las de carácter científico.

Su característica principal consiste en sustituir la clase magistral por una enseñanza personalizada en la que se suministra la información al alumno en forma escrita, eventualmente complementada con otras técnicas audiovisuales. De esta manera la totalidad del tiempo de clase se puede dedicar a acciones formativas, o para aclarar las ideas o conceptos mal interpretados por los alumnos. De esta forma, los estudiantes avanzan a través del curso a su ritmo propio de comprensión.

En el Plan Keller la materia de un curso se divide en *unidades* cada una equivalente aproximadamente al trabajo que un alumno medio puede realizar en una semana. En general, este método en cada disciplina incluye menos materia que en los cursos clásicos, pues participa de las ideas actuales de que no es necesario saberlo todo, sino que la verdadera formación consiste en saber afrontar los problemas para intentar resolverlos, y ello lleva implícito, ante una nueva situación o una parcela de conocimiento no estudiada con anterioridad, el saber, cómo y dónde se puede encontrar la información necesaria para atacar el nuevo problema. Este es el planteamiento que del plan Keller se hace en cada nueva unidad que recibe el alumno. Esta *recepción* consiste en una *guía* en donde al

alumno se le indica la materia que debe conocer y entender, así como cualquier otro tipo de conocimiento complementario que debe poseer antes de abordar el estudio de la unidad. Parte principal de esta información es establecer con claridad los *objetivos* que se tratan de alcanzar. Se le indican también los procedimientos mediante los que el estudiante puede llegar a la comprensión de la materia contenida en la unidad. Estas indicaciones pueden consistir en referencias a textos, acompañadas de las correspondientes notas aclaratorias o ampliatorias de determinados pasajes. Igualmente se le pueden recomendar lecturas complementarias o dirigirles a fuentes de información de otro tipo de que se disponga en el Centro, tales como la enseñanza programada, los multimedia, enseñanza por ordenador, etc.

También se le pueden plantear problemas numéricos o la realización de experiencias o prácticas de laboratorio, el visionado de distintas películas científicas, etc.

El trabajo lo realiza el estudiante en su casa, y al haberse suprimido las clases magistrales dictadas por un profesor, en ese tiempo puede reunirse en pequeños grupos con sus compañeros, para intercambiar ideas y opiniones con ellos, bien solos o acompañados de su *tutor*. Dado que para que surja la discusión entre un pequeño grupo, es necesario que exista una *preocupación común* con respecto a un deseo de información, es preciso que el grupo esté *previamente* motivado en el tema objeto de la discusión y aquí es donde juegan un importante papel los tutores y el profesor desplazándose de un sitio a otro.

Otras veces preferirá dedicarse sólo a desarrollar su trabajo y, eventualmente, preguntar las dudas o aclaraciones a un tutor o profesor. Aunque en la guía se le indican los procedimientos, que a juicio del profesor son los más adecuados para alcanzar los objetivos propuestos, no por ello el estudiante debe renunciar a emplear otros que él considere mejores o más apropiados a su costumbre.

A fin de que el estudiante pueda ir valorando el grado de adquisición de conocimientos, se le proponen también en la guía un conjunto de *cuestiones de autocomprensión* que él trata de responder, comprobando si la respuesta es la adecuada, bien en la información escrita que se le suministra o consultando con los profesores.

Cuando el estudiante considera que ya tiene preparada la Unidad solicita un *test de comprensión* que debe contestar en un tiempo máximo de 30 minutos, al cabo de los cuales pasa a corregirlo en compañía de un tutor que lo califica en su presencia, lo cual le permite comprobar si el alumno realmente ha comprendido la Unidad y si ha alcanzado los objetivos que en la misma se le proponían. Si la calificación del test de comprensión es del 80 por 100 o superior, entonces se le entrega la guía de la unidad siguiente. Si por el contrario no se obtiene aquella calificación, continúa trabajando en la misma Unidad, orientándole en los fallos que el tutor ha descubierto a través del corto diálogo que se entabla entre él y el alumno mientras se realiza la corrección del test. De esta forma y, Unidad tras Unidad, se le corrigen los falsos conceptos y equivocaciones que va teniendo durante el desarrollo del curso. Así continúa hasta completar la totalidad de las Unidades.

Las cinco características siguientes distinguen al método Keller de los otros métodos seguidos en la didáctica de las ciencias:

a) El estudiante avanza en el estudio del curso a ritmo propio, de acuerdo con sus aptitudes y peculiaridades y de la misma forma aborda las restantes actividades que le son solicitadas durante este tiempo.

b) La necesidad de pasar con éxito cada Unidad, que se manifiesta en las elevadas calificaciones que se le exigen, hace que no emprenda el estudio de un nuevo tema hasta que no ha dominado los que le preceden, cuestión fundamental en una programación lineal como suele ser la casi totalidad de los cuestionarios de las disciplinas que se cursan en nuestras Universidades.

c) La posible inclusión de algunas pocas clases magistrales, se hace más bien, como estímulo y motivación de los estudiantes que para transmitirles información, pues en todo caso, la materia impartida en tales clases no se le exige al estudiante.

d) Se le concede una gran importancia a la comunicación profesor-alumno que en este método está incrementada al máximo, pues la totalidad de las clases del curso se realizan con diálogo entre ambos, bien a través de las preguntas que el alumno le formula al profesor, o cuando éste participa en los pequeños grupos, y finalmente cuando ambos corrigen los test de comprensión.

e) La utilización de colaboradores del profesor, *tutores*, con

lo que se consigue realizar los controles y evaluación de cada uno de los alumnos de forma inmediata.

El avance a ritmo propio y la interacción con los tutores parecen ser los rasgos del plan Keller que destacan los estudiantes. Sin embargo, las frecuentes evaluaciones con inmediata respuesta es la característica que destacan los investigadores Henderson et al⁸⁸ y Kulik et al⁸⁹.

El método Keller fue introducido en la enseñanza de las ciencias, primeramente en la de la Física el año 1968 por Ben A. Green. En dicho año Green entró a formar parte del equipo del Education Research Center ERC del Massachusetts Institute of Technology, y venía precedido de una especialización en la enseñanza programada según la técnica lineal de Skinner. Cuando conoció el trabajo de Keller⁸⁷ publicado aquel año, pensó que aquella era la forma de aplicar los principios de la enseñanza programada de Skinner. Tras un planteamiento dentro del equipo del ERC y de acuerdo con el Departamento de Física del MIT, se impartió, según esta técnica, el segundo semestre del curso de Física a un grupo de voluntarios.

Fue tal el éxito del curso impartido por Green que inmediatamente se programaron otros a diferentes niveles. El propio Green, junto con los profesores Taylor, Friedman y Hirschi, que se le unieron, impartiendo sucesivos cursos. Con estas experiencias publicó Green⁹⁰ una comunicación en el American Journal of Physics que ha resultado la más solicitada de todas las numerosísimas comunicaciones aparecidas en esta ya veterana Revista.

Durante los años 1971 y 72, el MIT fue el principal Centro desde el que se propagó esta nueva técnica de enseñanza, y a través de los encuentros y seminarios allí organizados, cientos de profesores de todos los países del mundo conocieron las primicias del método Keller.

En Europa fue introducido el año 1971, por el Profesor Elton⁹¹ de la Universidad de Surrey, y con él impartió un curso de Mecánica Cuántica. Desde entonces se han programado en Inglaterra multitud de cursos, a diferentes niveles y de distintas materias, entre los que podemos citar los de Boud⁹², Sherwood⁹³ y Boud et al⁹⁴; igualmente en otros países, se han realizado experiencias con esta técnica, tales como las de Moreira⁹⁵, Makurane⁹⁶ y Sherman⁹⁷, y entre las más recientes comunicaciones aparecidas

podemos citar las de Maloney⁹⁸, Skove⁹⁹, Hedges¹⁰⁰, Van Winkle¹⁰¹ y Silbermann¹⁰². Nosotros fuimos los introductores en España de esta técnica, beneficiándonos el año 1975 del Primer Premio Nacional de Didáctica y cuyos primeros resultados han aparecido recientemente¹⁰³.

VI. Consideraciones finales

En nuestra exposición sobre las investigaciones que se están realizando para tratar de mejorar la didáctica de las ciencias, hemos seguido aproximadamente su evolución histórica, y hemos podido observar que en las dos últimas décadas, la docencia además de aprovecharse del *desarrollo tecnológico* que han experimentado diversos instrumentos auxiliares, ha incorporado una serie de *principios psicológicos* que todas las técnicas tienen en cuenta de una u otra forma.

Hemos visto, como a las deficiencias de la clase magistral, impartida primariamente en forma oral, con este único canal de comunicación entre el profesor y el alumno, ya se reforzó introduciendo canales supletorios, por vía visual, que cada día la técnica mejora, con lo que se facilita y refuerza la comunicación entre ambos.

Indudablemente este sistema puede ser útil para proporcionar información, pero es tan escaso el tiempo de contacto entre el profesor y el alumno (apenas 75 horas por curso en cada disciplina impartida en clases alternas) que, al existir la posibilidad de transmitir la información por otros conductos parece un derroche el emplear este tiempo en esa sola actividad.

Por otra parte, el protagonismo de la clase debe desplazarse del profesor al alumno, o lo que es lo mismo hay que pasar de conjugar el verbo enseñar, a conjugar el verbo aprender, pero entonces surge una nueva dificultad y es que no se puede provocar directamente el aprendizaje, por lo que hay que crear *situaciones de aprendizaje*. En la forma actual el profesor es únicamente responsable de presentar adecuadamente la materia de su asignatura, mientras que la *responsabilidad* principal de aprendizaje recae exclusivamente en el alumno. Además tampoco éste aparece como individuo sino como un conjunto que hay que clasificar al final del curso, otor-

gándoles unas calificaciones en orden decreciente, surgiendo así una *competencia* entre los estudiantes para tratar de formar parte del grupo a los que se va a declarar como aptos.

Dado que han quedado perfectamente establecidas las cuatro etapas del desarrollo intelectual postuladas por Piaget y que aparece cada día con mayor evidencia experimental que los estudiantes cuando llegan a la Universidad todavía, en su gran mayoría, no han alcanzado el estado operativo formal, imprescindible para el buen entendimiento de la ciencia, parece razonable que exista una tendencia hacia la *individualización*. Dentro de esta tendencia las técnicas más avanzadas preconizan el aprendizaje a ritmo propio, cuestión que por otra parte presenta grandes dificultades para ser llevada a la práctica, ya que para atender a los diversos alumnos, distanciados en el nivel de conocimientos, se necesita disponer de mayor número de profesores o de recursos técnicos, como en los sistemas multimedia o de enseñanza asistida por ordenador. En algunos sitios para paliar esta situación se recurre, a los postgraduados, a los alumnos de los cursos superiores e incluso, en algunos casos, los alumnos más avanzados del mismo curso hacen de tutores de sus propios compañeros. Cuando en un Centro se imparte una determinada docencia de diferentes maneras, sus estudiantes tienen la posibilidad de utilizar aquella técnica que mejor se acomode a su estilo. Sobre la eficacia de estas distintas modalidades existe un gran número de trabajos de investigación, sin que, se pueda decir que, a pesar de ello, se haya llegado a una conclusión definitiva; por tanto hay que continuar trabajando en este campo.

Las modernas tecnologías educativas se caracterizan por un establecimiento previo de *objetivos*, y la evaluación del estudiante se realiza en términos de saber, si ha alcanzado o no los objetivos prefijados. Se crea así un ambiente de cooperación y de ayuda mutua entre los estudiantes que contrasta con el ambiente clásico de competitividad.

En las tecnologías clásicas la actividad está *centrada en el profesor*; este es el ser infalible que está en posesión de la verdad y por ello, en general, los alumnos, no osan interrumpirle en la clase durante su «docta» exposición, y menos ir a buscarle a su despacho o laboratorio en donde se dedica a preparar la siguiente clase magistral. En la moderna tecnología, por el contrario la enseñanza

está *centrada en el alumno*, y es este el que le plantea al profesor las cuestiones en la forma y momento que considera oportuno.

Frente a las ventajas que tienen las modernas tecnologías, que motivan y facilitan el aprendizaje, al estar en buen acuerdo con las tendencias psicológicas de los individuos, se presentan también una serie de *inconvenientes*. En primer lugar, se trata de una *enseñanza más costosa* bien porque necesita un mayor número de profesores o porque hace uso de aparatos, muchos de ellos altamente sofisticados, como los ordenadores, las máquinas de enseñar o la TV en circuito cerrado. Muchas veces no faltan los elementos humanos auxiliares, bien en las tutorías, o en el manejo de los aparatos, pero es difícil encontrar aquellos que tengan una preparación suficiente para atender una *docencia tan comprometida* como la de la enseñanza personalizada.

Como las nuevas técnicas docentes requieren un cambio de mentalidad hay una cierta *resistencia al cambio*, bien por parte de los profesores o de los propios alumnos, pues tanto para unos como para otros, todas estas tecnologías representan un esfuerzo mayor, ya que todas buscan, no el incrementar la información, que en definitiva podría ser cuestión de contenido y quizás de tiempo, sino de lo que se trata es de elevar al alumno a un estado superior de inteligencia, pasarlo del nivel concreto al nivel formal de Piaget, y esto presenta mucha mayor dificultad, porque muchas veces no se sabe como conseguirlo. Es este un campo en donde hay que continuar investigando para poder llegar algún día a saber determinar cuál es la forma de docencia más adecuada a cada estudiante y este diagnóstico tiene que saberlo hacer el profesor, y tiene que empezar en los niveles más bajos de enseñanza, pero la responsabilidad principal reside en la Universidad pues aquí se forman los profesores que desarrollan el sistema educativo. Ellos son los que deben conseguir que de una pequeña fracción que alcanza el desarrollo intelectual adecuado, muchas veces de una forma *sui géneris*, éste se adquiera por una mayor proporción de población. Pero no se obtendrá un progreso significativo mientras no hagamos un mayor y más extenso esfuerzo, que repito, tiene que ser impulsado en el campo de la educación superior.

Bibliografía

1. SHANNON, C. E. y WEAVER, W., **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: The Univ. of Illinois, Press (1949).
2. BERLO, D. K., **O Processo da Comunicação**. Rio, Fondo de Cultura (1963).
3. SCHRAMM, W., **How communication Works**. The Process and Effects of Mass Communication. Urbana. Illinois: Univ. Ill, Press (1954).
4. REDONDO, F., **Profilaxis y tratamiento activo**. Acta Otorrin. Esp., XIX, 121 (1968).
5. HERNANDEZ, R., **Los minusválidos sensoriales**. Minusval, n.º 25, 4 (1978).
6. ZAKI DIB, C., **Tecnología de la educación**. Ed. Cecsá (1977).
7. WIENER, W., **Cibernética e Sociedade**. São Paulo: Cultrix (1968).
8. FLAVELL, J. H., **The Developmental Psychology of Jean Piaget**. Van Nostrand and Co., Inc. Princeton, New Jersey (1968).
9. MELON, E. K., **Provocative opinion**. J. Chem Educ., 50, 530 (1973).
10. CRAIG, B. S., **The Philosophy of Jean Piaget and its Usefulness to Teachers of Chemistry**. J. of Chem. Educ., 49, 807 (1972).
11. PIAGET, J., **Autobiography**, en la obra de E. G. Borning y otros. **History of Psychology in Autobiography**, vol 4, p. 237.
12. FURTH, H. G., **Piaget for Teachers**; Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1970).
13. PIAGET, J., **Genetic Epistemology**. Columbia Univ. Press, N. Y. (1970).
14. YOUNG, M. F. D., **Studiés in Science Education**. Vol 1, págs. 51-60 (1974).
15. PIAGET, J., **Biology and Knowledge**. Univ. of Chicago Press (1971).
16. PIAGET, J., **Structuralism**. Basic Books, Inc. (1970).
17. PIAGET, J. e INHELDER, B., **The Early Growth of Logic in the Child**. W. W. Norton and Co., Inc. New York (1969).
18. INHELDER, B. y PIAGET, J., **De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent**. Press Univ. de France (1974).
19. FULLER, R. G., KARPLUS, R., LAWSON, A. E., **Can Physics develop reasoning?** Physics Today, 30, 23 (1977).
20. PIAGET, J. e INHELDER, B., **Growth of Logical Thinking**. Basic Books, N. Y. (1958).
21. MCKINNON, J. W. y RENNER, J. W., **Are Colleges Concerned with Intellectual Development?** Am J. Phys., 39, 1047 (1971).
22. RENNER, W. y LAWSON, A. E., **Promoting Intellectual Development Trough Science Teaching**. Phys. Teach. 11, 273 (1973).
23. LAWSON, A. E. y BLAKE A. J. D., **AESOP report**, Lawrence Hall ot Science. Univ. of California en Berkeley (1974) (no publicado).
24. KARPLUS, R., KARPLUS, E., FORMISANO, M. y PAULSEN, A. C., **AESOP Report N.º ID-25** Lawrence Hall of Science, Univ. of California en Berkeley (1975) (no publicado).

25. BAUMAN, R. P., Proceedings of the AAPT Summer Meeting at Boulder, CO junio (1975) (no publicado).
26. KUHN, D., LAUGER, J., KOHLBERG, L. y HAAN, N. S., J. Genet. Psychol. (será publicado).
27. ARONS, A. y SMITH, J., Sci. Educ. **58**, (3), 391 (1974).
28. GRIFFITHS, D., Physics teaching: **Does it hinder intellectual development?** J. Phys. **44**, 81 (1976).
29. KOLODIY, G., J. Coll. Sci. Teach. **5**, 20 (1975).
30. LAWSON, A. E., NORDLAND, F., DE VITO, A., J. Res. Sci. Teach **12**, 423 (1976).
31. TOMLINSON-KEASEY, C. A., Dev. Psychol., **6**, 364 (1972).
32. ARONS, A. B. y KARPLUS, R., **Implications of accumulating data on levels of intellectual development.** Am. J. Phys. **44**, 396 (1976).
33. MCKINNON, J. W., Conferencia. Univ. de Oklahoma (1970), citado en (21).
34. LAWSON, A. E., **Relationships of Concrete and Operational Science Subject Matter and the Developmental Level of the Learner.** Artículo presentado en la National Association for Research in Science Teaching Convection. Chicago, abril (1974).
35. HERRON, J. D., **Piaget for Chemists.** J. of Chem. Educat. **52**, 146 (1975).
36. BAEZ, A. V., **L'impact de la technologie de l'éducation sur l'enseignement de la physique.** Conference international sur l'Enseignement de la Physique. Edimbourg, julio-agosto (1975).
37. LEWIS, J. L., **Teaching School Physics.** Penguin, Harmondsworth, U. K. (1972).
38. MOCHE, D. L., **Audiovisual Aids for Astronomy and Space Physics at an Urban College.** Phys. Teach. **11**, 409 (1973).
39. REID, W. M. y ARSENAU, D. F., **Labs of Unlimited Scope.** Am. J. Phys, **39**, 271 (1971).
40. WOODMAN, CH. A., **The Influence of Selected PSSC films on Certain Learning Outcomes in The Teaching of High School Physics.** J. Res. Sci. Teach **9**, 271 (1972).
41. BORK, A. M., **The Harvard Project Physics Film Program.** Phys. Teach., **8**, 163 (1970).
42. MILLER, F. Jr., **A Long Look at the Short Film.** Am. J. Phys., **39**, 4 (1971).
43. HERBERT, D., **The inquiry Approach in 16 mm. Sound Films.** Sci. Teach. **38**, 39 (1971).
44. FLECHON, J., **Presentation d'un choix de films pour l'enseignement de la physique.** Bull de l'Union des Physiciens, n.º 533, pág. 663-698 (1971).
45. ROGER, C., **Le dessin animé et le film des Sciences Physiques.** Saint-Cloud, C. A. V. (1971).
46. NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **Released Instructional films and kinescopes.** Washington (1966).
47. MILLER, F., Jr., **Single concept films in physics.** Am. J. Phys., **33**, 806 (1965).
48. COMISSION ON COLLEGE PHYSICS. **Short films for physics teaching.** A catalogue College Park, Univ. of Maryland (1968).
49. COMISSION ON COLLEGE PHYSICS. **Production an use of single concept films in physics teaching.** College Park, Univ. of Maryland (1967).
50. SILBERMAN, C. E., **Crisis in the Classroom.** Random House, N. Y. (1970).
51. SKINNER, B. F., **The Science of Learning and The Art of Teaching.** Harward educ. Rev., **24**, 86 (1954).
52. Skinner, B. F., **Teaching Machines.** Science, **128**, 969 (1958).
53. DECOTE, G., **La enseñanza programada.** Ed. Teide (1966).
54. FERNANDEZ, L., **Aportaciones a la Autodidáctica de la Física.** Tesis doctoral. Universidad de Valladolid (1975).
55. LEBOUTET, L., **L'enseignement de la physique.** Col. SUP. Pres. Univ. de France (1973).

56. LE MARNE, A. E., **Evaluation of a group controlled audio-visual System of programmed Learning.** Phys. Educ. **7**, 218 (1972).
57. LANG, J. y DIOS, J., **The programmed teaching of electricity.** Fiz. Tan., **8**, 59 (1969).
58. SCHUSZTER, F., **The entrance manual of physics.** Research Centre of Higher.
59. BUSSOLATI-RIMINI. **Esperimenti di istruzione programmata con televisione a circuito chiuso, in relazione alla realizzazione di corsi universitari.** Il Giornale di Física, **12**, 124 (1971).
60. MOLLEDO, P., **Un exerimento di insegnamento programmato.** Il Giornade di Física, **11**, 131 (1970).
61. PESSETTI, **L'impiego del «pacchetti» nell'insegnamento della fisica.** La Física nelle scuola, V., N.º 1 (1972).
62. SALACH, J., **Próba programowego nanczania optyki geometrycznej.** Fizyka w szkole, n.º 6 (1967).
63. MUSTER, D., CHIRITESCU, S., CORUTIU, M. y TIRCA, L. D., **Lectii eu elemente de învă-tămînt programat in fisică.** Revista de pedagogie, **22**, 5 (1973).
64. SUTTON, R. A., **The School-University Physics interface Project.** Phys. Educ. **7**, 212 (1972).
65. COLLIGAN, R. B., **The Construction and Evaluation of a Programmed Course in Mathematics Necessary for Success in Collegiate Physical Science.** J. Res. Sci. Teach, **6**, 358 (1969).
66. MORIBER, G., **The effects of Programmed Instruction in a College Physical Science Course for Nonscience Majors.** J. Res. Sci. Teach, **6**, 214 (1969).
67. BUTLER, L. e INONE, K., **Media Programmed Learning Systems.** Phys. Teach, **10**, 20 (1972).
68. UNESCO PILOT PROJET ON THE TEACHING OF PHYSICS. Report of this proyect Unesco. Paris (1967).
69. MATTSON, J. S., et al., **Computer-Assisted Instruction in Chemistry.** Vol IV, New York, Marcel Dekker. Inc (1974).
70. ZINN, K. L. y MCLINTOCK, S., **A guide to the literature and interactive use of computers for instruction.** Stanford, Eric Clasinghouse on Media and Tecnology (1970).
71. KORNHAUSER, A., **Computer-assisted instruction in Chemical Education.** Two Symposia on Chemical Education. Madrid (1975).
72. HAUSCOMB, J. R. y ARBIB, P. S., **An audio-tutorial project in Physics.** Aust. Physicist, **8**, 173 (1971).
73. BUTZOW, J. W. y PARE, R., **How to Develop and Use Audio-Tutorial Instruction in Secondary School Science.** Sch. Sci. Math. **73**, 735 (1973).
74. NORDLAND, F., KAHLE, J. y HUGH, V., **A Practical Approach to an Audio-Tutorial System.** Sch. Sci. Math., **72**, 673 (1972).
75. SANDIN, T. R., **An Inexpensive Audio-Tutorial System.** Phys. Teach, **11**, 172 (1973).
76. THORSLAND, M. et al., **The Use of Audio-Tutorial methods in introductory Physics at Cornell University.** Eric Document, 059038 (1971).
77. MAYER-PANI, **Un experimento didáctico del tipo multi-media.** Il Giornale di Física, **13**, 276 (1972).
78. BUTZOW, J. y PARE, R., **Physical Science: A Multi-Media Facilitated Course.** J. Coll. Sci. Teach., **2**, 29 (1972).
79. BLACK, H. T. y POORMAN, L. G., **Multimedia Systems Approach College Physics Laboratories.** Sch. Sci. Math., **70**, 277 (1970).

80. BRANSON, R. K., **Formative Evaluation Procedures Used in Designing a Multi-Media physics Course.** Eric Document 050 140 (1971).
81. BAEZ, A. V., **Evolution of a Concentrated, Media-activated Physics Course.** Am. J. Phys: **41**, 1.266 (1973).
82. BERMAN, A. I. y BAEZ, A. V., **Seminar/Autolecture Experiences.** Am. J. Phys., **38**, 313 (1970).
83. POSTLETHWAIT, S. N., NOVAK, J. D. y MURRAY, H. T., Jr., **The Audio-Tutorial Approach to Learning,** Minneapolis. Minn.: Burgess Pubb. Co (1972).
84. MINTZ, J. J., **The AT approach 14 years later: a review of the research.** Jour of College Science Teaching **4**, 247 (1975).
85. FISHER, K. M., **AT Science Teaching: how effective is it?** BioScience **26**, 11, 691 (1976).
86. KULIK, J. A. y JAKSA, P., **A review of research on PSI and other educational Technologies in College teaching.** Report n.º 10; Center for Research on Learning and Teaching. Ann Arbor MI, mayo (1977).
87. KELLER, F. S., **Good-bye Teachers.** J. Appl. Behav. Anal, **1**, 79 (1968).
88. HENDERSON, W. T. y WEN, S., **Effects of immediate positive reinforcement on undergraduates course achievement.** Psychological Reports, **39**, 568 (1976).
89. KULIK, J. A., KULIK, C. L. C. and SMITH, B. B., **Research on the personalized System of instruction.** Programmed Learning and Educational Technology, **13**, 23 (1976).
90. GREEN, B. A. J., **Physics teaching by the Keller Plan at MIT.** Am. J. Phys. **39**, 764 (1971).
91. ELTON, L. R. B., BOUD, D. J., NUTTAL, J. y STACE, B. C., **The Keller plan experiment at Suarrey.** Chemistry in Britain, **9**, 164 (1973)
92. BOUD, D. J., **Self paced courses in the United Kingdom.** Trabajo presentado en la National Conference on Personalized Instruction, abril (1974).
93. SHERWOOD, M., **Educational Innovators.** New Sciences, **7**, junio (1973).
94. BOUD, D. J., BRIGDE, W. A., MAASS, P. y STACE, B. C., **A potenciality of the Keller plan in the tranfer of courses.** Phys. Educ. **10**, 380 (1975).
95. MOREIRA, M. A., **The use of the personalized System of Instruction in a introductory College Course in Physics during four consecutives semesters;** Invited working paper for the International Conference on Physics Education. Univ. of Edinbourgh. Scotland, julio-agosto (1975).
96. MAKURANE, P. M., **The Self-paced modular Systems of teaching year 1 (or2) Courses.** International Conference on Phys. Education. Univ. of Edinbourgh, Julio-agosto (1975).
97. SHERMAN, Y. G., **Personalized System of Instruction: 14 Germinal Papers.** Ed. I. y J. Sherman (Benjamin, Menlo Park, C. A. 1974).
98. MALONEY, D. P., **Group problem-soving sessions in PSI physics courses.** Am. J. Phs., **46**, 681 (1978).
99. SKOVE. M. J., **Note on the use of PSI in low-enrollment third and fourth year Physics courses.** Am. J. Phys., **46**, 683 (1978).
100. HEDGES, L., **Personalized introductory courses: A longitudinal study.** Am. J. Phys. **46**, 207 (1978).
101. VAN WINKLE, L. J., **A Keller Plan Grade Distribution without the Keller Plan.** Jour. Chem. Ed., **54**, 574 (1977).
102. SILBERMANN, R., **The Keller Plan: A Personal View.** J. Chem. Educ. **55**, 97 (1978).
103. CASANOVA, J., CASANOVA, C., FERNANDEZ, L. y VILLAMAÑAN, M. A., **Teaching Thermodynamics to physics student using the Keller Plan.** European Jour of Sci. Educ., **1**, 65 (1979).

ACABOSE DE IMPRIMIR ESTE DISCURSO DE APERTURA
DEL CURSO ACADEMICO 1979-80, DE LA UNI-
VERSIDAD DE VALLADOLID, EL DIA 28
DE SETIEMBRE DE 1979, EN LOS
TALLERES DE LA EDITORIAL
«SEVER-CUESTA», DE
VALLADOLID