

EL DESARROLLO DE PROGRAMAS EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

P.L. Lijnse, Centre for Science and Mathematics Education, Université d'Utrecht, Pays Bas

Introducción

En el prefacio de su célebre obra « *The Process of Education* » (1960), el psicólogo Bruner escribió sobre la convicción de estar en el comienzo de un periodo de un nuevo progreso y de interés relativo a la creación de programas y de métodos de enseñanza científica. Considera que una evaluación de este progreso e interés pueden permitir guiar mejor los desarrollos futuros.

En esta época, pareciera que un cierto optimismo se expande en otros países, conduciendo a una onda bien conocida de programas de los años sesenta y setenta que inundó el mundo de la educación científica. Hoy 35 años más tarde, parece oportuno mirar este periodo del pasado, y preguntarnos cuáles son los progresos resultantes de este desarrollo de programas y de las investigaciones asociadas.

Para guiar esta reflexión, puede ser instructivo mirar en detalle lo que ha sido considerado como los principales problemas y perspectivas en 1960. Resumamos en principio brevemente algunas de las principales conclusiones de Bruner.

En lo que concierne a la “importancia de la estructura” enunció que: “...para un sujeto dado, el programa debería ser definido por las nociones fundamentales que emanan de los principios subyacentes estructurando el sujeto en cuestión. Enseñar temas específicos o de competencias, sin clarificar su contenido en la estructura fundamental del dominio del conocimiento, se revela poco rentable a muchos títulos. En primer lugar, una tal enseñanza resulta excesivamente difícil al estudiante, la generalización de lo que aprendió a lo que se enfrentará mas adelante. En segundo lugar, el aprendizaje que no llega a atender los principios generales tiene poca oportunidad de llegar a un interés intelectual (...). Tercero, el conocimiento adquirido, sin la estructura suficiente para ser puesta en relación, será muy fácilmente olvidado.

Por cuanto que la selección de los contenidos está concernidoa, esta idea de insistir en la “estructura de la disciplina” parece corresponder a lo que los físicos teóricos estiman habitualmente importante en la enseñanza de su dominio. Bruner agregó sin embargo una argumentación psicológica a esta proposición de base.

En relación a un segundo tema, la “disposición de aprender”, Bruner avanza su célebre y muy controversial hipótesis según la cual es posible enseñar de manera eficaz bajo una forma intelectualmente honesta a cualquier niño, sin importar el dominio, ni el estadio de desarrollo. Se considera que esta hipótesis pone en juego tres aspectos: el proceso de desarrollo intelectual del niño, el acto de aprendizaje (en particular el acto de “descubrimiento”) y la noción de “programa en espiral”. Desde entonces, estos aspectos han recibido una atención considerable en el desarrollo de programas, como lo vamos a contatar.

Un tercer tema de Bruner es el relativo al hecho que “en muchos aprendizajes de la escuela y en los exámenes, el acento es puesto en las formulaciones explícitas, sobre las capacidades de

los alumnos en reproducir formulas literales o numéricas. En la ausencia de investigación, no es evidente que este acento sea desfavorable al desarrollo ulterior de una buena comprensión intuitiva, además que lo que constituye una comprensión intuitiva tampoco está muy clara.

Él anuncia que “normalmente el pensamiento intuitivo responde a la familiaridad con el dominio de conocimiento en juego y con su estructura”. Cualquiera que sea la complementariedad de la naturaleza intuitiva y analítica del pensamiento debería ser reconocida”, y en particular “el formalismo del aprendizaje escolar tiene de alguna manera devaluada la intuición.

¿Entonces, qué hacer con ella? Es lo que la enseñanza de ciertos procesos heurísticos podrían favorecer el pensamiento intuitivo? Por ejemplo, Es lo que se debería explícitamente enseñar a los alumnos que “cuando no legamos a ver cómo tratar el problema, se intenta simplemente de pensar en un problema similar más simple; utiliza enseguida el método empleado para resolver el problema más simple como un plan para resolver el problema más complicado?”. En estas aserciones, se puede ver una prefiguración de un viraje cognitivo que la psicología tomó después de los años sesenta, y que a influido mucho la investigación en didáctica de la física.

Para introducir el cuarto tema, el autor afirma que “evaluando lo que debe ser hecho para mejorar el estado del arte de los programas, es inevitable llevar a la discusión la naturaleza de las motivaciones en el aprendizaje y de los objetivos que se pueden esperar obtener educando a la juventud”. Esta discusión es pertinente para todos los niveles en juego, desde el profesor como individuo y el alumno en clase de física, hasta el rol general de la enseñanza de la física en la sociedad. Así, este tema amerita siempre una atención especial.

Finalmente, en lo que concierne a las “ayudas a la enseñanza”, la conclusión es que “la tarea de la enseñanza como alguien que comunica, que es un modelo y una figura de identificación puede ser facilitada por la utilización de una gran variedad de medios que refuerzan la experiencia, la clarifica, y le da su significación personal”. Cuando comparamos el computador personal con la “maquina d enseñar” de los años sesenta, se puede ver cuanto este tema, desde que Bruner escribió este libro, a adquirido una significación completamente nueva en la enseñanza de la física.

Es impresionante el darse cuenta de cuanto de lo que se ha presentado adelante se aplica siempre desde nuestros días. En el desarrollo de los programas de física y en las investigaciones sobre la enseñanza, se debate siempre con esas mismas dificultades. Sin embargo, en los últimos 35 años, se ha hecho mucho trabajo. La mayoría de los progresos que han sido realizados, si se pueden llamar así, deberían aparecer en la lectura de este libro.

En este capítulo, yo me limitaré a las principales experiencias relativas al desarrollo de los programas de física (tal como los considero). Numerosas preguntas pueden surgir. Por ejemplo, ¿Se enseñan hoy en día (o siempre) la estructura de las disciplinas, como lo preconizaba Bruner? ¿Se adaptan los programas al desarrollo intelectual de los niños? Y si este es el caso, ¿De qué manera? ¿Es siempre el aprendizaje por descubrimiento sobre una lista de estrategias de enseñanza corriente en física? ¿Cuáles son los fines y objetivos que se definen hoy en día? Y cómo se abordan los problemas de la motivación para aprender?

Tratando ciertas de estas preguntas, se estructura la descripción según tres elementos directores: Los fines y los contenidos, la enseñanza y el aprendizaje, y los tipos de desarrollo y de aplicación de los programas.

Como lo sabemos todos, la enseñanza de la física no es una constante, es más bien una variable. Cambia en relación directa con los desarrollos de la sociedad de la cual hace parte, con las evoluciones de los puntos de vista de la sociedad sobre la educación y las ciencias y con las evoluciones de la física y de la tecnología misma (Lijnse, 1983). Después de la escritura de los manuales escolares tradicionales, el desarrollo profesional de los programas apareció como un medio para adaptar la enseñanza a estos cambios perpetuos. A pesar de que esto no sea habitualmente considerado como una investigación en sí, ha conllevado al desarrollo de numerosas investigaciones (Fensham, 1994).

Objetivos y contenidos

“La estructura de la disciplina”

El primer gran proyecto, el curso de física PSSC, en principio destinado a aquellos alumnos de un nivel escolar adecuado que tenían la posibilidad cierta de acceder a la educación superior (French, 1986), tuvo una influencia internacional considerable (PSSC 1960). Como lo describe Matthews (1994): “su intención era la de centrarse en la estructura conceptual de la física, y de enseñar el sujeto como una disciplina: Las aplicaciones estaban casi totalmente ausentes en el texto. La presión del aire, por ejemplo, no aparece mencionada en el índice, esta es tratada en el capítulo “la naturaleza de los gases”, y el capítulo se desarrolla enteramente sin citar los barómetros o las máquina a vapor, el primero de los mencionados hace su aparición sólo en las notas del capítulo”. El tipo de enseñanza del PSSC incluye un gran número de experiencias, cuyo objetivo es de hacer del alumno “un científico del día”. Esta última característica parece aplicarse aún más en el influyente proyecto inglés Nuffield-Physics (O-nivel, de 11 a 16 años; A-nivel de 16 a 18 años). Estos proyectos, de manera diferentes, están generalmente centrados en la estructura disciplinaria de base (ogborn, 1978). Como Rogers (1966), quien fue al inicio del Nuffield de física para el 0-nivel, indica: “ para las cosas que se enseñan, se deberían escoger sujetos de utilización variada. Yo no quiere hablar de aplicaciones prácticas, más bien se hace necesario hablar de nexos con las otras partes de la física. La ciencia debería aparecer ante nuestros alumnos como una estructura creciente de saberes, en la cual un fragmento que ha sido aprendido reaccione con los otros fragmentos para construir un saber más completo.

El proyecto para el O-nivel plantea “enseñar para comprender” y a “una física para todos” (“un curso apropiado la educación general del hombre o de la mujer”). Ulteriormente sin embargo, se ha tomado conciencia que estos programas no estaban verdaderamente adaptados a “la física para todos”, sin embargo convenían más a los alumnos más dotados de las especialidades científicas. Así, la racionalidad de tales programas estaban mejor descritos en la posición de Rogers “la física para los espíritus curiosos”.

Uno de los aspectos particulares de estos programas es que ellos han jugado un rol ejemplar en su manera de abordar el problema de la puesta al día de la enseñanza de la física desde un punto de vista disciplinario, y más particularmente en relación con el problema de la enseñanza de la “física moderna”. French describe algunos de los principios seleccionados por el PSSC de la manera siguiente: Se insiste en las características más fundamentales y universales de la descripción de la naturaleza por parte del físico, tales como el dominio del

orden de magnitud y de los efectos del cambio de escala. Se debería tener un tema unificador en la presentación de un sujeto, como el de la descripción atómica y particular del universo. Por otra parte en el interés de llegar a tratamientos profundos, fueron omitidos dominios sustanciales de la enseñanza tradicional (como el sonido). Y como lo señalan los que desarrollaron el proyecto Nuffield A-nivel: “una de nuestras decisiones esenciales ha sido sacrificar grandes campos de conocimientos con la idea de comprender un campo más limitado”. En efecto, siguiendo este principio, se llegó a desarrollar introducciones a temas como la física cuántica, la mecánica estadística y la electrónica (a nivel “avanzado”).

A pesar de la considerable influencia internacional de estos proyectos, y de otras innovaciones similares que han sido aplicadas por numerosos países (GIREP, 1973; Aubrecht, 1987; Fischler, 1993), aún no se ha podido obtener una verdadera conclusión. Se piensa que a nivel de la enseñanza secundaria, el problema didáctico del por qué, qué y cómo incluir la física moderna no ha sido resuelto de manera satisfactoria. Tanto más que, del hecho de las evoluciones rápidas de la física, no llegamos a tratar sino solamente las ideas básicas de la física cuántica y de la relatividad. Existen otros temas que son necesarios ser incluidos en los programas, como la teoría del caos, la física de la materia condensada, física computacional, las altas energías y la cosmología (GIREP 1995, 1993, 1991, etc.). En efecto, esta rápida evolución lleva a los programas de física a experimentar una presión continua, con un riesgo real de ser saturados cada día más. De acuerdo a esta consideración, en razón de su naturaleza fuertemente jerárquica, la estructura de la física puede ser considerada no solamente como una guía para los programas, sino también en cierta medida como un obstáculo, puesto que ella da siempre los indicios de lo que debe ser incorporado, más de lo que debe ser dejado a un lado.

Así, pareciera no existir consenso en la manera de tratar esta presión en los programas. A la vista del tiempo necesario para alcanzar la comprensión, Arons (1990), por ejemplo, siempre ha aceptado algo tal como que el átomo de Bohr puede ser un punto final en un curso introductorio de física. “Lo que me parece factible y altamente deseable en un curso introductorio de física es de llegar a lo que ha sido comprendido al comienzo del siglo veinte: los electrones, los fotones, los núcleos, la estructura atómica y (podría ser) los primeros aspectos cualitativos de la relatividad”. Inclusive para ello, se deben hacer selecciones muy difíciles: “Para tener éxito en esto, es imposible incluir todos los sujetos tratados habitualmente en un curso introductorio de física. Se deben dejar algunas lagunas, a pesar de que ello podría parecer lamentable. ¿Cómo decidir en lo que no se debe tomar en cuenta? Uno de los medios, a mi conocimiento, sería definir lo que se llama “el hilo conductor de la historia”. Si se desea, digamos explicar el átomo de Bohr, se deben identificar en principio los conceptos fundamentales y sujetos de dominio de la mecánica, de la electricidad, y del magnetismo que permitirán comprender las experiencias y los razonamientos que definen el electrón, el núcleo atómica y el protón. El hilo conductor de la historia seleccionado permitirá desarrollar los niveles necesarios y dejará de lado los sujetos innecesarios a la comprensión del aspecto planteado. Para los alumnos que siguen estudios de física, esas lagunas deberán ser reconocidas, aceptadas, guardadas en memoria y consideradas en cursos ulteriores”.

Desde mi punto de vista, el problema de cómo un programa de física como un todo comporta un conjunto de hilos conductores fuertemente ligados y que uno desarrolla poco a poco, necesita, sin embargo, una atención renovada (Ogborn, 1978). En otros términos, debemos una vez más preguntarnos cómo la estructura de la física (en sentido amplio) puede ser

arreglada en una estructura de programa que se pueda enseñar más fácilmente (de Vos et al., 1994).

Un proceso y los procesos

En los proyectos mencionados arriba, la atención se inclina esencialmente hacia los “procesos de la física” y en el hecho de dejar experimentar a los alumnos el “proceso de descubrimiento (o de la investigación)”. En el manual del PSSC “la física es presentada no como un simple conjunto de hechos, sino fundamentalmente como un proceso continuo por el cual el hombre busca comprender la naturaleza del mundo físico”.

Pero los alumnos no deben solamente aprender un proceso sino todos aquellos que han recorrido los “grandes” físicos, ellos deben igualmente hacer la experiencia que implica este proceso. Para citar una vez más a Rogers (1996): los trabajos prácticos no son solamente para aprender el contenido efectivo, sino también para que los alumnos puedan construir un reporte personal del trabajo científico, con sus alegrías y penas. Ellos tienen necesidad de ser confrontados a sus propias dificultades al igual que cualquier otro científico profesional y de saborear sus propios éxitos, para que la relación del saber científico a la experimentación sea algo que comprendan fehacientemente.

Así, se podría decir que esta insistencia sobre los procesos está justificada en primer lugar por razones internas. Es una parte de la comprensión de la física conocer cómo es producido el saber y cómo se desarrolla. Y como la física es una ciencia empírica, se considera que una parte inherente de ella es de aprender la naturaleza descubriéndola, planteando hipótesis, probando y experimentando por si misma, es decir, que los alumnos aprendan la física haciendo física. La utilización de los trabajos prácticos en la enseñanza de la física ha crecido considerablemente y ha llegado a ser una parte integrante de muchos programas y de textos. Esta tendencia se ha desarrollado de tal manera que el aprendizaje del saber hacer experimental parece a veces devenir un objetivo en si mismo, casi sin relación con el objetivo de la experimentación, es decir el desarrollo de nuevos conocimientos (Woolnough and Allsop, 1985, Woolnough, 1989; Hegarty-Hazel, 1990; Hodson, 1993).

A partir de investigaciones sobre el aprendizaje de la física, es muy evidente que la idea original del aprendizaje por descubrimiento era un poco ingenuo (Driver, 1983). Por otra parte, el aprendizaje de la física por la acción ha adquirido una dimensión suplementaria en razón de las posibilidades de modelización de los “mundos artificiales” que han visto el día gracias a los medios informáticos (Mellar et al. , 1994).

Regresando a la historia, otro proyecto americano, que recibió un gran reconocimiento internacional, El Harvard Project Physics (1970), se centró en el proceso interno de la física y se posicionó en una perspectiva intelectual mucho más larga puesto que las influencias externas eran igualmente tomadas en cuenta. Según las celebres palabras de Rabi: Yo propongo de enseñar la ciencia sin importar el nivel, de lo más débil a lo más elevado, de manera humanista. Ella debería ser enseñada en un proceso de comprensión histórica, con una aprehensión de los aspectos sociales y humanos en el sentido de la biografía, de la naturaleza de la gente habiendo participado en esta construcción, triunfos, ensayos, tribulaciones”. Por esta insistencia particular, este proyecto esperaba incluir un gran número de alumnos (y particularmente alumnas). Desde el punto de vista del físico, este proyecto desarrolla materiales de enseñanza extraordinarios. Sin embargo, este proyecto no llegó a tener un éxito significativo en la atracción de alumnos (French, 1989): durante largo tiempo, su

aproximación histórica y filosófica pareció no haber sido adoptado por un pequeño número de docentes. Fue recientemente que este programa, centrado en la historia y la filosofía, adquirió un nuevo impulso (Mathews, 1994). La naturaleza de la física, y más particularmente estos aspectos históricos, epistemológicos y metodológicos, han sido actualmente integrados poco a poco como una parte normal de los programas de física (Aikenhead, 1991; Salomón, 1991). En Inglaterra, han sido incluidos en los programas nacionales preconizados, mientras que, por ejemplo, en los países bajos, un nuevo programa toma en cuenta esta perspectiva y lo desarrolla en el “general science” (*la enseñanza general científica*).

Históricamente, esta perspectiva más general significaría que el énfasis era (parcialmente) realizado de una enseñanza a partir de las investigaciones hacia una enseñanza sobre la investigación. Un cambio aún más radical, desde mi punto de vista, resalta lo que Shulman y Tamir (1993) han llamado la enseñanza de la investigación. Esta etapa ha sido superada por una tercera posición influyente, desarrollada por el “U.S. Project” SAPA, que significa *Science A Process Approach* (La ciencia, una posición en términos de procesos). En los términos de la psicología de Gagné, este proyecto “lamenta la idea de “una posición por contenidos” del aprendizaje sobre hechos específicos o de principios relativos a una ciencia cualquiera o a un conjunto de ciencias. Por el contrario, la posición SAPA se apoya en la idea de hacer aprender a los niños del saber – hacer, relativos a los procesos, generalizables que corresponden a comportamientos específicos, pero que contienen la promesa de “una gran posibilidad de transferencia hacia otros sujetos.

El comportamiento científico ha sido analizado en los términos de su constituyente más simple, “el saber hacer científico relativo a los procesos” considerados como el objeto de un aprendizaje y de una enseñanza que contienen: observar, clasificar, medir, comunicar, hacer inferencias. Aún así continúa el debate relativo a la insistencia sobre el saber científico y/o los procesos científicos (Millar y Driver, 1987). Hoy más que nunca, se trata de un debate de actualidad al extremo que muchos psicólogos cognitivos toman el aprendizaje del “saber hacer general” de una manera más amplia (y no solamente el saber hacer científico, ver más abajo), no solamente como un objetivo en sí mismo, sino también, como lo ha propuesto Gagné, como el medio apropiado de hacer cara a la amenaza ya mencionada de la “elefantiasis” de los programas.

Ampliación de los objetivos

Como se ha indicado anteriormente, han aparecido últimamente los programas que están centrados en la física como disciplina, en su razonamiento y sus exigencias cognitivas (ver a continuación), como más adaptados a los alumnos dotados de un interés por la ciencia que en la llamada “física para todos”. Esto implica carencias en estos programas para los alumnos menos dotados y para aquellos que demuestran menos interés por la ciencia. Para estos últimos, han sido desarrollados una ciencia, (más) integrada y proyectos de tecnología (ver por ejemplo Brown, 1977). Estos pueden ser interpretados, en el espíritu de este periodo, como el paso de un punto de vista centrado en la disciplina a otro centrado en la educación del alumno. Uno de los principales argumentos subyacentes a la ciencia integrada era que la separación entre disciplinas distintas no coincide con la manera como los alumnos experimentan el mundo (no obstante, como Black (1985), la defendió, los alumnos no experimentan más el mundo como lo presenta una ciencia integrada). De este hecho, esta ciencia integrada ha sido puesta en aplicación en numerosos países, a pesar de que parecieran volver a una ciencia coordinada. En otros países ha habido resistencia a esta tendencia negándose a adoptar esta tendencia.

Los primeros proyectos tecnológicos fueron principalmente desarrollados como actividades suplementarias a los programas de física, reflejando una visión de la tecnología como una aplicación de la física (por ejemplo, Schools Councils, 1975). Hoy en día esta visión de la tecnología no es considerada adecuada, lo que acarrea una emancipación gradual de la tecnología a ser considerada como una materia aparte de la escuela (Layton, 1993).

En los años setenta, otra tendencia fue poco a poco desarrollada hasta lo que hoy en día es llamado STS (ver por ejemplo Solomon y Aikenhead, 1994), este acrónimo puede ser unido a un número considerable de posiciones diferentes. Una de ellas concierne a la reflexión explícita sobre la relación entre ciencia, tecnología y sociedad (por ejemplo, el proyecto de la English Science Society SiS), que insiste sobre las aplicaciones y los contenidos de orden social). Otra posición da más importancia a la pertinencia de los contenidos para los alumnos, enseñando la ciencia de la vida cotidiana y los sujetos relativos a este contexto (por ejemplo, el proyecto Duth PLON para la física; Satis, 1992). De manera general, las dos posiciones son conocidas como “la ciencia para el ciudadano” y “la ciencia para la acción”, o la ciencia (física) contextualizada.

El proyecto SiS es un ejemplo en el cual la dimensión social es tratada como un agregado al programa tradicional. En el Proyecto PLON por el contrario, la consideración de los aspectos sociales de los contenidos científicos, “la física del consumidor” y otros contextos pertinentes para el alumno son integrados en los programas de física. Si, sin embargo, los límites del programa son tales que la física guarda su identidad como física “correcta”, esta posición puede dar nacimiento a una tensión considerable entre los saberes que parecen pertinentes para el contexto seleccionado y aquellos que son necesarios incluir en la perspectiva de la física. En otros términos, debe ser buscado el equilibrio entre la “estructura de la física” y la estructura de los contextos (Lijnse y al., 1990)

No obstante, las dos posiciones implican una ampliación de los objetivos tradicionales (Fensham, 1988), siempre en relación con la idea de una “ciencia para todos”, mismo si, en este contexto, esta expresión es interpretada de manera diferente que precedentemente. En relación con esta ampliación, en los años ochenta, numerosos temas como la educación relativa al ambiente y la tecnología de la información deben encontrar su puesto en los programas. El hecho que estos temas sean enseñados en el seno de la enseñanza tradicional de física o como sujetos separados ha sido y es siempre materia de discusión.

Numerosos problemas surgen desde un punto de vista social, como por ejemplo la adaptación de la enseñanza de la física a las necesidades de las chicas (Bentley y Watts, 1986) y a las necesidades de una sociedad pluri-cultural (Reiss, 1993). En efecto, ¿en qué medida podemos ampliar nuestros objetivos permaneciendo siempre en los límites de la enseñanza de la física? O ¿podría ser más perjudicial de suprimir la física de los usos del tiempo escolar?

Esto está igualmente en relación con otra tendencia que atrae hoy en día una gran atención, el nuevo acento sobre la cultura científica y tecnológica para todos, incluyendo medios extraescolares de educación para todos los públicos.

Aunque se está conforme, seguido de esta tendencia a la ampliación (el espíritu de fin de los años 70 y del comienzo de los años 80), se observa el diseño de una nueva tendencia centrándose en la física para el “ciudadano”, y más en la utilidad de la física en la educación de una mano de obra altamente calificada (en el espíritu de fin de los años 80 y los 90). Las cualificaciones profesionales son formuladas y la enseñanza de la física es requerida para

contribuir en la adquisición de las cualificaciones. En consecuencia, se observa aun un cambio en las discusiones de los programas, caracterizado por el paso de una atención centrada en el alumno y sobre la pertinencia a una atención centrada en el “cliente” y la realización, con una atención particular para los niños mejor dotados. Esta tendencia puede conducir a una presión reduciendo los contenidos de los programas de física a su “nudo duro” (describe de manera preferencial en objetivos de adquisiciones que pueden ser evaluados regularmente). Sin embargo, el contenido de este “nudo duro” no es decidido por los físicos teóricos “puros” o por los docentes de física (como en el pasado), sino por aquellos que constituyen el “mercado” para lo cual educamos nuestros alumnos (como los empleadores y los institutos de enseñanza superior).

Esto es un pasaje muy breve y muy subjetivo de cuarenta años de discusión relativos a los objetivos y contenidos de los programas. ¿Qué podemos concluir de esta descripción? Aparentemente, la enseñanza de la física ha experimentado aún hoy en día, un flujo continuo de innovaciones concebidas por “todo lo alto”. Una primera conclusión evidente podría ser que, en las sociedades en perpetual evolución con puntos de vistas diferentes sobre la educación, temas similares surgen por olas regulares, por lo mismo que los objetivos y los contenidos están referidos. ¿Debemos, sin embargo concluir que la enseñanza de la física se sitúa en un movimiento ascendente en espiral que podemos llamar de una cierta manera “progreso” (como lo esperaba Bruner)? O ¿debemos concluir que la enseñanza de la física gira casi como una serpiente mordiendo regularmente su cola? O es que esta situación de progreso se sitúa simplemente en la “categoría de los errores” como el profesor de matemática Freudenthal (1990) lo indicaba: “Una vez, después de una entrevista, me pregunté si yo pensaba que estas tentativas de innovación habían mejorado la enseñanza, dudé un momento, y me dije que en efecto esto no era una buena pregunta”. Los flashes de la enseñanza, considerados en momentos diferentes de la historia, no son comparables. En un periodo dado, cada sociedad tiene la enseñanza que quiere, de la cual tiene necesidad, de los medios que dispone, que se merece y que es capaz de dar. La innovación no puede producir otros efectos que la de adaptar la enseñanza a la sociedad en evolución, o mejor aun, ella puede intentar anticipar sus evoluciones. Esto es ya un poco difícil. Antes de ir un poco más lejos en esta cuestión, miremos en principio las consideraciones sobre los programas que resultan de las investigaciones sobre la enseñanza (de la física) y sobre el aprendizaje.

Enseñanza y aprendizaje

Behaviorismo y Piagetismo

En los párrafos precedentes, no me centré en la manera de enseñar y de aprender ni sobre la influencia de las investigaciones en este aspecto del desarrollo de los programas. Se presentaron solamente grandes trazos de este aspecto.

En los años 50 y 60, el punto de vista psicológico dominante en educación era el behaviorismo. Este estaba centrado en la formulación de objetivos y de metas de la educación. Distinguía el conocimiento y el saber hacer y estaba organizado en jeraquías y taxonomías de aprendizaje (Bloom, 1956). En efecto, la propuesta de Gagne mencionada anteriormente es

un ejemplo de este punto de vista (SAPA, 1968). La instrucción programada y las maquinas de enseñar evolucionaron hacia sistemas de estudio adaptados al ritmo del individuo y hacia aprendizajes dominados (Bloom, 1971; White, 1979). A pesar de los reportes de investigación relativos a su exitosa puesta en plicación, estas propuestas desaparecieron poco a poco, a pesar de que de cierta manera, han reaparecido recientemente en gran parte de la enseñanza asistida por ordenador.

Segun esta posición, sería preferible divisar el proceso de enseñanza en etapas cada vez más pequeñas, dejando por supuesto la secuencialidad de los contenidos siguiendo la estructura “lógica” den la diciplina. En este sentido, en el behaviorismo, el contenido de los programas no es una variable y tiene una debil unión con el desarrollo de la “didáctica de la física”. Su contribución duradera a la enseñanza de la física no fue nada espectacular.

Otra posición psicológica que tuvo una gran influencia en la enseñanza de la física es el “piagecismo”. La recomendación de Bruner citado anteriormente, fue tomada seriamente en cuenta. La descripción de Piaget del pensamiento operacional concreto y formal fue y es hoy en día una guía global útil en la preparación de las secuencias de enseñanza. Otro, su influencia en numerosos proyectos de programas (donde algunos han explicitamente adoptado una prespectiva piageciana, como ASEP, 1974), la teoría de los estadios de Piaget dio lugar, principalmente en los Estados Unidos, a una profusión de estudios cuantitativos uniendo el desarrollo cognitivo de los alumnos a otras variables cuantitativas. Finalmente, este tipo de investigaciones parece hber tenido una pobre influencia práctica. Un empleo más útil de los estadios fue el utilizado por Gran Bretaña. Se trataba de una herramienta que permitía identificar las exigencias, excesivamente grandes, de numerosos (y recientes) programas, así como d un medio de adaptarlos a las capcidades supuestas de los alumnos en función de su edad (Shayer & Adey, 1980; Adey & Shayer, 1994). Sin embargo, esta investigación a jugado un rol importante par hacer “tangible” en qué medida y de qué manera el tipo de programa mencionando anteriormente de “físico por un día” tiende a sobreestimar las capacidades de alumno “cualquier”. Así, el piagecismo permitió pasar de la toma en cuenta del programa a enseñar como el solo punto de partida del desarrollo de este programa a la ntegración del desarrollo cognitivo de los alumnos. Esto significa que, desde el punto de vista piageciano, el contenido de los programas es considerado como una variable “estructural” que debe estar secuencialmente en concordancia con el “desarrollo lógico”.

Más tarde, los programas basados en las estructuras Piagecianas de razonamiento fueron elaboradas para ser puestas en práctica en sesiones específicas en el seno de programas de ciencia, donde la idea no era verdaderamente el mejoraiento del aprendizaje de la ciencia en sentido restringido, sino mas que todo los progresos del desarrollo cognitivo del niño (Afey, Shayer & Yates, 1989). Sin embargo, la significación real y las potencialidades de la teoría de los estadios de Piaget es siempre materia de debate. (Carey, 1985). Otro aspecto del Piagecismo, es decir sus fundamentos constructivistas (Bliss, 1995; Adey & Shayer, 1994) es menos cuestionado: La idea que un alumno construya esencialmente sus propios conocimientos actuando sobre el medio. Qunado esta idea fue presentada por primera vez, a dado una especie de fundamento psicológico al aspecto atractivo del “aprendizaje por descubrimiento” en la enseñanza de las ciencias, que se desarrolla según diferentes modos de “ciclos de aprendizaje”: exploración (tanteo), invención, descubrimiento (aplicación). Como se había indicado precedentemente, a pesar de que el aprendizaje por descubrimiento en sentido ingenuo ha desaparecido. El constructivismo está siempre presente.

Es difícil decir en qué el piagetismo ha contribuido solidamente a la didáctica. Es bueno destacar que la teoría de los estadios de Piaget no es mencionada en la literatura actual. A pesar de que la mayoría de la literatura era muy optimista en su valoración, se puede concluir que, hoy en día, la mayoría de las investigaciones están globalmente influenciadas por la teoría de los estadios de Piaget. O podríamos decir que las investigaciones en didáctica de la física no intentan desarrollar hoy en día las potencialidades de esta teoría (ver sin embargo a Lawson (1994) para una nueva interpretación).

El constructivismo

Este cambio puede ser puesto en relación con el crecimiento espectacular desde el fin de los años 70 de lo que he llamado “el constructivismo didáctico”. Por la utilización de este término, me refiero a lo que comenzó como un movimiento de “estructura alternativo”, como es en muchas veces denominado. Este movimiento puede ser aprehendido como teniendo raíces en los (primeros) trabajos de Piaget. En efecto, este es construido a partir de la manera como Piaget estudió el contenido de las ideas de los niños relativos a fenómenos específicos, más no a partir de su análisis en términos de estructuras lógico-matemáticas hipotéticamente subyacente que han conducido a la teoría de los estadios ya citados. Al comienzo, este enfoque sobre el razonamiento de los niños, específico de los contenidos, condujo a numerosos diagnósticos y de reportes de investigaciones descriptivas sobre toda suerte de ideas y de conceptos de los alumnos relativos a situaciones (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985). Después esta fue extendida a las ideas de los alumnos sobre las experiencias (Carey y al., 1991) sobre el aprendizaje y la enseñanza, y sobre su epistemología (Butler, Songer & Linn, 1991). Seguidamente fue aplicado para las ideas y las opiniones de los docentes (Tobin & al., 1990). La evolución de las concepciones de los alumnos y de los docentes han sido estudiadas igualmente, bien sea sobre una serie de lecciones o sobre un periodo de muchos años (Driver y al., 1994).

Paralelamente a estas tradicionales “implicaciones para la enseñanza” que parece ser un punto final obligatorio a muchas investigaciones, los estudios experimentales en clase han sido y son hechos para encontrar medios concretos para mejorar la enseñanza de ciertos sujetos o para encontrar estrategias de enseñanza mejores y más generales (CLIS, 1990). Tales estudios han mostrado claramente que este campo de investigación tiene implicaciones importantes para el desarrollo de programas que debe ser siempre realizado de manera óptima. Esto implica un cierto cambio de punto de vista sobre lo que pensamos de los programas. Como Driver (1989) lo escribe: “los programas no es lo que debe ser, más bien se debe considerar una programación de tareas de aprendizaje, de materiales y de recursos que permitan a los alumnos construir su modelo del mundo de manera de ponerlos lo más cerca posible del modelo de la ciencia en la escuela”. Una consecuencia importante de este punto de vista es que “los programas no son algo que puede ser planificado a priori, más bien deben ser objeto de investigaciones empíricas”.

Teóricamente la posición dominante en este paradigma es la relativa al “constructivismo y el cambio conceptual”. Numerosas investigaciones tienen por objetivos explicar los procesos de cambio conceptual en términos de proceso individual o social, y de encontrar estrategias generales que permitan que tales cambios se produzcan. Una parte de estas estrategias ponen el acento en el “saber – hacer intelectual de orden superior” y la metacognición (Baird & Mitchell, 1986). Esto refleja una fuerte adecuación con la psicología cognitiva actual. Numerosas discusiones sobre los meta niveles tienen lugar al momento del análisis de las opiniones divergentes sobre el constructivismo y las nociones sobre el conocimiento y la epistemología que le son asociadas (Matthews, 1995). En sí, este puede ser muy interesante,

pero no se piensa que haya realmente (¿aun?) conducido a progresos en la práctica de la enseñanza de la física.

Desde mi punto de vista, la importancia de este paradigma reposa en el hecho que, hoy en día, el aprendizaje de los contenidos de la física ha devenido una variable principal en las investigaciones en didáctica de la física. Los resultados de investigaciones no son solamente interpretados en una perspectiva psicológica lejana que es siempre considerada por los prácticos como algo prácticamente inutilizable, a pesar de que ella pueda ser pertinente. De acuerdo a mi experiencia personal, los resultados de investigaciones específicas sobre el contenido parecen tener mucha más atracción para los docentes, los didácticos y los diseñadores curriculares, por el hecho de que interrogan precisamente su nivel intuitivo de experiencia adquirida en la práctica.

Esta es aun una descripción muy general de las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje. ¿Es que estas investigaciones tienen una influencia en la práctica?, si la respuesta es si, ¿de qué manera? Las teorías principales han ciertamente influenciado los desarrollos de los programas precedentemente descritos. Escribiendo sobre el periodo precedente a comienzos de los años 80, White y Thiser (1986) concluyen de la manera siguiente: “la enorme cantidad de energía invertida en investigación no ha permitido constatar que los resultados tienen consecuencia en la práctica” ¿Es que la situación es diferente desde esta época?, o ¿es demasiado temprano para realizar un juicio? Como se ha dicho, la onda de trabajos sobre las concepciones ha recibido la atención de una larga audiencia de didácticos. Ella ha tenido igualmente impactos en la formulación de objetivos de adquisición de los programas, en el sentido que los conceptos deben ahora estar presentes por etapas progresivas. Mi impresión es que han sido realizados numerosos esfuerzos para hacer llegar el mensaje a los docentes (por ejemplo, CLIS 1990). No obstante, ¿cuál fue el mensaje? Hasta ahora, los docentes tienen la impresión que ellos no lo hacen muy bien, que no llegan a hacer comprender lo suficientemente bien lo que enseñan a los alumnos y que deberían considerar más las concepciones de estos. A primera vista, parece que el mensaje es un poco negativo, lo que permite comprender por qué los docentes no están siempre prestos a escucharlo. ¿Cómo podríamos hacerlo mejor? Las estrategias generales para el cambio conceptual no funcionan verdaderamente para los profesores de física, puede que ellas no pueden ser traducidas en prácticas concretas. Además, los investigadores no tienen aun mucho que ofrecer a este nivel (por ejemplo, Tobin & al. 1994), esto es una debilidad de la cual se está cada día más consciente (Fensham, Gunstone & White, 1994). Yo diría que esto es motivo de orgullo, puesto que sin ello, la investigación de la física corre de nuevo un riesgo de estancamiento después de un periodo fortificante.

Tipos de desarrollo de programas

Propuestas basadas en la universidad.

En las dos primeras partes, se describió las tendencias principales del desarrollo de los programas de física por eso es que los contenidos y los objetivos están implicados. En la tercera parte, se hace lo mismo para las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la física que ha tenido más o menos grandes implicaciones en el desarrollo de los programas. Siendo así, se puso implícitamente el dedo en el progreso mayor de los tipos de programas, en conjunción con los problemas de aplicación de los programas y de utilización de los resultados de investigación en la práctica. En esta parte, se elaboraría más explícitamente este tema, mi convicción que el progreso, previsto por Bruner, está íntimamente ligado a la manera como nosotros seremos capaces de resolver estos problemas en el futuro.

Sin embargo en primer lugar, se remarca la diferencia de escala de tiempo entre aquella, vasta, del desarrollo de los programas y aquella de la investigación fundamental” sobre la enseñanza y el aprendizaje. Los proyectos de programa deben siempre producir en un tiempo limitado material de enseñanza que pueda ser y será utilizado en las escuelas. En oposición, las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje señalan siempre un desarrollo de la comprensión a largo plazo que participaría en la construcción de una teoría aplicable. Una segunda remarca concierne la implementación de programas que establece ante todo la política de la educación. Por ejemplo, si la situación política de un país es tal que el gobierno decide aplicar un nuevo programa en todas las escuelas en una fecha determinada, la aplicación será necesariamente coronada de éxitos de manera cuantitativa, a pesar de que si en términos de calidad la situación puede parecer diferente. Otra situación extrema corresponde a una situación política tal que las escuelas o los docentes en tanto que individuos sean libres de escoger o no de adoptar un nuevo programa. Como las experiencias precedentes lo han mostrado, la aplicación de los programas será entonces otro problema.

La mayoría de los primeros programas fueron desarrollados por equipos de proyectos, con los cuales colaboraban físicos universitarios, especialistas en educación y profesores de física (por ejemplo, French, 1986; Raizen, 1991). Esto significaba un cambio fundamental en relación a los métodos tradicionales de escritura de manuales que relevan de uno o de dos autores, no practican forzosamente la física de los profesores experimentados. Al menos en los Estados Unidos, un axioma fundamental era que el perfeccionamiento de los programas necesitaba el reclutamiento de eminentes científicos (Raizen, 1991). O como Matthews (1994) lo escribe, los científicos han debido “tener forzosamente las riendas de la reforma de los programas, los profesores han debido ser los criados de cuadra y las facultades de educación han raramente sobrepasado las puertas de la cuadra”. El proyecto PSSC encarnaba el desarrollo “por lo alto: su máxima era: poner al profesor en prueba con la física”. Esta descripción pone el acento en el hecho que en general, el énfasis se refería principalmente a la puesta al día de los contenidos científicos y que la traducción de teorías generales sobre la enseñanza y el aprendizaje en material de enseñanza y de prácticas de clase resultó en un considerable “derrapaje”. (Como lo escribe Fensham), y que el rol de los docentes estaba restringido a “ensayar” y no a “participar”. Como lo señaló Wheel (1979): “los científicos estaban generalmente dudosos en aceptar la crítica de su “ciencia” por parte de los docentes de la escuela, al menos que se suministraran datos bien justificados y convincentes”.

Sin embargo, tales proyectos jerárquicamente oorganizados a partir de las alturas han desarrollado bellos, originales e innovadores materiales de enseñanza, tanto para los alumnos como para los docentes. Estos programas han tenido una influencia considerable. Por ejemplo, French (1986) describe el curso PSSC como algo caracterizado “por una originalidad y una franqueza de la propuesta². La misma característica se aplica a otros programas desarrollados durante este periodo.

Otra característica principal de esta primera generación es el desarrollo basado en la universidad. Los equipos de especialistas encargados del proyecto desarrollaron materiales fantásticos que debían ser ensayados en un número limitado de escuelas y posteriormente ser aplicadas fielmente a gran escala. Sin embargo, probablemente en razón de su carácter innovador y del alto nivel de normas exigidas, esta aplicación no fue hecha como ella se esperaba. Muy a menudo, la adopción de un programa no significa necesariamente la adopción de su espíritu, o de métodos de enseñanza preconizados. En efecto, el problema que

aparece es el de los docentes sometidos a prueba de un programa. Más que el de la aplicación de programas sometidos a prueba por los enseñantes.

Fensham remarca que, en los años 70, las pruebas se acumulaban de tal manera que muchas o la mayoría de las esperanzas y las buenas intenciones de los reformadores no llegaban a las escuelas. Y, según Matthews: “Ahora, en los años 90, la reforma de la ciencia en la escuela está en el orden del día, es tiempo de saber en qué medida el fracaso y la confusión eran debidos a los materiales de los programas, o a las inadaptaciones de los profesores, o al fracaso de la puesta en práctica y de la logística, o a los factores culturales anti-intelectuales o anticientíficos, o al factor residual de teorías de aprendizaje defectuosas y a las posiciones inadaptadas del método científico.

No disponemos de suficiente tiempo para discutir abundantemente de estos factores. Desearía insistir aquí sobre un punto importante. Pareciera que el formato de desarrollo de los programas, centralizado a partir de un equipo de expertos, mismo si pareciera razonable en este momento, conduce a subestimar fuertemente la complejidad de la puesta en práctica de los programas y en particular el rol que juega el docente. Como French (1986) lo nota: “el ingrediente crucial para el éxito de toda innovación educativa es el docente de la clase”.

Propuestas basadas en la escuela

Es así comprensible que haya salido una propuesta muy diferente del desarrollo de los programas fundada en la escuela, parece probable que esta sale en parte por reacción a los problemas descritos anteriormente, y en parte al hecho que en concordancia con el espíritu de los años 70 y 80, los docentes, de manera general, se emancipan mucho más y son más afectos por la física, por la enseñanza y por la enseñanza de la física. Como lo dice Egglestone (1980) en el prefacio de una obra sobre la situación en Gran Bretaña: “Los desarrollos de programas basados en la escuela han devenido al comienzo de los años 80 la forma dominante del movimiento de estos desarrollos. Después de decena de años en la cual los principales esfuerzos han sido realizados sobre el proyecto nacional, nos ha conducido a inferir que si el cambio en la escuela era el objetivo, entonces la iniciativa debía igualmente venir de la escuela”. El resultado fue una reaparición progresiva del desarrollo de los programas proveniente directamente de las necesidades y del entusiasmo de las escuelas, de sus alumnos y de sus profesores.

Los tipos de desarrollo de programas «de abajo hacia arriba» han generalmente llegado a tipos de materiales relativamente diferentes, con objetivos y pretensiones variadas. Esta utilización reforzada de métodos de enseñanza que los docentes pueden fácilmente administrar, dando menos importancia al contenido científico de la física y además a su pertinencia eventual para los alumnos. Estos desarrollos son menos brillantes y más realistas y son de alguna manera menos innovadores y originales, pero más utilizables y mejor adaptados localmente.

En términos de investigación, este cambio en el modelo de desarrollo de programas coincide más o menos con un cambio de actitud en la investigación en educación. Se trata de alejarse de la investigación teórica centrada en el desarrollo y las aplicaciones ulteriores de teorías generales de la educación, y aproximarse a la investigación – acción lo que significa, en primer lugar, sostener y ayudar a los docentes a realizar sus objetivos, lo que conduce así a prácticas modelos retomados seguidamente por otros.

Los dos modelos « idealizados » de desarrollo de programas descritos precedentemente tienen roles complementarios a considerar. Los proyectos basados en la universidad, con científicos o docentes, pueden llevar a la concepción de programas muy innovadores que no son necesariamente aplicables a gran escala. Sin embargo, su influencia a largo término puede ser considerable e indispensable. En los desarrollos de proyectos basados en la escuela, la atención es siempre dada a los intereses directos del docente, de tal manera que el desarrollo deviene un mecanismo importante en la implicación de los docentes en el mejoramiento de su propia situación de enseñanza. Esto conduce a la puesta a la disposición de materiales de enseñanza y experiencias, en principio, fácilmente aplicables. Se está siempre comprobado que una parte de este mejoramiento consistía en una adaptación flexible de productos y proyectos llevados a gran escala, más innovante, lo que significa que el desarrollo de programas tiene un doble filo.

Investigación desarrollada

Sin embargo desde mi punto de vista, un tercer modelo debe ser igualmente considerado, no para remplazar los dos modelos descritos hasta ahora, sino más bien para remplazar otra función esencial que no es satisfecha por las dos primeras. Para mí, la necesidad de este modelo proviene de la relación explícita entre las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje, y el desarrollo de programas, en el sentido donde es necesario reducir la distancia entre las teorías sobre la educación y la práctica de los programas. Como lo hemos descrito, en los proyectos principales del pasado, las teorías generales sobre la educación han tenido siempre una influencia en el fondo o en la retórica de los programas. En efecto, no se trata del azar, pero este está ligado a la naturaleza profunda de tales teorías. La verdad, el desarrollo real de tales programas está más bien fundado en los conocimientos didácticos específicos del contenido, sobre los puntos de vista y las experiencias de los que los desarrollaron. En efecto, lo mismo se aplica al desarrollo de los programas basados en la escuela. La investigación-acción lleva siempre al nivel de la acción de aquel del desarrollo de teorías didácticas con fundamento empírico. Así los dos modelos han dado resultados sobre las diferencias importantes y sobre el mejoramiento de las prácticas de educación pero no sobre una manera sistemática, basada en la investigación, de hacer progresar los programas.

Simultáneamente, el desarrollo de investigaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza de la física parece prometer que tales progresos pueden ser alcanzados, a condición que se pueda hacer que las investigaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza y los desarrollos de programas confirmen su acuerdo sobre una propuesta común a largo término.

Se piensa que esta podría ser hecha mejor en un proceso más bien pragmático de investigación y desarrollo a pequeña escala e íntimamente conectados. Es lo que acostumbro llamar “investigación desarrollamental” (Lijnse, 1995). En este tipo de investigaciones, investigadores (físicos y didácticos de la física) y docentes de física colaboran estrechamente en un plano de igualdad. Se visiona un proceso cíclico de reflexión teórica, de análisis conceptual, de desarrollo de programa en pequeña escala (incluyendo la formación de maestros y el desarrollo de tests o controles) y de investigaciones en clase sobre la interacción de procesos de enseñanza-aprendizaje. La descripción y la justificación empírica final de estos procesos unidos entre ellos así como a actividades que constituyen lo que nosotros podríamos llamar “la estructura didáctica posible” para un sujeto particular considerado. Una descripción y una justificación detallada de tales estructuras pueden ser dadas en términos de tareas de aprendizaje, de sus relaciones y acciones que los alumnos y los profesores están obligados a realizar. En efecto, tales descripciones pueden ser consideradas como teorías didácticas

específicas de un dominio que son fundadas sobre una vista explícita de la física y de la enseñanza de la física (Klaassen, 1995). Una reflexión sobre tales teorías por dominios variados puede conducir a teorías didácticas “del más lato nivel”. A largo término, dado que la estructura disciplinaria de la física no es el punto de partida más adecuado para la concepción de la enseñanza, la investigación desarrollada debería conducir igualmente a estructuras didácticas empíricas para la enseñanza de la integralidad de la física. Como Freudenthal (1991) lo indica, el término “aplicación de resultados” no es el término adecuado en el caso de la investigación desarrollada. Esta demanda más bien un proceso gradual y continuo de difusión, utilización, reflexión y desarrollo ulterior de ideas, de manera de establecer cambios a todos los niveles.

Este tercer modelo suplementario de investigación desarrollada no es una *fata morgana* teórica, es un medio de trabajar de manera pragmática y reflexiva a la vez, lo que se realiza ya, de diferentes maneras en un gran número de lugares. Esto significa en efecto que el desarrollo de programas y la investigación en didáctica están mezcladas. La propuesta CLISP (Driver y Oldham, 1987) es un ejemplo bien conocido que se parece a lo que se viene de describir. El proyecto PEEL en Melbourne siguió un camino idéntico a pesar de que no está centrado en la enseñanza de un sujeto particular, más bien se concibe sobre el desarrollo de la metacognición. En el momento de las escuelas de verano recientes para los estudiantes tesis de didáctica de las ciencias, salí a relucir que muchas actividades tratan sobre la enseñanza de X, donde X era un sujeto particular (Lijnse, 1994, 1996; ver también Psillos y Méheut en esta obra). En los Estados Unidos, algunos investigadores en didáctica (como McDermott y Schaffer, 1993) parecen trabajar en perspectivas similares.

Al mismo tiempo, esta lista revela sin embargo una fragilidad particular de propuestas preconizadas, como la ausencia de modelos o ejemplos sobre la manera de cooperar y de construir a partir de la experiencia concreta de otro. Esto requiere hacer disponible descripciones detalladas de investigaciones y de materiales de enseñanza, descripciones que deberían ser más detalladas puesto que habitualmente no lo son en la literatura de investigación actual. ¿Es que los equipos modernos, como Internet, pueden jugar ese rol en el futuro?

Conclusion

Finalizaré brevemente resumiendo los párrafos precedentes en términos de lo que pienso sea la principal conclusión. Comenzando por la descripción de Bruner que data de finales de los años 50, tomando en cuenta los progresos alcanzados en los desarrollos de los programas. Intenté describir las principales tendencias en el desarrollo de la física. Un trabajo importante fue realizado para intentar guardar los programas de física desde el punto de vista conceptual y educacional, tarea que jamás acabará.

Al mismo tiempo, y debido a los primeros esfuerzos para los programas, las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la física han mostrado que la dificultad de concebir programas y enseñanzas fue largamente subestimada. Esto indica una segunda tarea a largo término que demandará una atención sin fin en el futuro.

En las dos tareas, participantes diferentes, los físicos, los docentes de física y los investigadores en didáctica de la física tienen roles diferentes pero de la misma importancia. Como se señaló, en el pasado, estos roles han conducido a tres modelos de desarrollos de programas, que en cierto sentido tienen su importancia, mismo si tienen visiones diferentes. Para el futuro, la realización, tan esperada, los progresos de los programas esperados por

Bruner, dependerá, pienso yo, de la manera como se logre orientar el trabajo en esas perspectivas diferentes, de manera que ellas contribuyan de manera coordinada y cooperativa al desarrollo de nuevos programas de física y a las nuevas maneras de enseñar.

Referencias

- Adey, P., M. Shayer and C. Yates (1989). *Thinking Science*. London: Macmillan.
- Adey, P. and M. Shayer (1994). *Really Raising Standards*. London: Routledge.
- Aikenhead, G.S. (1991). *Logical Reasoning in Science & Technology (Student Text and Teachers Guide)*. Toronto: John Wiley.
- Arons, A.B.(1990). *A Guide to introductory physics teaching*. New York: Wiley.
- Aubrecht, G. (1987). *Quarks, Quasars and Quandaries*. Maryland: AAPT.
- Baird, J.R. & I.J. Mitchell (1986). *Improving the quality of teaching and learning: an Australian case study the PEEL project*. Melbourne: Monash University.
- Bentley, D. & D.M. Watts (1986). Courting the positive virtues: a case for feminist science. *European Journal of Science Education*, 8, 121 -134.
- Black, P. (1985). Could physics be re-admitted to the curriculum? *Physics Education*, 20, 267 -271.
- Bliss, J. (1995). Piaget and after: the Case of Learning Science. *Studies in Science Education* 25, 139 -172.
- Bloom, B.S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: Cognitive Domain*. New York: Longman.
- Bloom, B.S. (1971). Mastery Learning and its implications for Curriculum Development. In E.W.Eisner: *Confronting Curriculum Reform*. Boston: Little, Brown and Co, 17 49.
- Brown, S.A. (1977). A review of the meanings of, and argumentation for, integrated science. *Studies in Science Education*, 4, 31 62.
- Brown, S. & D. McIntyre (1981). An Action-Research Approach to Innovation in Centralized Educational Systems. *European Journal of Science Education*, 3, 243 258.
- Bruner, J.S. (1960). *The Process of Education*, New York: Random House.
- Butler Songer, N. & M.C. Linn (1991) How Do Students' Views of Science Influence Knowledge Integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 761 784.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in Childhood*, Cambridge: MIT Press.
- Carey, S., R.Evans, M.Honda, E. Jay & C. Unger (1991) 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge, *International Journal of Science Education*, [Missing : number, page]
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of research in science teaching*, 30, 1241-1257.
- CLIS (1987). *CLIS in the classroom: approaches to teaching*. Leeds: CSSME.
- CLIS: Interactive Teaching in Science, Workshops for Training Courses (1990). ASE.
- Driver, R. (1983). *The pupil as Scientist?* Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (eds.) (1985). *Children's ideas in Science*, Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R. and V. Oldham (1986). A constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105 122.
- Driver, R. (1988) Changing Conceptions, *Tijds. Did. β -Wetenschappen*, 6, 161 198.

- Driver, R., J. Leach, P. Scott and C.Wood-Robinson (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75 -100.
- Duit, R., F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.) (1992). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: IPN.
- Eggleston, J. (ed.) (1980). *School-based curriculum development in Britain*. London: Routledge.
- Eijkelhof, H.M.C.& J.Kortland (1988). Broadening the aims of physics education experiences in the PLON-project. In: P.J.Fensham (ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press, 282 305.
- Fensham, P.J.(1988)(ed.). *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press.
- Fensham, P.J. (1992). "Science and Technology". In P.W.Jackson (ed.), *Handbook of Research on Curriculum*. New York: Macmillan, 789-829.
- Fensham, P., R. Gunstone and R. White (Eds.) (1994). *The Content of Science*. London: Falmer Press.
- Fischler, H. (1989) Quantenphysik in der Schule I: Tendenzen der didaktischen Diskussion und Aufgaben der Fachdidaktik, *Physica Didactica* 16, 21 -33.
- Fischler H. & Lichtfeldt M. (1992) Modern physics and students' conceptions, *International Journal of Science Education*, 14, 181 -190.
- French, A.P. (1986). Setting new directions in physics teaching: PSSC 30 years later. *Physics Today*, sept, 30 35.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gabel, D. (1994)(Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- GIREP (1973). A.Loria and P.Thomson (eds) *Seminar on the Teaching of Physics in Schools: Electricity, Magnetism and Quantum Physics*. Copenhagen: Gyldendal.
- GIREP (1986). *Cosmos: an Educational Challenge*. Noordwijk: ESTEC.
- GIREP (1991). H.Kühnelt, M.Berndt, M.Staszal and J.Turlo (Eds.) *Teaching about Reference Frames: from Copernicus to Einstein*. Torun: NCUP.
- GIREP (1993). L.Chainho Pereira, J.Alves Ferreira and H.A.Lopes (Eds.) *Light and Information*. Braga: Universidade do Minho.
- Hagerty-Hazel, E. (1990) (Ed.) *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. London: Routledge.
- Harvard Project Physics Course (1970). New York: Holt.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85 -142.
- Johnson, S. (1984). The underachievement of girls in physics: Towards explanations. *European Journal of Science Education*, 6, 399-409.
- Klaassen, C.W.J.M., (1995). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.
- Layton, D. (1992). *Technology's challenge to science education*. Buckingham: Open University Press.
- Lawson, A.E. (1994). Research on the Acquisition of Science Knowledge: Epistemological Foundations of Cognition. In D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 131 177.
- Lijnse, P.L.(1983). Physikunterricht in einer sich wandelnden Gesellschaft. *Physica Didactica*, 10, 43 60.
- Lijnse, P.L., P. Licht, W. de Vos and A.J. Waarlo (Eds.) (1990a) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic particles*. Utrecht: CD-β Press.

- Lijnse, P.L., K.Kortland, H.M.C.Eijkelfhof, D.van Genderen and H.P.Hooymayers (1990b). A Thematic Physics Curriculum: a Balance Between Contradictory Curriculum Forces, *Science Education*, 74, 95-103.
- Lijnse, P.L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: the role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- McDermott, L.C. & P.S. Shaffer (1993). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. *American Journal of Physics*, 60, 994-1003.
- Mellar, H., J.Bliss, R.Boohan, J.Ogborn and C.Tompsett (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- Millar, R. & R. Driver (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Nuffield O-level Physics. London: Longman.
- Nuffield Advanced Science: Physics (1971; revised version: 1986). Harlow: Longman.
- Nussbaum, J. and S. Novick (1982) Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Physical Science Study Committee (1960). Physics. Boston: Heath & Co.
- Ogborn, J. (1978). Decisions in curriculum development a personal view. *Physics Education*, 13, 11-18.
- PLON (1986). Curriculummaterials, Utrecht University/Zeist NIB.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227.
- Raizen, S.A. (1991). The Reform of Science Education in the U.S.A. Déjà Vu or De Novo? *Studies in Science Education*, 19, 1-41.
- Redish, E.F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62, 796-803.
- Reif, F. and J.H. Larkin (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 733-760.
- Reiss, M.J. (1993). *Science Education for a Pluralist Society*. Buckingham: OUP.
- Royal Society, (1985). The Public Understanding of Science.
- Satis 8-14 (1992). Hatfield: ASE.
- Science, A Process Approach (1968). AAAS.
- Schools Council Project Technology (1975). London: Heinemann.
- Scott, P., H. Asoko, R. Driver and J. Emberton (1994). Working from children's ideas: An Analysis of constructivist teaching in the context of a Chemistry topic. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (Eds.) *The Content of Science*. London: Falmer Press.
- Shayer, M. & P. Adey (1981). *Towards a science of science teaching*. London: Heinemann.
- Shulman, L.S. and P. Tamir (1973). Research on Teaching in the Natural Sciences. In R.M.W Travers (ED.) *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago: Rand McNally, 1072-1097.
- Solomon, J. (1988). Science Technology and Society courses: tools for thinking about social issues. *International Journal in Science Education*, 10, 379-387.
- Solomon, J. And G. Aikenhead (Eds.) (1994) *STS Education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.
- Tobin, K., J. Butler Kahle and B.J. Fraser (1990). *Windows into Science Classrooms*. London: Falmer Press.
- Tobin, K., D.J. Tippins and A.J. Gallard (1994). Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.

- Vos, W. De, B. Van Berkel and A.H. Verdonk (1994). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education.*, 71, 743-746.
- Wellington, J. (Ed.) *Skills and processes in science education*, London: Routledge.
- White, R.T. (1979). Achievement, Mastery, Proficiency, Competence. *Studies in Science Education.*, 6, 1-22.
- Woolnough, B. and T. Allsop (1985). *Practical work in science*. Cambridge: CUP.
- Woolnough, B.E. (1989). *Towards a holistic view of processes in science education*. In J. Wellington (Ed.) *Skills and processes in science education*, London: Routledge.
- Wright, E.L. (1993). *The Irrelevancy of Science Education Research: Perception or Reality?* NARST News, 35, 1-2.