

Energía y Sistemas: Conceptos Relevantes en un Programa para Aprender Física Dirigido a Estudiantes de Ciencias de la Salud

(Energy and Systems: Relevant Concepts in a Program to Learn Physics for Health Science Students)

José Michinel Machado

Escuela de Física, Facultad de Ciencias, UCV, 47018, Caracas 1041-A

y

Antonio D'Alessandro Martínez*

Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos

Universidad Simón Bolívar, Apartado Postal 89000, Caracas

y

Horacio Ortega Salvador

Facultad de Medicina, U.C.V.

Recibido em 7 de Janeiro de 1991; revisão feita pelos autores recebida em 19 de Julho de 1991.

Aceto para publicação em 12 de Novembro de 1991

Resumen

Partiendo de la existencia de relaciones homomórficas entre los componentes y procesos de la creación científica con aquellos correspondientes al aprendizaje del conocimiento científico, y entre estos componentes y procesos del aprendizaje y la organización de contenidos de una asignatura, se estructura un curso de Física para estudiantes de Ciencias de la Salud (con énfasis en Medicina) fundamentado en la Teoría Cognitiva de Ausubel y tiene como resultado final el logro de un aprendizaje significativo, una estrategia metodológica adecuada y la producción de material bibliográfico. Se presenta el diagrama de bloques del programa propuesto con un organizador previo avanzado¹ (Teorías de Sistemas y Sistemas de Control) y un organizador avanzado (La energía).

Abstract

Based in the existence of homomorphic relations between the components and the processes of creation and learning of scientific knowledge, and between these components and processes of learning and the organization of the contents of an asiganture, a Physics Course is proposed for Health Science students (Medical oriented) with basis in Ausubel's Cognitive Theory. This approach resulted meaningful learning, in an adequate methodological strategy and in the production of bibliographic material. The block diagram of the proposed program is shown with a previous advanced organizer¹(System's Theory and Control's Systems) and an advanced organizer (Energy).

I. Introducción

*Cátedra de Fisiología, Escuela de Medicina Luis Razetti, Facultad de Medicina, U.C.V., A.P.: 50587 - Caracas.

¹El término ha sido acuñado por los autores para referirse a un organizador avanzado utilizado al inicio de un curso.

²The term was coined by the authors to refer to an advanced organizer used at the beginning of the course.

Ha sido una constante preocupación de los autores, docentes e investigadores en el campo de la Física, el "feedback" que recibimos de nuestros estudiantes. Esta información refleja que los estudiantes presentan:

- Poca motivación por lo que se enseña.
- Insatisfacción por lo enseñado y lo aprendido.

- Deficiencia en el aprendizaje significativo de lo enseñado.

- Incapacidad para un uso práctico de lo aprendido.

Todo lo cual se traduce, en la práctica, en un rechazo al aprendizaje de la asignatura.

La afirmación anterior es aún más grave cuando los conocimientos de la Física que pretenden ser enseñados forman parte del basamento sobre el cual se aspira edificar la estructura del conocimiento de determinadas disciplinas como el caso de las Ciencias de la Salud. Es innegable que una adecuada comprensión de los procesos que tienen lugar en los seres vivos, por ejemplo, los fisiológicos que son en mucho extensiones de fenómenos Físico-Químicos, necesitan de una conveniente fundamentación física.

La resolución de este problema no está limitada a la atención aislada de los componentes (educando, profesor, contenido y la interacción de éstos con el medio) del proceso que está relacionado con un determinado curriculum. Sino que, es necesario descubrir (¿inventar?) una visión crítica de la Física a nivel básico que atienda a su estructura y a la manera como es aprendida por los estudiantes.

De allí que proponemos una visión o estructura de la Física Básica, para ser enseñada y aprendida en un curso de Ciencias de la Salud, que se fundamente en teorías del aprendizaje que tome en cuenta las estructuras de conocimientos que los estudiantes ya poseen y que tenga como resultado final:

- Una estructuración de los conocimientos de la Física para ser aprendidos significativamente.
- Una proposición de estrategia metodológica conveniente.
- La producción de material bibliográfico y de recursos auxiliares para un curso de la naturaleza antes definida.

II. Marco Teórico

La posición acerca de la naturaleza de la creación del conocimiento científico estuvo orientada, en los inicios del pensamiento por la idea de la imparcialidad del hombre de ciencia ante el hecho científico. Según esta visión, la observación cuidadosa e imparcial de la regularidad de eventos y objetos conduce a la estructuración de sistemas conceptuales que entrelazados forman las teorías científicas que darán origen al conocimiento científico. Esta posición, que tiene un fuerte sustento empiricista, ha sido la base epistemológica de algunas tendencias del positivismo. Enfrentado a la visión de la imparcialidad del científico se desarrolla, posteriormente, otra tendencia que establece que el conocimiento científico tiene su origen en investigaciones guiadas por esquemas conceptuales (nociones preconcebidas) que orientan las observaciones. De este modo se establece una permanente interacción entre eventos y teorías,

que pueden ser modificadas con el tiempo y en algunos casos descartadas como paradigmas científicos. James Conant¹, Thomas Kuhn², Stephen Toulmin³ y I. Lakatos⁴ son los más destacados representantes de este pensamiento.

Es posible que en los orígenes del quehacer científico la posición de los hombres de ciencia estuviera orientada por una visión inductivista; pero el desarrollo de la ciencia ha conducido hacia una posición donde la observación de eventos está orientada por un cuerpo teórico que a su vez se desarrolla con la información de los eventos aislados.

¿Adquirir conocimientos, aprender ciencias, está guiado por procesos de pensamiento diferentes a los que conducen a la creación de conocimientos?

Aunque el aprendizaje en las primeras etapas de la vida del hombre pueda estar signado por una línea de acción asociacionista y conductivista, en la medida que alcanza la etapa operacional formal⁵ la tendencia es hacia una forma de aprendizaje donde los procedimientos cognitivos son los que caracterizan el proceso de aprendizaje. Con esto se quiere decir que el aprendizaje del mundo tiene sentido en la medida que este se aprehende a través de procesos intelectuales complejos, para hacerlo parte de la conciencia^{5,6,7}. En esta línea de pensamiento, que tiene como meta del aprendizaje el dominio del conocimiento, algunos autores^{7,8,9,10} establecen la necesidad de la comprensión previa de este conocimiento por la vía de establecer adecuadas relaciones entre la red de conocimientos (conceptos, principios y leyes) que el individuo ya posee y la nueva información que se desea aprender.

Se puede, entonces, establecer una relación homomórfica entre los procesos y componentes de la creación y del aprendizaje de conocimientos científicos. Algunas políticas educacionales que se han trazado en nuestras universidades, por ejemplo: que los profesores realicen actividad docente y de investigación, parecieran estar guiadas por las ideas antes expresadas con el fin de estimular procesos de creación y aprendizaje de conocimientos tanto en el educador como en el estudiante.

Con el fin de satisfacer las necesidades planteadas en la introducción y guiados por estos fundamentos teóricos proponemos un modelo de programa orientado hacia estudiantes de Ciencias de la Salud.

Los conceptos ausubelianos utilizados en este trabajo (organizador previo, organizador avanzado, integración de contenidos, mapeo de conceptos, diferenciación progresiva y reconciliación integrativa) han sido muy bien discutidos por Moreira¹⁴.

III. Un Modelo de Programa

El concepto de energía

Aunque no existe un modelo definitivo ni sencillo de enseñar lo que es energía (como tampoco lo que

es fuerza), sin embargo, nuestra investigación ha conducido a la definición de energía a través de cinco propiedades significativas:

- Diversidad de formas.
- Transformación de unas formas en otras.
- Los valores de los diferentes tipos de energía dependen del sistema de referencia.
- Covarianza: Si fijamos el sistema de referencia la energía se conserva.
- A la energía se le puede asignar cualquier valor en un momento dado.

La consideración de estas propiedades nos permite obtener una visión más integradora del concepto, la cual conlleva a una mejor comprensión de los fenómenos físicos en cualquier campo de las ciencias naturales. Entre los aspectos que resaltan de esta consideración tenemos:

1. La ampliación del tradicional concepto de energía utilizado en bachillerato y muy común en numerosos libros de texto elementales y universitarios: "Energía es la capacidad para realizar trabajo." De acuerdo con la Primera ley de la Termodinámica, que es una formulación de la conservación de la energía para un sistema de muchas partículas, la energía, el calor y el trabajo están estrechamente relacionados.

$$\delta E_{is} = Q + W_{a \rightarrow s}$$

donde E_{is} es la energía interna del sistema, Q es el calor intercambiado por este con los alrededores y $W_{a \rightarrow s}$ es el trabajo hecho por los alrededores sobre el sistema. Es evidente, entonces, que una definición de energía pasa por establecer su relación con el calor: un sistema puede variar su energía interna como consecuencia del trabajo que sobre él se ejerza y el calor que intercambia con los alrededores. Para un sistema aislado la energía será constante.

Esta formulación nos conduce a la discusión sobre la naturaleza del calor. Ella concluirá, entonces, que éste es una forma de intercambiar o transferir energía entre el sistema y los alrededores como consecuencia de la existencia de una diferencia de temperatura entre ellos. La temperatura se define como proporcional a la energía cinética promedio del sistema o de los alrededores. De tal manera que el calor produce un cambio de energía interna debido al choque entre partículas con diferentes energías cinéticas promedio (diferentes temperaturas) con la consecuente transferencia de la misma.

2. Debemos, además, considerar que la energía puede presentarse en diferentes formas: cinética, potencial, mecánica, química, interna, electromagnética y de reposo. Podemos mediante ejemplos sencillos, presentar la relación que existe entre ellas y mostrar que cualquiera de las mismas admite la descomposición:

$$E = E_{cinética} + E_{potencial}$$

Las formas que asume la energía son consecuencia de procesos físicos que conllevan a cambios de estados dinámicos y pueden aparecer y desaparecer siempre y cuando la energía total se conserve. Al respecto un ejemplo pedagógico (el niño y los bloques de energía) es presentado por Feynman¹¹. Los ejemplos en la vida diaria y en la Biología, en particular, son numerosos: ciclo de ATP, ciclo de Krebs, contracción muscular, sistema cardiovascular, respiratorio, bioquímico, etc.

3. En este trabajo se revisaron diferentes formas de expresar la conservación de la energía. La que posee mayor interés didáctico es la que obtiene la Primera Ley de la Termodinámica como extensión a un sistema de muchas partículas del Teorema del Trabajo y la Energía ($W_{total} = \delta E_{cinética}$) con la condición de que este último se exprese como:

$$W_{fuerzas\ aplicadas} = W_{a \rightarrow s} = \delta E_{sistema} - Q$$

Así que:

$$\delta E_s = W_{a \rightarrow s} + Q$$

Como los sistemas que interactúan son de muchas partículas Q aparece como consecuencia de la interacción entre ellos, como discutimos previamente. En este caso, Q excluye aquellas formas de calor producidas por fuerzas de roce.

Si en la Primera Ley sustituimos δE_{is} por $\delta E_{sistema}$ (para considerar que el centro de masa del sistema puede estar en movimiento y en un campo de potencial externo), la formulación completa de esta ley es:

$$\delta E_{sistema} = W_{a \rightarrow s} + Q$$

con $E_{sistema} = E_{is} + E_{cinética} + E_{potencial}$, que es idéntica al Teorema (extendido) de Trabajo y la Energía.

En algunos casos particulares:

$$\delta E_{sistema} = \delta E_{is}$$

Otras derivaciones alternativas de la Primera Ley a partir del Teorema del Trabajo y Energía también han sido obtenidos por nosotros.

En la búsqueda de una conceptualización más amplia u organizador avanzado. Energía vs. Fuerza

Como dijimos anteriormente no existe un modelo definido de que es energía ni lo que es fuerza, pero conocemos sus propiedades y ellas nos permiten describir las interacciones entre cuerpos. Tradicionalmente se ha venido sosteniendo que el concepto de fuerza es más real, más intuitivo e internalizable que el de energía. Esta afirmación adolece de una confirmación experimental y muy frecuentemente está asociada con el concepto de "fuerzas de contacto". Recientes investigaciones¹² han demostrado que incluso sobre estas fuerzas existen falsas concepciones entre estudiantes y profesores de

Física a todo nivel. Aunque el objetivo del presente trabajo no fue demostrar la veracidad de la hipótesis anterior, hemos comprobado que con los conceptos de energía que traen los estudiantes de bachillerato (adquiridos durante la educación formal y fuera del aula) y las discusiones efectuadas dentro del nuevo programa de Física para estudiantes de Medicina (UCV, Facultad de Medicina, Ciclo Básico. 1988-1991) es posible llegar a un nivel de concreción tal que permite el aprendizaje significativo de los contenidos de este curso y abre amplias posibilidades para una mejor comprensión de los fenómenos biológicos.

¿Qué ventajas ofrece el enfoque energético?

La presente investigación nos permite concluir que el uso de la energía como organizador avanzado presenta las siguientes ventajas:

1. Simplificación de la descripción matemática (frente a la visión lagrangiana) porque la energía es un escalar y la fuerza un vector.
2. La mecánica newtoniana pierde su utilidad cuando se trata de describir sistemas de muchas partículas en constante movimiento relativo (por ejemplo: una célula). En esos casos la descripción termodinámica (energética) es más útil. No obstante, el comportamiento macroscópico de aquellos sistemas "parcialmente rígidos" como el esqueleto y el músculo son apropiadamente descritos por dicha mecánica pero están fuera de los límites del curso que nos ocupa.
3. Con la conceptualización que hemos propuesto para la energía se alcanza de manera continua, natural, conceptos y leyes fundamentales de la mecánica de fluidos que son la base del comportamiento mecánico de los sistemas cardiovascular, respiratorio y renal. Aplicar la conservación de la energía a fluidos ideales en movimiento permite, muy bellamente, obtener la ecuación de Bernoulli y a partir de esta, eliminando o agregando formas de energía, obtener las ecuación de Pascal y el principio de Arquímedes (para fluidos en reposo) y de Poiseuille (para fluidos viscosos estacionarios) e inclusive tomar en cuenta el efecto del corazón, la contracción muscular, la respiración y la elasticidad de los vasos sanguíneos sobre la circulación. Adicionalmente se pueden considerar los efectos de turbulencia.
4. La discusión de los fenómenos electrostáticos y electrodinámicos (que son la base del impulso nervioso) en términos de la energía y la diferencia de potencial (diferencia de energía por unidad de carga) y no en base al concepto de fuerza y campo eléctrico conduce a una gran simplificación matemática.
5. Es posible hacer más evidente la estrecha relación entre circuitos de fluidos y circuitos eléctricos con lo cual se evitan los problemas que sobre la interpretación de estos últimos producen las falsas concepciones¹³.
6. En la educación Secundaria (Bachillerato latinoamericano) se discuten ampliamente las Leyes de Newton y sus aplicaciones, por lo cual es ocioso en un curso

dirigido a estudiantes de Ciencias de la Salud invertir más tiempo en este tema. En todo caso, es más conveniente aprovechar la discusión sobre trabajo en la Primera Ley de la Termodinámica para repasar el concepto de fuerza y discutir los diferentes tipos de trabajo: mecánico, eléctrico, químico, difusión, osmótico, hidrostático, etc.

¿La organización de un contenido programático bajo las ideas antes descritas per se conducen a un aprendizaje significativo?

El encuentro de un adecuado organizador previo, la escogencia de un organizador avanzado y la organización de un programa a partir de una integración de contenidos que derivan de un buen mapeo de conceptos¹⁴, no garantizan por sí solos que el estudiante aprenda de manera significativa, no memorística. El aprendizaje como es señalado por algunos autores¹⁰ es un proceso de cada individuo, no compartido, o como lo hemos expresado en algunas de nuestras clases es como el proceso de parto natural: "si no se puja no se para". De allí que la forma de aprender significativamente es una herramienta que tiene que hacerse conciente para el estudiante. Es a partir de la anterior consideración que proponemos que el programa debe tener como contenido inicial un organizador previo, no necesariamente de Física, que haga explícita la organización jerárquica de la información y el aprendizaje significativo.

Un programa para estudiantes de Ciencias de la Salud

Como mencionamos antes, a partir de la fase de operación formal¹⁵ es más fácil para el estudiante captar aspectos diferenciados de un todo más inclusivo previamente aprendido que llegar al todo a través de sus partes diferenciadas^{7,9}. Como consecuencia se establece la necesidad de un segundo homomorfismo, ahora, entre la forma como el estudiante aprende y la estructura del contenido de la asignatura a enseñar. Por ello, la organización de los contenidos debe estar jerarquizada con el fin de que el aprendizaje sea significativo: Las ideas más inclusivas están en el tope de la estructura y progresivamente se incorporan proposiciones, conceptos y hechos menos inclusivos y más diferenciados (diferenciación progresiva) para luego producir una reconciliación integrativa al recorrer la estructura en forma inductiva. Por otro lado, dado el carácter exclusivamente teórico de muchos de los cursos de Física para estudiantes de Ciencias de Salud, el aprendizaje no se produce por descubrimiento sino casi totalmente por aprendizaje verbal receptivo. De allí, que siendo la Teoría de Ausubel^{7,9} precisamente una teoría del aprendizaje verbal significativo esté plenamente justificado su uso ya que ofrece amplias posibilidades para maximizar el rendimiento de la clase magistral.

La discusión del tema de energía requiere, para lograr un aprendizaje significativo eficiente de un organizador previo avanzado que sirva de eslabón entre lo que el estudiante ya sabe (subsumidores previos)¹⁴ y el

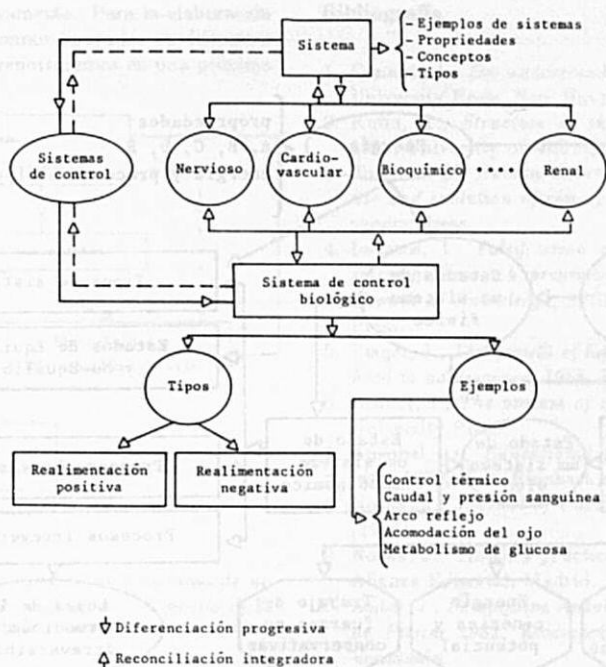


Figure 1: Diagrama de bloques del organizador previo avanzado (Teoría de sistemas).

contenido del tema de energía. En la selección de este organizador consideramos tres aspectos fundamentales:

1. Los subsumidores previos, en relación a energía, que los estudiantes han adquirido en bachillerato¹ en asignaturas tales como: Estudios de la Naturaleza, Física, Química, Biología, Ciencias de la Tierra, Geografía General y Geografía Económica.

2. El organizador en si mismo debe poseer una estructura Ausubeliana, es decir, fundamentalmente deductiva que luego se reconcilia inductivamente. Esto es determinante para que el estudiante internalice la forma de aprender significativamente.

3. Debe ser motivante para los estudios de Ciencias de la Salud, por lo cual debe estar orientado hacia el conocimiento que se adquirirá en materias de los cursos más avanzados de la carrera, como fisiología y fisiopatología. La selección del organizador previo avanzado se hizo por los autores de este trabajo (con la aprobación de los organismos académicos correspondientes) sobre la base de una lista inicial de temas y tópicos sugeridos por profesores y estudiantes de cursos más avanzados de la carrera de medicina (Universidad Central de Venezuela, Facultad de Medicina, Escuelas de Medicina Luis Razetti y José María Vargas). La información se

obtuvo mediante encuestas y entrevistas.

En esta investigación se concluyó que el organizador previo más apropiado era un tema sobre teoría de sistemas y sistemas de control. Así, partiendo de la definición de sistemas y de la discusión de sus propiedades, se presenta el cuerpo humano como un conjunto de ellos: Bioquímico, Nervioso, Cardiovascular, Respiratorio, Renal, Térmico, Digestivo, etc, y se discute la necesidad de que cada uno funcione adecuadamente, en armonía con el resto y adaptado al medio ambiente. Todo lo cual exige la discusión de las propiedades de homeostasis dinámica (periódica y no periódica-caótica) y de adaptabilidad (heterostasis) de los sistemas de control (con retroalimentación negativa y en algunos casos positivas) que operan en cada uno de ellos y que los interrelacionan. La inclusión de este tema posee otras virtudes como organizador previo. Entre ellas podemos mencionar:

1. Permite introducir el concepto de energía desde el principio, en la propia definición de sistemas y alrededores y la interacción entre ellos.

2. Presenta el cuerpo humano como un conjunto interrelacionado de sistemas con el cual se evita la visión parcelada, en el mejor de los casos inductivistas, de los cursos de fisiología de nuestras escuelas de medicina.

En las figuras 1, 2 y 3 presentamos los diagramas de bloques de los temas de sistemas, energía y del pro-

¹El curso de Física cuyo programa estructuramos en este trabajo se toma en el primer año de la carrera de medicina (UCV) con duración de un semestre. Los estudiantes entran a la carrera de medicina inmediatamente después del bachillerato (5 años).

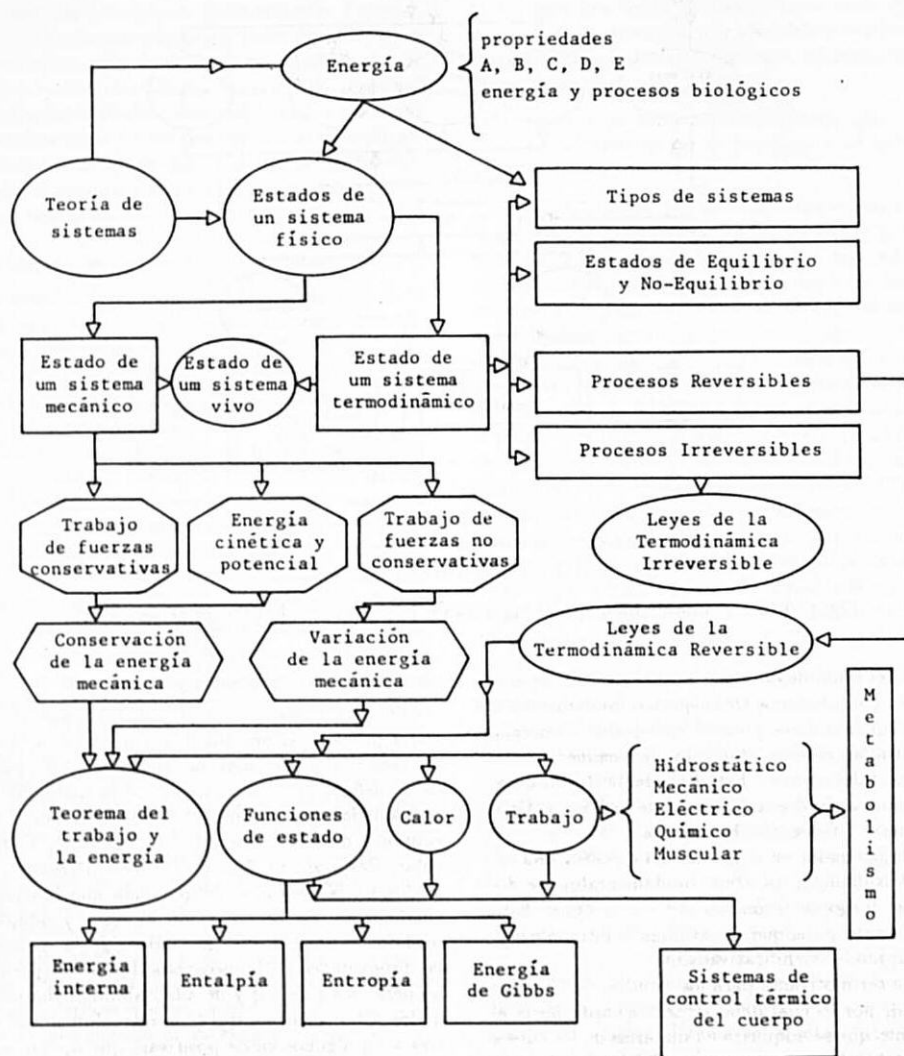


Figure 2: Diagrama de bloques del tema de Energía y Bioenergética.

grama completo respectivamente. Para la elaboración de estos diagramas nos hemos apoyados en diferentes mapas conceptuales que reportaremos en una próxima publicación¹⁵.

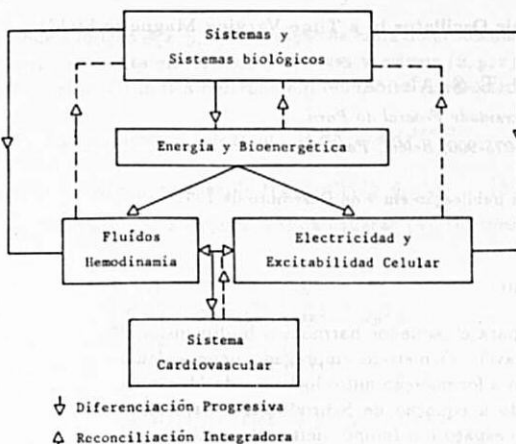


Figure 3: Diagrama de bloques de un programa de un curso de un semestre para estudiantes de Ciencias de la Salud.

Así mismo, ésta investigación ha conducido a la elaboración de materiales de instrucción e instrumentos de evaluación (para todos los temas del programa) que forman parte de un libro de texto cuya preparación está en su fase final¹⁶. Estos materiales de instrucción han sido utilizados en el curso de Física (único curso de esta asignatura dentro del pensum de estudios de la carrera de Medicina-UCV) del primer año de los estudios (ciclo básico) durante los años 1988-90 y comparados con los resultados del uso de materiales de instrucción utilizados en cursos que siguieron la visión clásica (posición, velocidad, fuerza, trabajo, energía y su conservación), y que se dictaron simultáneamente. Estos funcionaron como grupos controles. El análisis obtenido sobre: 1. resultados de las evaluaciones sumativas y de promoción (distribución de calificaciones, número de aprobados y nivel cognitivo que reflejan las respuestas); 2. grado de motivación de los estudiantes detectados en discusiones de clase (formales y no formales), entrevistas y encuestas; 3. capacidad para responder ítems de alto nivel de dificultad; 4. encuestas y entrevistas realizadas a estudiantes luego de cursar la asignatura fisiología que se toma después del curso de Física; nos permiten afirmar cualitativa y cuantitativamente que los materiales que siguen el programa propuesto en este trabajo garantizan un mayor aprendizaje significativo comparado con materiales instruccionales que siguen la perspectiva clásica. Los mismos resultados han sido obtenidos en cursos de la asignatura Biofísica (1990-91) de la universidad Simón Bolívar (Valle de Sartenejas, Venezuela).

Bibliografía

1. Conant, J., *On understanding science*, 1947, Yale University Press, New Haven CT.
2. Kuhn, T., *Structure of the scientific revolutions*, 1962, University of Chicago Press.
3. Toulmin, S., *Human understanding. The collective use and evolution of concepts*, 1977, Princeton University Press.
4. Lakatos, I., *Falsification and the methodology of scientific research programmes. In Criticism and Growth of Knowledge*, 1970, Cambridge University Press.
5. Piaget, J., *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*, 1958, Basic Book.
6. Bruner, J., *The process of education*, 1963, Harvard University Press.
7. Ausubel, D., *Educational psychology: A cognitive view*, 1978, Holt, Rinehart and Winston, New York.
8. Novak, J., *Journal of Chemical Education*, 61, 607 (1984).
9. Novak, J., *Teoría y práctica de la educación*, 1982, Alianza Editorial, Madrid.
10. Lejter, J., *Perspectiva Ausubeliana de un currículum de Física*, 1982, Ediciones CENAMEC, Caracas, Venezuela.
11. Feynman, R., Leighton, R. B., Sands, M., *Física*, Vol. I: Mecánica, radiación y calor, 1971, Fondo Educativo Interamericano S.A.
12. Sebastián, J. M., *Algunos patrones de interpretación espontánea frente a situaciones de dinámica clásica*, 1987, USB. Departamento de Física, Caracas, Venezuela.
13. Andrés, M. M., *Comprensión de los estudiantes acerca de los circuitos eléctricos y el cambio conceptual*, julio-1988. Seminario permanente sobre investigación en educación en Física, Caracas, Venezuela.
14. Moreira, M. A., *Uma abordagem cognitivista ao ensino de Física*, 1983, Editora da Universidade, Porto Alegre, Brasil.
15. Martínez, A., Michinel, J. L., *Mapas conceptuales e instrumentos de evaluación de un programa de Física para estudiantes de Ciencias de la Salud*, por publicar.
16. Michinel, J. L., Martínez, A., Ortega, H., *Introducción a la Biofísica*, 1988, Mimeografiado, Fac. de Medicina, UCV, Caracas, Venezuela.