

*Montaje para experimentos de estática.  
Laboratorio de Física Moderna. Departamento de Física.  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. U. de A.*

# **Enseñanza de la física y teoría cognitiva del aprendizaje significativo**

## ● Resúmen

La mayor parte de las investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Física a nivel universitario, indican que los modelos de instrucción utilizados, no satisfacen los objetivos que los programas oficiales proponen. Muchos intentos se han realizado para mejorar esta situación, frecuentemente con resultados desalentadores.

Este trabajo, etapa final de un proyecto de investigación, intenta cambiar esta situación, mediante el diseño de un modelo de instrucción científico, basado en la teoría cognitiva del aprendizaje humano, de Ausubel-Novak-Gowin, y en la aplicación, en las experiencias de clase, de las herramientas metacognitivas que surgen de la misma.

Los datos obtenidos en experiencias de clase, dictadas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Comahue, señalan que los alumnos logran alcanzar los objetivos propuestos por el modelo y muestran un entendimiento sustancial de la Mecánica General y una importante reducción en el tiempo de estudio necesario para promocionar la asignatura (es decir, para cursar y aprobar).

## ● Abstract

The most part of researches who have any relation to physics teaching at university level indicates that the teaching models which are been used do not satisfy the goals proposed by official programs. Many attempts have been done in order to improve this situation, but frequently the results have been discouraging.

This work, final step of a research project, tries to change that situation through the design of a scientific teaching model, based on cognitive theory of human learning (Ausubel-Novak-Gowin) and on the application, in class experiences, of the metacognitive tools that arise from this itself.

The information obtained from class experiences at Engineering Faculty of the Universidad Nacional de Comahue, indicates that students get the goals proposed by the model and shows a significant understanding of the General Mechanic, and also an important reduction of study time necessary for attending and passing the course.

## ● Résumé

La plupart des recherches concernant l'enseignement de la physique à l'université, montrent que les modèles d'instruction utilisés ne satisfont pas les objectifs proposés par les programmes. Beaucoup d'essais ont été réalisés pour améliorer cette situation, fréquemment avec de résultats décourageants.

Ce travail, étape finale d'un projet de recherche, essaie de changer cette situation avec la conception d'un modèle d'instruction scientifique. Ayant comme base la théorie cognitive de l'apprentissage humain, de Ausubel-novak-gowin, et l'application dans les expériences de classe, des outils métacognitifs qui en résultent.

Les données obtenues dans les expériences de classe, à l'École d'Ingénierie de l'Université Nationale de Comahue, signalent que les élèves réussissent à atteindre les objectifs proposés par le modèle et ils montrent une compréhension substantiale de la mécanique générale et une réduction importante du temps d'étude nécessaire pour la réussite de la matière. (c'est à dire, Suivre le cours et réussir).

# Enseñanza de la física y teoría cognitiva del aprendizaje significativo

Ricardo Chrobak\*

Profesor Facultad de ingeniería. Departamento de Física.  
Universidad Nacional del Comahue.

---

*Palabras clave:* Enseñanza de las ciencias, modelo didáctico, teoría cognitiva, didáctica.

*Key Words:* Science teaching, didactic model, cognitive theory, didactics.

---

## Introducción

Ningún docente desconoce que la educación requiere importantes cambios; para lograr esos cambios es necesario, en primer lugar, efectuar mediciones y documentar los problemas que afrontan los educadores. Por supuesto que las reformas no surgirán solamente de la documentación de los problemas, pero es obvio que sin entender apropiadamente a la educación, es imposible lograr las reformas que muchas veces y con justifica-

---

\* Dirección del autor: Universidad Nacional del Comahue Buenos Aires 1400. 8300 Neuquén.

da razón reclamamos enfáticamente. En este trabajo aceptaremos el concepto de la educación como un *evento social en el que se comparten significados*.

Los eventos que hacen posible a la educación no son del tipo de los naturales, sino que son provocados por seres humanos en forma intencional, para transmitir la cultura de las viejas a las nuevas generaciones. Es por este motivo que los fenómenos educativos no son fáciles de estudiar, ya que carecen de las regularidades percibidas en los objetos o eventos naturales. No obstante es necesario buscar regularidades en la educación, pero considerándola en su conjunto, es decir buscar la simplicidad pero preservando su naturaleza de complejidad. A tal efecto, es útil en principio aceptar la propuesta de J.J. Schwab en cuanto a los elementos comunes de la educación: enseñanza, aprendizaje, curriculum y contexto social, elementos que deben ser tratados en forma conjunta durante el estudio de este tipo de fenómenos. Esto significa que no es posible en esta clase de trabajos, apuntar al estudio de uno de los elementos, como ocurre en la mayoría de los casos, especialmente cuando se los concentra en el estudio del aprendizaje con la creencia de que, una vez conocida a fondo la forma en que se adquieren los conocimientos, es posible diseñar también la enseñanza.

En cuanto al curriculum, también suele ser objeto de estudio por separado. Es importante tener en cuenta que las consideraciones epistemológicas son un factor de gran ayuda para interpretar tanto en curriculum como la generación de conocimientos. Si bien hay muchas formas de entender al curriculum, aquí lo consideramos como un conjunto de afirmaciones de conocimiento y de valor, lógicamente interrelacionadas, pedagógica y conceptualmente analizadas, en el sentido de tomar como base eventos previos o conocidos, para programar eventos futuros de aprendizaje y enseñanza (Gowin, 1981. Traducción del autor.)

Por último, el contexto social constituye una poderosa combinación de fuerzas que influyen en la educación, como las razones de ética, justicia social, cosmovisión, libertades, autoridades etc. Merecen mención especial el conjunto de funcionarios que gobiernan, como elementos de control social y responsables de hacer posibles los eventos educativos.

En resumen, diremos que estos cuatro elementos pueden requerir análisis específicos, pero siempre teniendo en cuenta la importancia de respetar las interacciones que existen entre ellos.

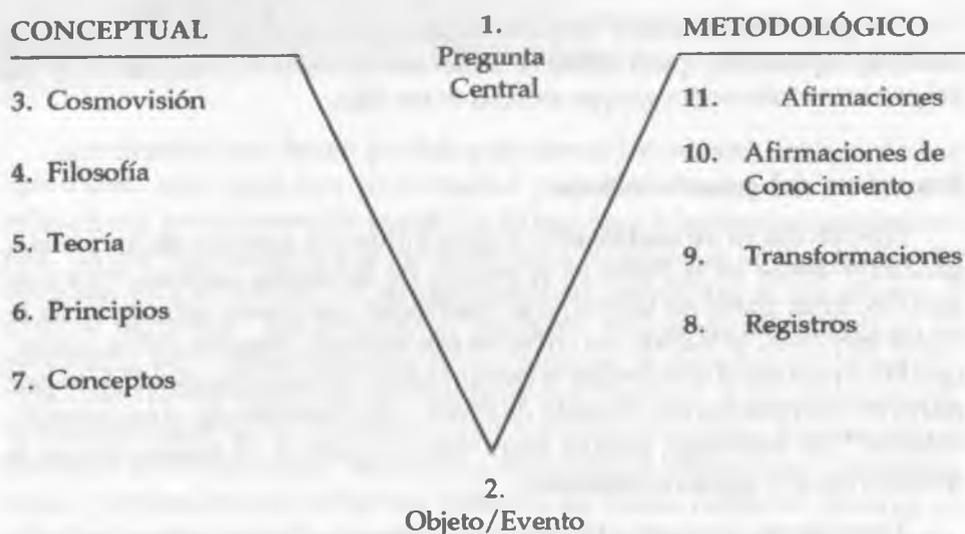
### **Propuesta del pre-sete trabajo**

Hoy en día es incuestionable la gran influencia que ejercen las ideas y procedimientos de la Física en el estudio de las demás ciencias. Por este motivo, gran parte de las carreras científicas cuyo tema central no es la Física incluyen, al menos, un curso de esta materia. Resulta obvia, entonces, la importancia que reviste la comprensión de los conceptos físicos por parte de los estudiantes, no sólo de Física, sino también de otras especialidades. Sin embargo, esto se logra sólo en parte o, al menos, no en la medida en que sería conveniente.

También es conocido el hecho de que los estudiantes no son advertidos de la importancia que tiene el reflexionar sobre sus propios saberes y la forma en que se producen los conocimientos. Es decir que, por lo general, en los cursos de ciencias del ciclo básico suelen ignorarse los factores epistemológicos que intervienen en la formación de las estructuras cognitivas de los estudiantes, factores primordiales cuando se trata de lograr un cambio en los alumnos que vaya desde las concepciones espontáneas hacia las concepciones científicas. Este hecho lleva a la necesidad de considerar los elementos del meta-aprendizaje (aprender a aprender) que fueron la principal guía de acción en la investigación que aquí se presenta.

Por otra parte, y debido a las numerosas dificultades en la enseñanza de la Física (Chrobak, R. 1992) urge, tanto a los profesores como a los alumnos, lograr una mayor "efectividad" del modelo de enseñanza-aprendizaje de la Física. A esta urgencia intenta responder el presente trabajo, proponiendo el desarrollo de un modelo científico de instrucción que está fuertemente apoyado por fundamentaciones teóricas sobre el aprendizaje humano y las experiencias de clase, realizadas en cuatro cursos introductorios de Física Y dictados en la Universidad Nacional del Comahue.

En la siguiente UVE se resume la planificación del proyecto de investigación en que se basa este trabajo.



1. **Pregunta central:** ¿Cómo puede un modelo científico de la instrucción ayudar a los alumnos y profesores de los cursos introductorios de Física a lograr un aprendizaje significativo de Mecánica general?
2. **Objeto evento:** Proyecto de investigación sobre el tema Aprendiendo a Enseñar Física.
3. **Cosmovisión:** El aprendizaje, cuando es significativo, potencia al ser humano porque lo hace "dueño" de sus conocimientos.
4. **Filosofía:** Aprender significativamente es construir significados nuevos a partir de la experiencia. Los estudiantes de Física puede aprender a construir sus propios conocimientos acerca de la Mecánica general.
5. **Teoría:** Ausubel-Novak- Gowin. (En adelante A-N-G)
6. **Principios:** Principios relevantes de la Teoría A-N-G para el presente trabajo:

1. La educación lleva a un cambio en el significado de la experiencia.
2. Cada acto educativo involucra 5 elementos: 1) el que aprende, 2) el que enseña, 3) la materia de estudio, 4) el contexto y 5) la evaluación.
3. Conceptos son aquellos con los cuales pensamos.
4. Los conceptos son percibidos como regularidades en eventos u objetos, o registros de eventos u objetos, representados por un rótulo.
5. Los seres humanos piensan, sienten y actúan.
6. El pensamiento, el sentimiento y la acción están integrados, para mejor a para peor.
7. El aprendizaje significativo requiere: 1) la predisposición a aprender significativamente, 2) materiales de aprendizaje significativos y 3) algún conocimiento relevante.
8. Las concepciones alternativas se adquieren tempranamente y son resistentes al cambio.
9. El conocimiento previo influencia todo nuevo aprendizaje.
10. El contexto tiene una fuerte influencia sobre el aprendizaje y su transferencia.
11. El conocimiento se almacena con un orden jerárquico.
12. El compromiso epistemológico del estudiante influencia su aprendizaje.
13. Los mapas conceptuales pueden ser una representación válida de la estructura conceptual proposicional de un individuo.
14. Las entrevistas clínicas pueden ser una prueba confiable de las estructuras de un conocimiento específico en un individuo.
15. La UVE Heurística puede resultar de utilidad para comprender el conocimiento y la producción de ese conocimiento.
16. La instrucción debería planificarse mediante un cuidadoso análisis del conocimiento relevante (que incluya mapeo conceptual y/o diagrama UVE).

17. Cuando en el programa de instrucción falta organización psicológica, o cuando la evaluación pone el acento en la repetición memorística, se fomenta el aprendizaje mecánico.
18. Las estrategias de aprendizaje cooperativo son efectivas.
19. Las herramientas metacognitivas de aprendizaje pueden mejorar substancialmente la educación.
20. Prestar atención celosamente a una epistemología y a principios de aprendizaje válidos pueden conducir a mejorar las prácticas de evaluación.
21. Los mapas conceptuales y los diagramas UVE pueden ser herramientas efectivas de evaluación.
22. Docentes con un alto nivel de eficiencia trabajan sobre sólidos fundamentos teóricos.
23. Cuidar constructivamente de los demás requiere de honestidad, apertura y compromiso para entender las inquietudes cognoscitivas y afectivas de los otros.
24. La supervivencia de la vida humana sobre la Tierra probablemente dependa del perfeccionamiento substancial de las prácticas educativas.

**7. Conceptos:** Aprendizaje significativo. Diferenciación progresiva. Reconciliación integradora. Organización jerárquica. Mapas conceptuales. UVE. Entrevista clínica. Evaluación. Concepciones espontáneas. Principales conceptos físicos.

**8- Registros:** Grabaciones de entrevistas clínicas con los estudiantes.

Resultados de las evaluaciones sumativas y formativas.

Encuestas a los estudiantes al finalizar el cursado.

**9. Transformaciones:** Análisis estadísticos de los resultados e interpretación de las entrevistas y encuestas.

## 10. Afirmaciones

**de conocimiento:** Han sido expresadas en el esquema del modelo obtenido y en las conclusiones. No obstante remarcaremos los principales principios que derivan del estudio, y que constituyen los lineamientos básicos de los que sería una teoría de enseñanza derivada del presente trabajo.

Para lograr una mayor eficiencia en el aprendizaje significativo, el modelo instruccional debe:

- \* Determinar el conocimiento previo de los estudiantes, es decir su estructura cognitiva y las concepciones alternativas.
- \* Identificar y enfatizar los conceptos centrales y unificadores de la asignatura y organizarlos jerárquicamente. En otras palabras, considerar la diferenciación progresiva.
- \* Reconocer las diferencias y similitudes entre los conceptos relacionados. En otras palabras considerar la reconciliación integradora.
- \* Motivar a los estudiantes para que traten de entender realmente el material presentado.
- \* Preparar las evaluaciones para obtener evidencias de aprendizaje significativo.
- \* Desarrollar una metodología sistemática para la resolución de problemas. Usar la evaluación como herramienta de enseñanza aprendizaje.
- \* Dar a los estudiantes la oportunidad de trabajar con otros estudiantes. Uso de técnicas grupales.

## 11. Afirmaciones

**de valor:** la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel-Novak-Gowin provee un excelente referencial teórico para impulsar investigaciones basadas en una teoría, y no en un método.

Los principios del aprendizaje significativo deben ser considerados en cualquier intento serio de diseñar un modelo de instrucción.

Resulta importante el desarrollo de metodologías para mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes. Como resultado de ese aprendizaje, ellos podrán mejorar su capacidad para enfrentar con éxito problemas novedosos y tomar decisiones trascendentes.

Las evaluaciones bien diseñadas son una excelente ayuda para el proceso de enseñanza-aprendizaje cuando se busca aprendizaje significativo. Las herramientas metacognitivas son de gran utilidad para el proceso de enseñanza aprendizaje y como alternativas de evaluación, cuando se buscan evidencias de aprendizaje significativo.

La intención es hacer conocer esta investigación en enseñanza de Física, como así también el modelo científico de instrucción emergente de la misma, centrandó en la asignatura "Física Y", correspondiente a las diversas orientaciones de la carrera de Ingeniería y Profesorados de Matemática, Física y Química, donde se desarrollan los temas de Mecánica general. Dicho modelo será adaptado, en etapas posteriores, a otros temas de Física.

Los **contenidos mínimos** de esta Física introductoria que se desarrolla en forma cuatrimestral, con una carga horaria de 12 horas semanales, son los siguientes:

- \* Leyes y Magnitudes de la Física. Mediciones.
- \* Leyes de Conservación.
- \* Descripción del movimiento y sus causas
- \* Hidrostática.
- \* Aplicaciones.

Los **objetivos** de esta propuesta pueden resumirse de la siguiente manera:

- \* Favorecer el surgimiento de nuevos elementos que acentúen el cambio hacia el aprendizaje significativo.
- \* Destacar la planificación como punto de partida esencial para toda acción educativa.

- \* Desarrollar un modelo científico de instrucción, que permita un movimiento hacia el aprendizaje significativo.
- \* Estudiar y adaptar el modelo para su aplicación a otras áreas educativas de la región.

Aspiramos a que el conocimiento de este modelo metodológico haga nacer la inquietud en docentes e investigadores, y los anime a intentar la aplicación de enfoques similares al propuesto.

### Marco teórico del proyecto

El referente teórico de este trabajo lo encontramos en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, Novak y Gowin, en la actualidad ampliamente difundida (Ausubel et al., 1978, 1983; Novak, 1977, 1982, Gowin, 1981, Novak y Gowin 1986, 1988; Moreira, 1993). Esta teoría enfatiza el punto de vista cognitivo de la Psicología Educativa y su relación con el aprendizaje significativo. Se corresponde, además, con una epistemología constructivista, en la medida en que sostiene que el conocimiento en una producción del ser humano, con las búsquedas, intuiciones, aciertos, desaciertos y rectificaciones que esto implica. Como resultado de los trabajos de Novak y Gowin, se han producido las así llamadas "herramientas metacognitivas", por ejemplo los Mapas Conceptuales (Novak, y Gowin, 1984) y los Diagramas Uve (Ibid.), también llamada "V" de Gowin (Moreira y Buchweitz, 1993), que permiten mejorar el aprendizaje y facilitan la investigación educativa. Una descripción del uso de las herramientas metacognitivas, aplicadas a la enseñanza de Física introductoria (Mecánica newtoniana), se puede encontrar en el artículo "Uso de estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo en los cursos de Física introductoria" (Chrobak, 1995).

Como ya se ha señalado, nos hemos concentrado en el diseño de un modelo de instrucción, es decir, el énfasis fue puesto en uno de los cuatro "elementos indisociables" de la educación: la enseñanza. Esto permitirá ayudar a los docentes de los mencionados cursos en su tarea, tanto dentro, como fuera del aula.

Es obvio que el presente trabajo, por su carácter de investigación educativa, deberá fundamentarse en principios establecidos por la Psi-

ciencia; ésta se basa, a su vez, en dos premisas fundamentales (Ausubel et al., 1978, 1983): 1) La naturaleza del aprendizaje en el salón de clase y sus variables pueden ser identificadas con seguridad; 2) El conocimiento obtenido como resultado de la primera premisa puede sistematizarse y darse a conocer a los docentes. Debemos aclarar aquí que existen dos creencias sobre la enseñanza que entrar en conflicto con estas premisas; en primer lugar la que sostiene que el conocimiento de un tema por parte de una persona le confiere la autoridad y la competencia necesarias para enseñarlo; en segundo lugar, se sostiene que la habilidad de enseñar es innata (los profesores nacen, no se hacen).

La primera creencia fue, en verdad, ampliamente refutada por la experiencia, ya que todos conocemos al "alumno brillante" que es incapaz de transmitir sus saberes a otros estudiantes. En cuanto a la segunda, es suficiente con decir que no todos nacen con las mismas capacidades y por lo tanto es razonable esperar que la mayoría de las personas con inteligencia normal puedan aprovechar la instrucción sistemática sobre posiciones validadas lógicamente y empíricamente, acerca de la naturaleza del proceso de enseñanza.

Por otra parte, también se sabe que los principios del aprendizaje en la sala de clases no pueden aplicarse directamente a las prácticas de enseñanza, sólo constituyen los lineamientos generales que permitirán "direccionar" tales prácticas. En realidad, hace falta aún mucha investigación aplicada que nos permita transformar los principios del aprendizaje en principios de la enseñanza; es decir, adaptarlos a las distintas y complejas realidades de cada caso, con distintas características de los alumnos, contenidos, motivaciones etc. No debe olvidarse que la aplicación con claridad y eficiencia de los principios de cada situación particular, requiere más arte que ciencia; la enseñanza, como otras profesiones, exige una prolongada actividad práctica y una sensibilidad especial, que va más allá de los que los cursos de ciencias pueden otorgar.

En el marco de la teoría ausubeliana, entenderemos la enseñanza como **el encausamiento deliberado de los procesos de aprendizaje a través de los lineamientos sugeridos por una teoría del aprendizaje que sea relevante en el salón de clase.** (Ausubel et al., *Ibid.*)

Es conocida la controversia que existe entre los distintos especialistas en el tema, acerca de la pertinencia de las teorías de aprendizaje en la enseñanza. Muchos autores sostienen que son absolutamente independientes y que los que se necesita desarrollar para ayudar a los docentes, es una teoría de enseñanza. Esto se basa en argumentos históricos y argumentos lógicos. El argumento histórico sostiene que la contribución de las teorías del aprendizaje han proporcionado muy poco para asistir a los docentes en la enseñanza. Pero esto se debe principalmente al hecho de haber sido muy estudiado el aprendizaje mecánico y no el significativo que es el que debe ocurrir en el ambiente áulico. El argumento lógico se basa en considerar el aprendizaje independientemente de la enseñanza, en lugar de tomar en cuenta la interrelación entre ambos. Aquí se sostiene que, si bien son dos cosas distintas, no puede elaborarse una teoría de la enseñanza que no sea basada en una del aprendizaje. En efecto ¿que finalidad tiene la enseñanza sino es lograr el aprendizaje? ¿Cómo se puede evaluar la enseñanza si no es a través de la evaluación del aprendizaje de los estudiantes? Por lo tanto, es natural que los principios de la enseñanza deben originarse en el aprendizaje, e ir más allá que éstos, en el sentido de aplicar los primeros en forma práctica. O sea, que los principios básicos de la enseñanza serán derivaciones aplicadas de la teoría del aprendizaje en el salón de clases y surgirán, entonces, como productos de un tipo ingenieril de investigación, basada en una teoría de aprendizaje. Investigaciones de este tipo, evidentemente, se hacen necesarias para superar dificultades prácticas que aparecen en la tarea de enseñanza.

Por ende, aceptamos que las teorías de enseñanza y aprendizaje son fuertemente interdependientes más que excluyentes. Ambas son necesarias para el logro de los objetivos propuestos en la tarea de educar.

### **La epistemología constructivista**

Se ha dicho que el constructivismo en una nueva manera de conceptualizar el conocimiento y la adquisición del conocimiento (aprendizaje). Sabemos que el constructivismo se hace en una serie de perspectivas filosóficas totalmente diferentes: La epistemología genética de Piaget, ciertas teorías sobre el movimiento científico como por ejemplo las de Kuhn, Feyerabend, Lakatos y otros. Asimismo, se pueden mencionar las teorías

del constructivismo social y constructos personales y la teoría de adquisición del lenguaje de Vygotsky.

Se puede resumir la epistemología constructivista diciendo que constituye: *"una postura que entiende al conocimiento humano como un proceso de construcción cognitiva llevada a cabo por los individuos que tratan de comprender el mundo que los rodea"*.

Desde el punto de vista de la educación la principal conclusión que deriva de la epistemología constructivista es que el que aprende no es visto como un receptor pasivo de conocimientos, sino **como un constructor activo del mismo**.

En la enseñanza de ciencias el *constructivismo radical* representa el punto de vista más adecuado para la enseñanza de Matemáticas, Física, Química etc. y se debe a Glasersfeld (1989). En esta postura, el conocimiento es visto como una construcción tentativa de los seres humanos, realizada sobre la base de lo que ya conocen. El carácter tentativo es de fundamental importancia, ya que de allí se deriva la hipótesis que niega la existencia de la "verdad última" e irrefutable para esta clase de conocimiento (el científico, producido por los seres humanos). No obstante la posibilidad de existencia de este tipo de verdad en las creencias religiosas no es cuestionada, ya que el carácter tentativo del conocimiento se refiere solamente al conocimiento experimental, al construido por los individuos y al científico.

Es importante para el estudiante la comprensión del carácter provisional del conocimiento, el cual proviene tanto de pequeños como de grandes descubrimientos realizados por los estudiosos e investigadores del pasado y del presente, pero también del futuro, lo que obligará, seguramente, al cambio de muchas concepciones sobre distintos aspectos de la ciencia de la cual se ocupan. Esto está, además, ligado a la implementación de programas lo suficientemente flexibles, como para permitir intensificar ciertos temas de interés actual, ya sea regional o particular. Toma entonces su lugar la posibilidad de ensayar y evaluar, en módulos pilotos, la incorporación de nuevos contenidos, los denominados "temas o problemas de frontera", antes de inclusión en forma generalizada. En este caso intervienen también los recursos producidos por todas las ciencias básicas: Física, Química, Biología, Matemáticas etc.

El constructivismo radical toma como válidos los siguientes principios centrales:

- 1) El primer principio característico del constructivismo para la educación en ciencias es la construcción activa de nuevos conocimientos sobre la base de las concepciones previas de los estudiantes. Esto significa que no existe una simple transferencia de piezas de conocimiento desde una cierta fuente hacia el que aprende, sino que el conocimiento previo ha probado ser el ladrillo base para la construcción de nuevo conocimiento. (Sin embargo, al mismo tiempo, puede también ser un impedimento para el aprendizaje, ya que en muchos casos estas concepciones previas están en un marcado contraste con las concepciones científicas que deben ser aprendidas).
- 2) La construcción es tentativa: es decir que el nuevo conocimiento debe tomarse siempre como hipotético válido para una determinada comunidad científica en una determinada época y puede sufrir cambios mayores o menores a medida que surjan evidencias que así lo indiquen.
- 3) Construcción social: aunque cada individuo tiene que construir sus conocimientos por sí mismo, este proceso no puede desprenderse de un contexto social.
- 4) Viabilidad: los nuevos conocimientos e ideas que se construyan necesitan ser viables, es decir: útiles para un individuo o grupo de individuos. Los estudiantes podrían, por ejemplo, construir lo que a que a ellos les guste, pero entonces correrían el riesgo de no ser entendidos por los otros y por lo tanto permanecer aislados del resto de la sociedad.

Conviene aclarar la confusión de muchos que hablan de la existencia de, un *aprendizaje constructivista*, de hecho, el aprendizaje puede tener lugar de muchas formas diferentes. A modo de ejemplo, podemos citar, que todos los seres humanos adquieren un lenguaje, haciendo un esfuerzo para relacionar cada símbolo y sonido, con los objetos y/o eventos que ellos representan (para los animales esto hace de cada ser humano un genio). Naturalmente, el aprendizaje del lenguaje es un logro importantísimo de los seres humanos, pero nos encontramos con que prác-

ticamente, no hay leyes científicas universales que describan este tipo de evento. En otras palabras, podemos decir que la variabilidad del proceso de aprendizaje es mucho mayor que sus posibles rasgos comunes o regularidades. Si bien es cierto que se pueden determinar regularidades, su posible variación en cada caso es remarcable y notable, por lo que son dificultosas de aceptar científicamente. Ciertamente, los sintetizados en número de leyes o principios científicos que cumplan la condición de parsimonia (pocos y sencillos). Debido a esto, aunque para la mayoría de los humanos parece simple entender qué es el aprendizaje, para los científicos no lo es tanto; como consecuencia de ello, cuando nos enfrentamos al fenómeno de la educación, el concepto de aprendizaje no es ni claro ni preciso, ya que ni la ciencia ni el sentido común nos da las pautas claras que necesitaríamos.

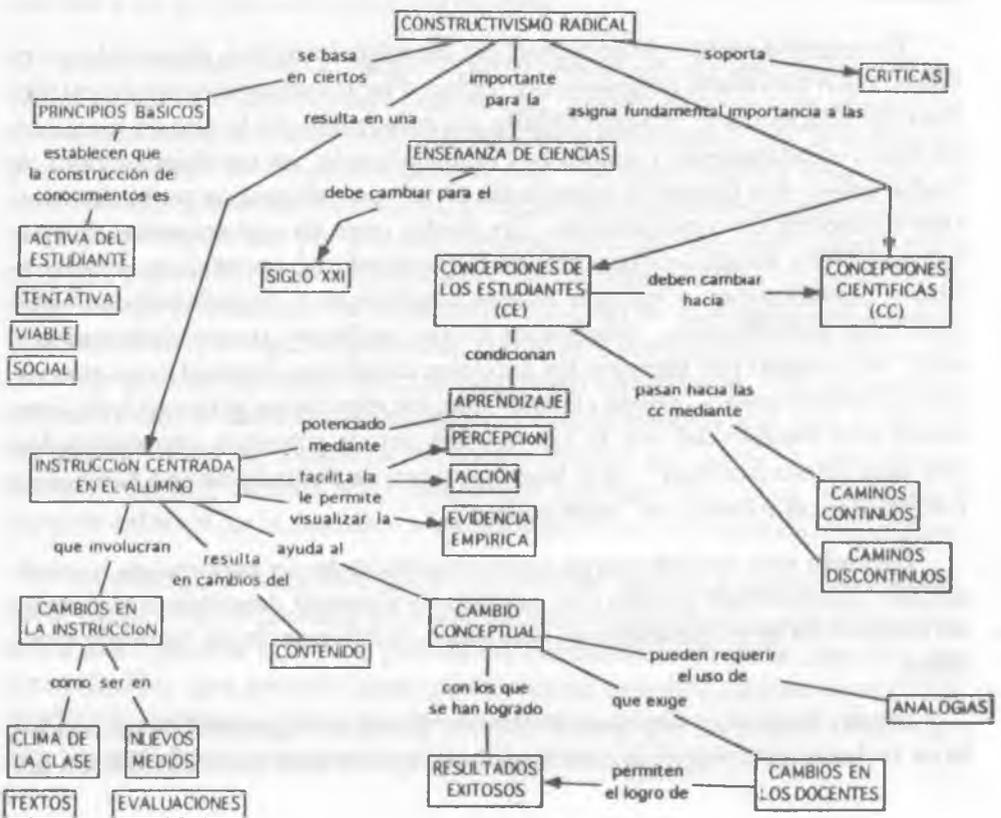
Dicho esto, y aceptando las múltiples formas en que se da el aprendizaje, diremos que en todas ellas el constructivismo lo visualiza como una construcción activa realizada por el que aprende (alumno), aún cuando se apliquen metodologías tradicionales. Lo que el enfoque constructivista permite es comprender las dificultades de los alumnos para aprender y proporciona una guía para desarrollar estrategias de enseñanza y aprendizaje más eficientes, aplicando una pedagogía cuyo protagonista central es el alumno. El protagonista es el estudiante, sus intereses, sus habilidades para aprender y sus necesidades en un sentido amplio. De esta forma, la enseñanza de las ciencias desde esta perspectiva apunta a que el estudiante comprenda no sólo los conceptos científicos involucrados, sino en qué manera ese conocimiento es significativo para su vida y para la de sus semejantes, haciendo posible el aumento del potencial humano y, por ende, su **creatividad**. Estas últimas características han merecido amplias consideraciones y se ha dado a llamar la "Interacción de Ciencia-Tecnología-Sociedad" o también "ciencia para todos".

En cuanto a los elementos involucrados, el enfoque constructivista apunta al cambio de varias facetas de la enseñanza de las ciencias. Entender ciencias para este enfoque va más allá de repetir fórmulas y definiciones de memoria; incluye también creencias científicas y el tema de la metacognición (de importancia clave para el enfoque de este trabajo). trata de lograr un estudiante **reflexivo y creativo**, que sea consciente del poderío y de las limitaciones de su pensamiento. Por este motivo, se pone

énfasis en los cambios que se deben efectuar en la enseñanza de las ciencias a fin de lograr la más amplia interacción entre los así llamados elementos comunes de todo proceso educativo, como son la enseñanza (docente), el aprendizaje (alumno), el curriculum y el contexto social (especialmente destacamos aquí a las autoridades). A estos cuatro elementos irreductibles de la educación J.D. Novak (1986) le agrega un quinto: la evaluación, no se logran mejoras significativas, a menos que se consideren estos cinco elementos en conjunto.

En la Figura 1, se muestra un mapa conceptual con los conceptos centrales a tener en cuenta para diseñar la instrucción desde la perspectiva constructivista.

**Figura 1**  
**El constructivismo en la enseñanza de ciencias**



## ¿Por qué un modelo instruccional?

La palabra modelo tiene en el uso cotidiano ciertas acepciones que no la hacen especialmente feliz para designar claramente a qué nos estamos refiriendo cuando hablamos de modelo instruccional. Solemos utilizarla para significar que los jóvenes no encuentran en su entorno comportamientos dignos de emulación cuando aseveramos que "no tienen modelos", hablamos del "modelo en escala" de un puente o una nueva planta productiva, estrenamos un "modelo" exclusivo para una fiesta, tenemos un auto "modelo '96" o vemos a la "modelo" recorriendo la pasarela.

En los procesos de la ciencia, el término modelo se emplea como sinónimo de teoría, esquema conceptual o sistema. Es decir que se interpreta el modelo científico como una forma de pensar u organizar ideas, que nos permite comprender el comportamiento de ciertos fenómenos de nuestro interés.

En nuestro campo, la construcción de conocimientos, el modelo no es visto como un objeto propiamente dicho. Por la naturaleza de su estructura de relaciones el modelo resulta un constructo de la mente humana, incluso cuando somos capaces de "materializarlo" en un objeto, opera de hecho como una instancia intermedia en la que delegamos parte de nuestras funciones de conocimiento. En efecto, cuando comenzamos a separar un objeto, evento o situación de la realidad que aparece en la naturaleza y comenzamos a agregar rasgos hipotéticos o "regularidades" que permitan identificarlos, obtenemos lo que se llama: un modelo conceptual. Así surgen por ejemplo los modelos atómicos, como el muy conocido del núcleo como "punto central" con los electrones girando a su alrededor o el modelo del Sol, la Tierra y los demás planetas, representados por una "masa puntual". Si el fenómeno puede describirse con funciones o fórmulas, el modelo es "matemático".

Cuando este modelo surge como resultado de un proceso de investigación firmemente guiado por una teoría y puede describirse el detalle en función de leyes generales ya conocidas, hablamos de un "modelo científico".

Según Arcá, M. y Guidoni, P. (1989) "El objetivo general de un modelo es reducir (restringir) la cantidad de lo que es aún desconocido en un

campo no del tono conocido y permitir a los elementos de los que se conoce coagular en una forma determinada y compleja. En todo caso, un modelo es un poderoso instrumento mental, especialmente apto para la construcción de estructuras de la realidad, cuando su complejidad no nos permite alcanzar un control directo del significado de los hechos."

Así concebido, el modelo permite, a partir de lo conocido, incorporar nuevas experiencias y observaciones de la realidad a fin de ajustar nuestra interpretación de la misma. Al mismo tiempo que un modelo aparta la atención (abstrae) de muchas características de la realidad, también aporta a la reconstrucción organizadora muchos rasgos nuevos, que pueden no encontrar correspondencia directa con la realidad a partir de la cual comenzó la actividad de modelado. De esta manera un modelo siempre comporta su propia originalidad, en cuanto añade a la selección esquemática de los hechos observados otros trazos peculiares pertenecientes a su propia naturaleza de modelo.

Es en este sentido de construcción tentativa en que empleamos el término modelo instruccional (científico), aplicándolo a una secuencia didácticamente consistente de estrategias de enseñanza, con la que se esperan alcanzar los objetivos propuestos. La característica inherente al modelo de ser transitorio y dúctil, lo hacen especialmente apropiado para configurar esquemas que pueden tomarse como lineamientos básicos para guiar el permanente desplazamiento de nuestra práctica docente hacia criterios de excelencia. Es importante destacar la diferencia del modelo instruccional que aquí se propone, con el método didáctico estructurado que fija pautas estrictas de cumplimiento obligatorio. En el modelo instruccional se trata de ir amalgamando experiencias que han probado ser positivas en un esquema de acción abierto que permita una rápida transformación, atentos a las diferencias individuales de los alumnos, a nuevos estados de la ciencia y a los aportes de la investigación educativa.

Un modelo es aceptado por la comunidad científica siempre que permita explicar la naturaleza de las situaciones relacionadas con él, que no haya discrepancia entre los principios fundamentales de la ciencia y su formulación, que permita hacer predicciones que demuestren su validez mediante la observación y la experimentación, y que conduzca a situaciones nuevas donde seguir investigando.

Es necesario añadir que la validez del modelo puede ser cuestionada y que, asimismo, puede desaparecer el paralelismo entre él y la situación que represente, en cuyo caso se dice que el modelo ha sido "superado". No obstante, su aplicación será válida si se deja de lado la idea de que el modelo es la realidad, y que deberá indefectiblemente ser reemplazado por otro modelo más "actualizado". De hecho, los modelos siguen siendo válidos en la medida que no se sobrepasen sus límites de aplicación. Por supuesto que el proceso de reemplazar modelos es inherente al avance mismo de la ciencia en general y de la educación en este caso, el cual continuará indefinidamente. No por ello deben cuestionarse u olvidarse los éxitos extraordinarios que suelen cosechar los modelos, los que siguen vigentes aún después de superados. El modelo debe ser siempre entendido como adecuado a una porción limitada de la realidad y la búsqueda del modelo absolutamente verdadero escapa al espíritu mismo de una ciencia experimental.

El sucesivo desarrollo de modelos proporciona una enseñanza profunda de los fenómenos en estudio, y no debemos desanimarnos al encontrar que el que habíamos adoptado debe reemplazarse o mejorarse, ya que este hecho se repetirá con frecuencia y cuando más seguido es, mejor, ya que ello indica simplemente que se ha producido un cambio y que la investigación científica ha avanzado otro paso en el largo camino que constituye desentrañar la naturaleza.

Por todo lo expuesto, consideramos de fundamental importancia para ayudar en sus trabajos a los docentes y estudiantes, el desarrollo de modelos instruccionales, que tengan en cuenta las salvedades en cuanto a dos factores: validez y aplicabilidad a los distintos casos.

Queda claro, en fin, que cuando hablamos de modelo estamos lejos de referirnos simplemente a un conjunto de "recetas" para que el profesor las utilice en su trabajo en forma mecánica. Más bien, se trata de desarrollar conjuntamente; docentes, alumnos, autoridades, investigadores de la educación, etc., las acciones necesarias para lograr resultados excelentes al final del proceso enseñanza-aprendizaje.

En este trabajo, el modelo se concentra principalmente en los cursos de Física introductoria, ámbito que ha proporcionado los datos experimentales que permitieron el diseño del mismo, pero se ha tratado, en

todo lo posible, tomar en cuenta consideraciones generales que permitan la fácil transferencia a otros campos de la enseñanza.

### **Características del modelo**

El diseño de los cursos utilizados para ensayar las nuevas metodologías, se basó en el punto de vista cognitivo, emanado de la teoría mencionada, y dio por resultado la posibilidad de elaboración del nuevo modelo instruccional que trata de privilegiar el aprendizaje significativo sobre el tradicional aprendizaje memorístico que caracteriza a la enseñanza actualmente en vigencia en la mayoría de nuestras instituciones. Quizás sea procedente aclarar aquí que, de ninguna manera, estamos diciendo que el aprendizaje memorístico sea desechable, ya que todos reconocemos la gran utilidad que significa tener una buena memoria (por ejemplo si debemos hacer un llamado telefónico); se trata de dar significado a los conceptos existentes en la estructura cognitiva, de forma, "que crezcan" más y más en proposiciones significativas a medida que el proceso instruccional avanza, lo que resultará en una mayor eficiencia del aprendizaje, como ha sido determinado en los trabajos previos, sobre cuyos datos se elaboró el presente modelo (Chrobak R. y Herrera C 1995, en prensa).

Aclarado este aspecto, describiremos las características del modelo que responde a la pregunta que muchos educadores se hacen: ¿cómo enseñar Física introductoria?

Los principales conceptos del modelo que aquí se propone, están señalados en la Figura 2. En la misma se muestra que todo diseño de la instrucción se debe basarse en la currícula vigente, de la que surgen los objetivos generales de la asignatura y los contenidos mínimos, a partir de los cuales el docente debe elaborar (cuando es posible, con la colaboración del grupo de estudiantes) el programa analítico y los objetivos específicos, según la estructura conceptual lógicamente organizada.

Por otra parte, debe determinar las estructuras cognitivas del grupo de estudiantes, de los que surgirán los conceptos inclusores y también los conceptos espontáneos, que permitirán organizar psicológi-

camente la estructura conceptual a enseñar. Con este dato, los criterios de evaluación y las técnicas de enseñanza seleccionadas, se podrá proceder a planificar la instrucción.

De ser necesarios, deberán prepararse **organizadores previos** y también es muy importante seleccionar los conceptos o **temas penetrantes** que ayudarán a integrar o interrelacionar temas diferentes, en este caso: "partículas elementales". Obviamente estos temas deben introducirse al principio de la instrucción, por la función integradora que desempeñan.

La planificación resultará de haber seleccionado el material significativo, actividades de enseñanza, de aprendizaje y el correspondiente cronograma. Con estos materiales, el docente estará preparado para proceder a la tarea de instrucción, teniendo en cuenta el concepto importante del marco teórico: **compartir significados con los estudiantes**.

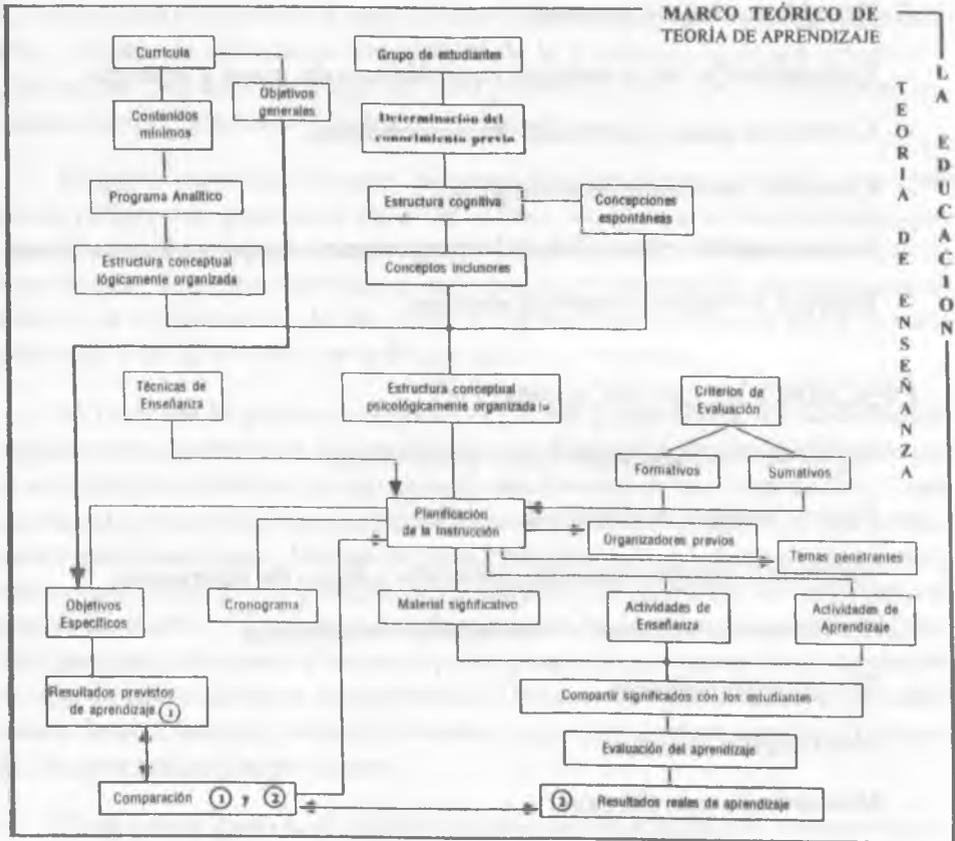
Durante y al final de la instrucción se procederá a la evaluación del aprendizaje, que permitirá obtener los resultados reales de aprendizaje (2), que podrán compararse con los resultados previstos de aprendizaje (1). Esta comparación será muy rica en datos que permitirán retroalimentación, tanto para retocar los aspectos que sean necesarios de la planificación, como para modificar el diseño curricular.

A continuación se tratan con más detalles algunos de los conceptos claves involucrados en el modelo propuesto.

### **Estructura conceptual de la asignatura**

Para seguir el marco teórico presentado anteriormente, una tarea importante del instructor será determinar la estructura conceptual de la asignatura. Luego, los conceptos más generales, más inclusivos, se deberán presentar al inicio, bajando progresivamente hacia los más específicos, de esta manera será posible acomodar la secuencia de los contenidos de acuerdo con los principios de la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. A continuación se presentan los conceptos centrales de la Mecánica que se imparten en el Física introductoria, organizados de acuerdo a los principios antes mencionados:

**Figura 2**  
**Esquema para el diseño del modelo instruccional.**



**\* LEYES Y CANTIDADES DE LA FÍSICA**

- Mediciones y patrones de medición.
- Sistema internacional de unidades (SI)
- Unidades básicas (longitud, masa, tiempo, etc.).
- Unidades derivadas (fuerza, velocidad, etc.).

**\* LEYES DE CONSERVACIÓN**

- Partículas y sistemas de partículas.
- Energía, trabajo y potencia.
- Conservación de la energía; equivalencia de masa y energía.
- Centro de masa y cantidad de movimiento.
- Cantidad de movimiento angular.
- Conservación de la cantidad de movimiento; choques e interacciones.
- Energía potencial y energía cinética.

**\* DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO**

- Leyes de Newton, dinámica y cinemática.
- Fuerza, masa y aceleración.
- Velocidad, desplazamiento, posición y terna de referencia.
- Movimiento rectilíneo y movimiento en el plano.
- Movimiento relativo.
- Movimiento circular.
- Movimiento con fricción.
- La velocidad máxima.

**\* APLICACIONES**

- Rotación del sólido rígido; energía en los sistemas de rotación.
- El movimiento angular y su conservación.
- Gravedad, leyes de Kepler, satélites y el sistema solar.
- Movimiento oscilatorio, oscilaciones forzadas y amortiguadas.

Evidentemente, una vez que la estructura conceptual de la asignatura está organizada, será más fácil identificar cuáles son los subsumosores claves y, en consecuencia, qué conceptos deben tener los estudiantes en su estructura cognoscitiva para iniciar el proceso de aprendizaje significativo. Poseer la estructura conceptual de la Mecánica ayudará también a diseñar el pre-test o cualquier otro procedimiento para averiguar los subsumosores relevantes de los estudiantes.

Es justo puntualizar aquí que esta estructura conceptual, así preparada, reflejará el punto de vista del autor, por lo cual es aconsejable que varios expertos, trabajando en grupo, la preparen. En consecuencia, la instrucción deberá comenzar a un nivel completamente general, discutiendo la importancia de las leyes y las cantidades físicas para la vida humana y en el estudio de la Física clásica y moderna.

Al final de la primera unidad se puede presentar a los alumnos el esquema conceptual de la estructura de la Mecánica, lo cual facilitará que el estudiante entienda la organización secuencial de los contenidos. Luego de esta presentación se analizarán los conceptos centrales y sus principales interrelaciones. Más tarde, los conceptos a presentar se hacen más y más específicos y sus similitudes y diferencias deberán ser enfatizadas por el instructor. Debido a que la mayoría de los libros de texto siguen una secuencia opuesta a la que aquí se propone, es conveniente la preparación de notas de clase que permitan a los estudiantes la lectura de materiales de instrucción psicológicamente organizados para ayudar al proceso de aprendizaje significativo.

El siguiente paso será la introducción de las ecuaciones matemáticas, de tal manera que el instructor podrá organizar una revisión de los conceptos matemáticos que los estudiantes ya manejan y su aplicación al estudio de la Física. Esto permitirá el comienzo de un proceso de retorno, a través de la estructura conceptual, como lo indica el principio de la reconciliación integradora.

Resumiendo, el instructor tendrá que cumplir dos etapas importantes para lograr el aprendizaje significativo: la primera, consiste en identificar los conceptos centrales de la disciplina y organizarlos jerárquicamente, comenzando por los más generales hacia los más específicos; en la segunda etapa, se tomarán como base los resultados de la primera para deter-

minar la organización secuencial de los contenidos. Este orden podrán incluir el uso de organizadores previos.

### La Planificación

El plan de enseñanza debe ser elaborado por el docente responsable de la asignatura, tomado como base las metas establecidas en el diseño curricular que, naturalmente, no son elaboradas por el docente, sino por las respectivas comisiones curriculares, que dan como conclusión lo que, en términos de Johnson, constituyen la "Serie estructurada de resultados previos de aprendizaje" (Johnson M. 1967), de donde surgen los objetivos generales y los contenidos mínimos. A partir de ellos el docente elaborará los contenidos analíticos y los objetivos específicos.

Para elaborar los contenidos analíticos (comúnmente conocidos como "el programa" de la asignatura), es importante comenzar con lo que Ausubel denomina una **matriz de conceptos y/o proposiciones y destrezas**. Para esto, es necesario tener en cuenta los principios de la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. Según el primero, las ideas más generales e inclusivas de la disciplina deben presentarse al inicio y luego ir diferenciándolas en función de los detalles y la especificidad. Este orden corresponde a la secuencia natural en que el ser humano adquiere conciencia cognoscitiva sobre un nuevo cuerpo de conocimientos cuando lo hace espontáneamente. Aunque este principio parece tan evidente, rara vez se lo tiene en cuenta al organizar el material de los libros de texto o los procedimientos de enseñanza, con gran desmedro para el aprendizaje significativo y forzando la memorización.

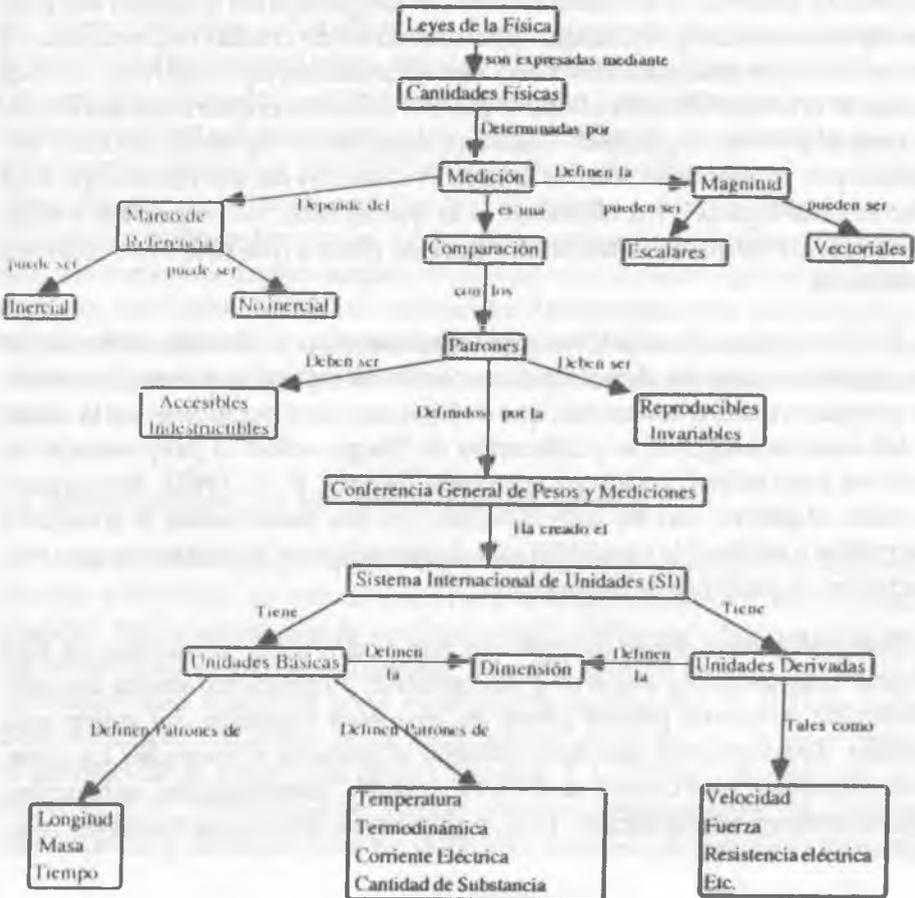
Tener en cuenta el principio de la reconciliación integradora al programar la enseñanza, implica la realización de esfuerzos **serios y explícitos** para explorar las múltiples relaciones entre conceptos parecidos, señalando las semejanzas y diferencias importantes, de manera tal que puedan aclararse las inconsistencias reales o aparentes.

Esto, evidentemente, es ignorado por los autores de textos que tratan por separado conceptos que en realidad tienen muchas relaciones entre sí, o emplean términos múltiples para identificar conceptos intrínsecamente equivalentes, generando incontables tensiones y/o confusiones cognitivas en los estudiantes.

Cabe señalar aquí, un excelente procedimiento, que permite considerar los principales aspectos de ambos principios: la confección de un mapa conceptual del tema en cuestión.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo aplicado a la unidad sobre magnitudes y mediciones, con los principales conceptos del tema ordenados en distintos niveles jerárquicos y explicitando las relaciones fundamentales entre ellos. Este mapa permitirá al docente identificar claramente los conceptos centrales relevantes (subsumsores o inclusores) del tema a enseñar.

**Figura 3**  
**Mapa conceptual sobre magnitudes y mediciones.**



## La elaboración de los objetivos

La importancia de la buena elaboración de los objetivos estriba, principalmente, en la claridad con que permiten encarar la tarea docente y la posibilidad de una evaluación rápida y continua de la evolución del proceso enseñanza-aprendizaje. Por otra parte, el hecho de elaborar objetivos de aprendizaje válidos, supone para el docente una profunda reflexión sobre qué va a enseñar y cómo lo hará.

Pero, ¿qué entendemos por objetivo? En el marco teórico de este trabajo diremos que los objetivos de aprendizaje son un conjunto de declaraciones, preferencia y/o ejemplos que se necesitan para describir el aprendizaje deseado en los alumnos. Los objetivos siempre se refieren a un resultado a obtener en el alumno como consecuencia de la acción del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto último es de crucial importancia ya que en todo proceso educativo una vez formulados los objetivos, se hace posible la creación de actividades y procedimientos encaminados a alcanzar esos objetivos, finalizando con la evaluación del aprendizaje final adquirido por el alumno. Vemos que la evaluación de los resultados está íntimamente ligada a los objetivos, o lo que es más, no es posible hablar de evaluación de los resultados sin tener en claro a qué objetivos estamos apuntando.

Por lo común, los objetivos que más interesan al docente al frente de una signatura, son los denominados objetivos específicos, conductuales, comportamentales o concretos, que se hicieron muy populares en la década del sesenta luego de la publicación de Mager sobre la preparación de objetivos para la instrucción programada (Mager, R. F., 1962). Resumiendo, estos objetivos son los que muestran en sus enunciados la conducta observable y evaluable (medible) que deben adquirir los alumnos una vez concluido su paso por la asignatura.

Estos objetivos deben describir lo que podrá hacer el alumno en tres campos: cognoscitivo, afectivo y psicomotriz. El primero, abarca las conductas que ponen en primer plano los procesos mentales del sujeto que aprende. Las variables que debe manejar el docente al formular los objetivos referidos a este campo son: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación. El campo afectivo abarca las variables rela-

cionadas con actividades y emociones del sujeto: recepción, respuesta, valoración, organización y valores. En el campo psicomotriz encontraremos en primer plano las actividades neuromusculares y físicas, siendo las variables: frecuencia, energía y duración.

Además, para que el objetivo resulte bien formulado, deben tenerse en cuenta otros aspectos del proceso de aprendizaje, como: la enseñanza, la institución en que ésta se imparte y los métodos de evaluación a utilizar.

Sin embargo, es necesario advertir que, si se planifica toda la instrucción con base en los objetivos conductuales en la forma aconsejada por Mager, se corre el riesgo de desconocer cuáles son los conceptos centrales que deben aprenderse, su estructura jerárquica y cuáles son las interrelaciones entre ellos, con lo que favoreceríamos el aprendizaje memorístico en perjuicio del significativo. En otras palabras, estaríamos planificando la instrucción ignorando importantes aspectos del trabajo intelectual necesario para el aprendizaje significativo que, lógicamente, deben ser abordados durante la planificación de la instrucción. Es por eso que en este modelo se asigna principal importancia a la organización y jerarquía de los conceptos, para luego, a partir de allí, elaborar los mencionados objetivos que, a pesar de los problemas citados, resultan útiles al momento de elaborar las estrategias de evaluación, debido a que son más claros de interpretar por los estudiantes y pueden ser fácilmente convertidos en formatos de evaluación.

### **La determinación de los conocimientos previos**

Asubel (Ibid.), dejó claramente establecida la importancia del conocimiento previo de los estudiantes para al adquisición de nuevos conocimientos, tema ampliamente aceptado y difundido en la bibliografía y por los investigadores de la educación. Por este motivo se hace imprescindible como paso siguiente para planificar la instrucción, la determinación del conocimiento previo de los estudiantes. A tal fin, es de gran utilidad el empleo de la entrevista clínica (Novak, J. D., 1986; Moreira, M. A. & Silveira, F. L., 1993) que se revela como un instrumento de particular importancia y utilidad para los docentes, tanto en el área de la investiga-

ción, como para determinación de estructuras cognitivas y la detección de concepciones alternativas o espontáneas.

Tal vez resulte útil dedicar un párrafo a la aclaración de lo que aquí entendemos por *concepto espontáneo*. Nos referimos así para designar a aquellas concepciones que traen los estudiantes en su estructura cognoscitiva y que son derivadas de su contacto diario con el "mundo real", es decir con su experiencia cotidiana. Estos conceptos (también se los suele llamar: conceptos pre-científicos, conceptos erróneos, conceptos alternativos, o conceptos equivocados)<sup>1</sup> se derivan de experiencias y observaciones de la vida diaria, del uso del lenguaje y del refuerzo de la cultura. Además, estas concepciones espontáneas se caracterizan por formar parte de las estructuras mentales de los alumnos, y son construcciones personales que tienen cierto grado de validez, son muy difíciles de cambiar o erradicar y, por último, recuerdan los conceptos mantenidos por científicos en etapas anteriores.

#### *Los conceptos espontáneos y la UVE de Gowin:*

En el año 1987, el profesor D. Bob Gowin, de la Universidad de Cornell (USA), presenta una nueva forma de fortalecer el trabajo de los docentes y de los estudiantes, mediante el uso de los diagramas UVE y algunos principios de Educación. El objetivo de la presentación era el de poder disminuir, de alguna manera, el gran número de conceptos espontáneos que presentaban los estudiantes de Ciencias y Matemáticas.

El Profesor Gowin diseñó el diagrama UVE como forma de representar los principales elementos epistemológicos que forman un cuerpo de conocimientos. La mayoría de los científicos reconoce la importancia relevante de elementos epistemológicos tales como teoría, conceptos, evento, objeto, registros y afirmaciones de conocimiento. Según Gowin, los estudiantes y profesores pueden aprender en un corto tiempo cuáles son estos elementos y qué relaciones hay entre ellos. De esta manera, comenzarán a entender la estructura de los conocimientos.

---

1 En Idioma Inglés: "Misconceptions" o LIPHS (Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies)

Los conceptos espontáneos podrían entenderse, entonces, como relaciones imperfectas localizadas entre los elementos epistemológicos. Gowin propuso como remedio para superar estas relaciones imperfectas entre las piezas que forman la estructura de conocimiento, el análisis de los diagramas UVE para ayudar a los alumnos a reconstruir sus conocimientos previos. Evidentemente, la adopción del uso de esta herramienta, por parte de docentes y alumnos, en los cursos de Física introductoria es un excelente idea, tanto para la determinación de los conceptos espontáneos como para los conceptos científicos.

En resumen, aplicando la entrevista clínica y la UVE, llegaremos a establecer los conceptos relevantes que los estudiantes tienen en su estructura cognitiva, lo que a su vez permitirá detectar los inclusores, a partir de los cuales los estudiantes podrán aprender significativamente.

Conocidos estos inclusores, se podrá establecer la relación existente entre éstos y los conceptos científicos que se deben enseñar y es a partir de esta relación que se hará posible elaborar la estrategia de instrucción. Evidentemente, se puede presentar el caso en que no exista ninguna relación entre la estructura cognitiva de los estudiantes y la estructura conceptual de la ciencia que tratamos de enseñar. En este caso Ausubel aconseja la preparación de organizadores previos que consisten en materiales más generales, abstractos o inclusivos que el material que se debe aprender. La función de estos organizadores es salvar el abismo que puede existir entre lo que el alumno sabe y lo que necesita saber, para aprender con éxito el nuevo material. El organizador se presenta al inicio de la instrucción, y debe prepararse teniendo en cuenta tanto la estructura cognitiva de los estudiantes como la estructura conceptual del tema a enseñar, lo que equivale a decir que el organizador previo debe ser preparado por el docente, para un determinado grupo de alumnos y puede no servir para otro grupo, si sus conocimientos previos difieren de los del primero. Además, deben adaptarse al material de instrucción, que también puede ser distinto para cada docente ya que ellos también pueden diferir en su formación previa. En suma, los organizadores previos serán materiales introductorios especialmente preparados por el docente, pertinentes al tema y lo más inclusivos (generales) claros y estables que sea posible. Su función es facilitar el aprendizaje significativo y el establecimiento de una actitud favorable hacia el mismo. Contribuyen también a

que el alumno reconozca que los conceptos del material de aprendizaje nuevo pueden relacionarse de un modo sustancial con conceptos relevantes de lo que él ya conoce.

## La Evaluación

El tema de la evaluación, tanto de los estudiantes como del método instruccional, debe considerarse muy cuidadosamente, ya que debe disponerse de un modelo confiable para la detección de conceptos básicos, ideas previas, conocimientos luego de la instrucción, control del proceso y de logros alcanzados. Evidentemente no es fácil diseñar un modelo adecuado a todos estos fines, pero ya existen algunas pautas tendientes a su cumplimentación. Por ejemplo, en el caso que nos ocupa, es muy común, que las evaluaciones administradas a los estudiantes, sólo se ocupen de verificar sus habilidades para la resolución de problemas y, en el mejor de los casos, se les pide la confección de algún informe de laboratorio (cuando se hacen trabajos de laboratorio, cosa que tampoco es tan frecuente como su importancia para las ciencias fácticas lo recomienda). Es obvio que esta forma de evaluar favorece el aprendizaje de mecanismos de resolución de los famosos "problemas tipo".

Hay gran cantidad de investigaciones educativas que muestran que estudiantes con buenos resultados en resolución de problemas. cuando son entrevistados con el objeto de comprobar si realmente entendieron los principales conceptos involucrados en el problema, demuestran graves falencias en la conceptualización.

Es de destacar que, con lo antedicho, no queremos significar que la resolución de problemas en cursos de Física introductoria no sea importante, al contrario, es cierto que permiten mostrar una amplia variedad de recursos intelectuales y otras habilidades de los estudiantes; pero también ocurre y son muy frecuentes, como lo comprobamos durante los exámenes finales, que muchos estudiantes son capaces de "resolver" complicadísimos problemas de, por ejemplo, Mecánica newtoniana, pero luego de ello, al preguntársele sobre los **significados** de los conceptos involucrados en tales problemas, por elementales que éstos sean, (trayectoria, desplazamiento, velocidad, rapidez, aceleración etc.) se observa que aparecen enormes dificultades para la explicación de cada uno de ellos.

Esto no es más que otra prueba de la gran capacidad de memorización de los estudiantes, que son capaces de dominar mecanismos que permiten resolver problemas tipo sin haber realmente entendido el verdadero significado de lo que estaban haciendo.

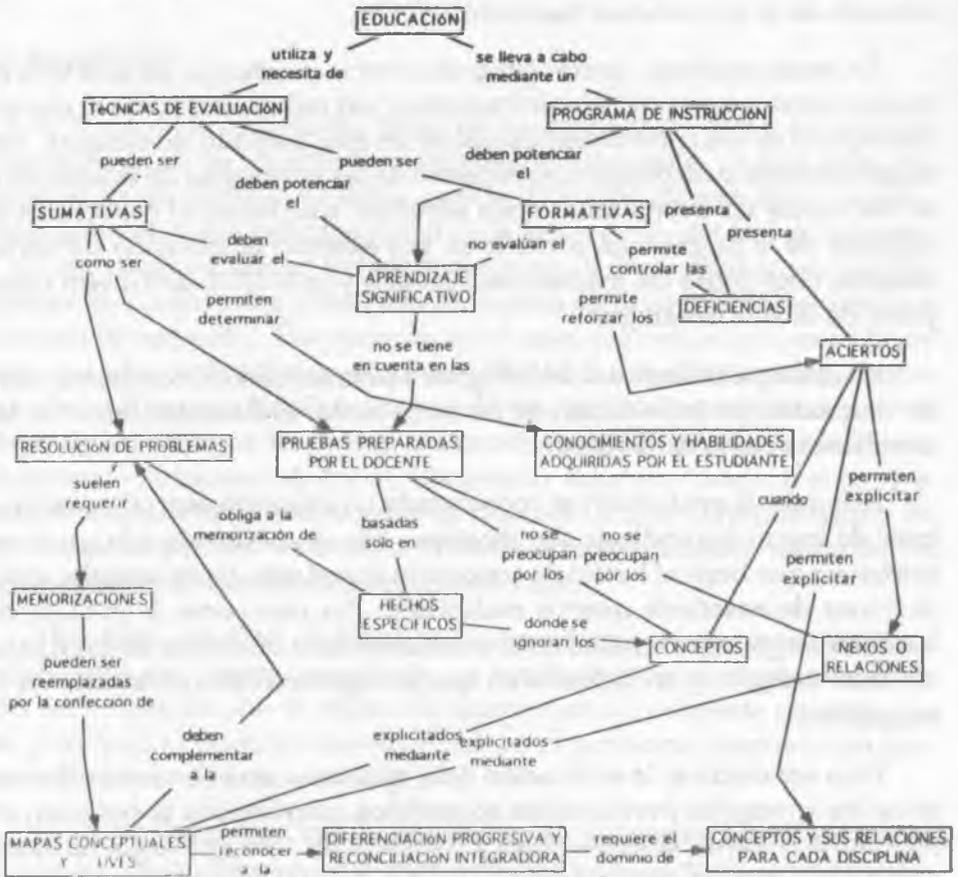
En otras palabras, fueron obligados por la insistencia de este tipo de evaluaciones a aprender mecánicamente y sin reflexionar sobre el cuerpo conceptual de los conocimientos que se les está tratando de enseñar. Resulta entonces indispensable el rediseño de las estrategias de evaluación, en las cuales no deben faltar otros aspectos que hacen al conocimiento acabado de la asignatura, como lo es, por ejemplo la inclusión de herramientas tales como los mapas conceptuales y/o la UVE de Gowin como parte de dichas estrategias.

En el mapa conceptual de la Figura 4 se muestran los conceptos clave involucrados, en la selección de las técnicas de evaluación, tanto de los estudiantes como de la cátedra.

Además, la evaluación es considerada un concepto central cuando se trata de lograr aprendizaje significativo. Ello es así debido a la gran importancia que tiene el hecho de conocer lo que el estudiante ya sabe antes de tratar de enseñarle nuevos materiales. Por otra parte, la evaluación también juega un rol crucial en el monitoreo de la eficiencia de las distintas metodologías y en la forma en que se organizan los contenidos de la asignatura.

Para ser efectiva, la evaluación debe apuntar a un buen entendimiento de los conceptos previamente aprendidos. esto implica la posesión de significados claros, diferenciables y transferibles. Sin embargo, no siempre es fácil lograrlo, según Ausubel (1978, p. 146-147) si uno intenta tastear esa clase de conocimiento preguntando a los estudiantes los atributos de un concepto o proposición, es muy posible obtener una respuesta verbal meramente memorística. Posiblemente, la mejor forma de hacerlo es pedirle a los estudiantes que diferencien entre conceptos que están relacionados, pero que son distintos, o bien pedirles que identifiquen elementos de un concepto o proposición, a partir de una lista que contenga conceptos o proposiciones que también están relacionados.

Figura 4  
Los conceptos centrales de la evaluación en educación



En el caso de pedir la resolución de problemas, también debe procederse con cautela, ya que la resolución de problemas requiere otro tipo de habilidades y cualidades (astucia, potencia de razonamiento, flexibilidad, improvisación, perseverancia, etc) a parte de haber logrado el aprendizaje significativo. Por lo tanto, cuando se está buscando evidencia de aprendizaje significativo hay que tener en cuenta dos clases de dificultades, la posibilidad de memorización siempre estará latente y la posible falla de los estudiantes en resolver problemas, puede deberse a otros

factores ajenos a la falta de aprendizaje significativo. la figura 5 muestra un mapa conceptual sobre las evidencias del aprendizaje significativo.

Recapitulando, para preparar una evaluación del aprendizaje significativo, se deben considerar las siguientes pautas:

1. Enfatizar el delineamiento de similitudes y diferencias entre conceptos que están relacionados entre sí. Esto puede lograrse mediante el uso de preguntas del tipo: "¿Es aceptable para usted la siguiente afirmación?" donde los estudiantes son enfrentados con afirmaciones provocativas, pero inaceptables desde el punto de vista científico, desarrolladas a través de esquemas intelectuales de gente que no tiene formación en Física. O también del tipo: "¿Entendió usted realmente el concepto de ...?", donde el estudiante debe dar argumentos Físicos, más que matemáticos, y su respuesta deberá basarse en análisis de tipo cualitativo.
2. Hacer que los estudiantes reformulen las nuevas proposiciones en sus propios términos. Este aspecto puede ser tenido en cuenta con preguntas del tipo: "Explique con sus propias palabras los siguientes conceptos..." donde los estudiantes deben explicar todos los nuevos conceptos que le son presentados en el lenguaje de cada día.
3. Requerir a los estudiantes la resolución de problemas que sean nuevos y con los que no estén previamente familiarizados. Es importante, además, que los resuelvan en forma independiente. Este tópico se encuentra cubierto en la resolución de problemas de final de capítulo en los libros clásicos. En el desarrollo de este proyecto, los alumnos, fueron instruidos en el uso de la UVE de Gowin como se explicó anteriormente. En este caso el énfasis estará en el uso del formalismo obtenido en el lado conceptual de la UVE como herramienta útil para el análisis que llevará a la solución del problema planteado. Con el uso de este esquema el estudiante es ayudado a comprender que el formalismo matemático es mucho más que una receta para realizar operaciones algebraicas; podrán ver la estrecha correspondencia entre este formalismo y el fenómeno que están estudiando, de manera tal de poder conectar los conceptos, sus símbolos y sus relaciones con lo que realmente pasa en el mundo físico.

Este esquema también ayuda a los estudiantes a aplicar sus conocimientos en forma autónoma, al mismo tiempo que van interpretando los conceptos físicos de la misma forma en que los interpreta su instructor (compartiendo significados).

4. Se le debe solicitar a los estudiantes la elaboración de respuestas en forma escrita. Se solicita a los estudiantes que realicen tareas del tipo: "escriba un corto resumen sobre el tema desarrollado en la clase de hoy...". Otra forma de lograr este fin es pidiendo a los alumnos que construyan un mapa conceptual de cada unidad que se finaliza; con este tipo de ejercicios, los estudiantes se concientizan sobre los elementos de su estructura cognoscitiva y las conexiones entre estos elementos. Desarrollar esta habilidad para escribir resúmenes y construir mapas conceptuales hace que los estudiantes vean fuertemente consolidadas su autoestima y confianza en si mismos.

### **Características e implementación del cursado**

Durante el curso se enseñó a los alumnos a usar las ya mencionadas "herramientas metacognitivas" de aprendizaje, basadas en lo que se conoce acerca del conocimiento humano, o en otras palabras, "aprender a aprender".

Las actividades desarrolladas por los alumnos de acuerdo con el modelo que aquí se propone se puede resumir como sigue:

- \* Participar de la evaluación previa que se administra durante la primera semana de clases.
- \* Lectura de las unidades asignadas, que incluye libros de texto y material especialmente preparado (notas de clase).
- \* Realización de mapas conceptuales durante el estudio, para favorecer la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora, en cada unidad.
- \* Asistencia a clases teóricas. De acuerdo con nuestro marco teórico, las clases a cargo del docente son efectivas siempre que cumplan ciertas condiciones (Novak, 1977). Sólo mencionamos al respecto que es nece-



sario que el docente se asegure de que el alumno posea la estructura cognitiva adecuada para recibir el material potencialmente significativo que será presentado.

- \* Asistencia a clases de resolución de problemas, en la que se instruya a los alumnos en el uso de la "UVE de Gowin" aplicada a la resolución de problemas.
- \* Realización de experiencias e informes de trabajos de laboratorio. Dichos informes también son realizados utilizando la herramienta "UVE", en forma similar, pero no idéntica, al caso de la resolución de problemas.
- \* Realización de un trabajo de investigación que incluye su exposición en una clase especial a la que asisten alumnos y docentes.
- \* Participar de las evaluaciones parciales (sumativas<sup>2</sup> o acumulativas). Estas evaluaciones permiten determinar como se va desarrollando la estructura de conocimientos del alumno. Por supuesto, los resultados de estas evaluaciones permiten al docente realizar las denominadas evaluaciones formativas, que permitirán determinar hasta qué punto se están logrando los propósitos del programa de instrucción que en desarrollo.

Rendir un examen integrador de conocimiento como instancia previa a la promoción de la asignatura, de acuerdo con las pautas de evaluación del aprendizaje significativo.

Además de lo expuesto, se solicita a los alumnos que registren todos sus trabajos durante el transcurso del cursado (soluciones a los problemas asignados, apuntes de clase, datos de laboratorio, etc.) en una carpeta, claramente legible tanto para él como para su instructor. Es obvio que la utilidad de este aspecto radica en la importancia de que un buen encabezamiento, y comentarios breves y precisos, permiten al alumno y a toda persona que lea el trabajo, la reconstrucción de todo lo realizado, sirvien-

---

2 En inglés "summative" se suele traducir como "sumativa" aunque esta palabra no existe en el español. Por ello es más adecuado "acumulativa" o "aditiva".

do como autocontrol del aprendizaje y evaluación formativa por parte del docente.

Si bien se trata de alentar el trabajo grupal, las carpetas de presentación de trabajos deben ser individuales, siendo cada alumno el responsable de conocer cada parte de su trabajo, de tener sus propios datos, como así también la fecha de realización y el nombre de sus compañeros de grupo, para evitar todo tipo de ambigüedades.

Siendo la Física una materia en que la mayor parte del tiempo se emplea en desarrollar los conceptos ya aprendidos, las acciones didácticas deben estar fuertemente orientadas a que los estudiantes profundicen cada tema de las unidades asignadas, antes que estudiar superficialmente muchos temas, y a que traten de resolver *individualmente* problemas novedosos, fueran estos asignados o no. Entre las acciones didácticas podemos destacar: exposición de la introducción de cada tema; discusiones de conceptos y sus relaciones, orientadas por los docentes; discusiones acerca de los conceptos involucrados en los trabajos de Laboratorio, y en la resolución de problemas.

Puesto que nuestro marco teórico enfatiza la relación entre el aprendizaje significativo y los hechos de la vida cotidiana, los trabajos de laboratorio son considerados una experiencia esencial del proceso enseñanza-aprendizaje, de modo que los alumnos participaron activamente en ellos, presentando un completo informe del trabajo realizado, que en todos los casos incluya: teoría, principios y conceptos en los que se basa el trabajo, una explicación detallada de la experiencia tal como se llevó a cabo, resultados obtenidos, cálculos y transformaciones realizadas, afirmaciones de conocimiento y de valor, según corresponda, conclusiones y comentarios finales.

No se colocan límites estrictos para la finalización y entrega de los trabajos ; no obstante, el curso debe estar estructurado para que todos los alumnos puedan avanzar de la misma forma (al mismo ritmo) con un esfuerzo de trabajo razonable.

Se aconseja a los alumnos presentar la carpeta, para su evaluación, a uno de los asistentes de la cátedra al finalizar cada unidad. Esta evaluación dará al alumno la oportunidad de discutir su trabajo y formular todo

tipo de preguntas al docente quien, a su vez, puede determinar el nivel de entendimiento de conceptos alcanzado por el alumno, si es capaz de aplicarlos adecuadamente a la resolución de problemas y ofrecer su ayuda, en caso de ser necesario.

Dado que la Física es una asignatura que acarrea grandes dificultades, se deberá poner especial énfasis en motivar permanentemente a los alumnos, favoreciendo de este modo el aprendizaje significativo. Y, en la medida en que aprenda significativamente, el alumno está cada vez más motivado a continuar aprendiendo en esa forma. Un factor importante para poder lograr la motivación del alumno, es que el mismo docente esté motivado permanentemente por lo que enseña, de tal modo que transmita su entusiasmo. Se recalcó, además, la relación de la Física con los fenómenos de la vida cotidiana, tanto en el estudio teórico, como en la resolución de problemas y en las prácticas de laboratorio.

## Motivación

Con respecto a la motivación, podemos decir que, si bien no es crucial para el aprendizaje de corta duración, es indispensable para el tipo de aprendizaje conceptual involucrado en el dominio de cualquier disciplina científica como lo es la Física.

Existen muchas reglas que se pueden tener en cuenta para incrementar la motivación, entre ellos podemos destacar:

El uso de material atractivo para maximizar la curiosidad intelectual de los estudiantes.

Ayudar a los estudiantes a establecer metas realísticas, dándoles tareas para probar los límites de sus capacidades y luego retroalimentarlos acerca del grado con que han alcanzado sus metas.

Los objetivos de aprendizaje deben ser lo más específicos posible.

Puntualizar las relaciones entre las tareas de aprendizaje con otras clases de conocimientos y capacidades intelectuales, etc.

**El compromiso de responsabilidad:** Se ha señalado ya que una condición básica para el aprendizaje es el compromiso del alumno con la ta-

rea de aprender, en otras palabras, el alumno debe elegir aprender significativamente. Es esencial que el estudiante sea conciente de los progresos que él hace en el curso. Para colaborar con esta necesidad del estudiante una de las mejores formas de lograrlo es mediante la organización de tareas de discusión grupales en las que se analizan todo tipo de dificultades que pueden presentarse a lo largo del desarrollo de cada unidad, los grupos deben ser pequeños y asistidos por un tutor que les ayudará a expresarse libremente con respeto a sus inquietudes y equivocaciones, sin preocuparse por las calificaciones. Para aumentar el grado de responsabilidad en la conducta de los estudiantes es recomendable asignar tareas del tipo: "estudiar por su propia cuenta el tema...", dándole luego la opción de exponerlo en una de las reuniones grupales o bien a toda la clase. Otra opción es sugerirle la realización de experiencias "caseras" con elementos que se encuentran, posiblemente, en la mayoría de los hogares. En una primera aproximación se le solicitan conclusiones meramente cualitativas, pudiéndose, en una segunda instancia, pasar a los aspectos cuantitativos.

Obviamente, las experiencias grupales son un excelente medio para el logro de los objetivos de significados compartidos, favoreciendo la superación de las concepciones alternativas y logrando, por último, un nivel de conceptualización más elevado.

## Conclusión

Nadie puede negar las dificultades que los cursos introductorios de Física acarrearán, aún en carreras como ingeniería, donde se supone que el alumno está predispuesto a aprender esta asignatura. No obstante, la mayoría de los estudiantes sienten cierto rechazo hacia ella y la estudian solamente porque constituye un requisito curricular. Esto hace de la Física una materia difícil, tanto para enseñar como para aprender.

Por otra parte, sabemos que la Física es una ciencia con estructura conceptual definida, lo que la hace excepcionalmente ventajosa para facilitar el razonamiento.

El propósito de este trabajo ha sido indagar sobre nuevos conocimientos acerca de cómo un modelo instruccional basado en una teoría, puede

contribuir a mejorar la eficiencia del proceso enseñanza-aprendizaje en los cursos introductorios de Física. Los resultados de este estudio, basados en las opiniones de los estudiantes y en los resultados de los análisis estadísticos de los test implementados, pueden interpretarse como muy auspiciosos.

Verdaderamente, los conocimientos previos deben ser tomados como guía fundamental de cualquier modelo instruccional, para implementar cursos introductorios de Física.

Especial mención merece la aplicación de los diagramas UVE, en dos aspectos: a) para organizar la estructura conceptual básica del estudiante y b) para mejorar sus habilidades en la resolución de problemas.

La aplicación de la UVE, como herramienta que ayuda a organizar el conocimiento y a resolver los problemas fue muy bien recibida por los estudiantes. Esto se evidencia en las encuestas que se les requirió luego de finalizado el curso.

Otra herramienta que ha dado buenos resultados, en especial durante el estudio teórico, ha sido el uso de mapas conceptuales. En los primeros temas, los docentes ejemplificaron el uso de mapas conceptuales para visualizar la estructura conceptual del tema en cuestión. Posteriormente, los alumnos realizaron mapas a medida que progresaba el estudio del tema. Estos mapas fueron revisados y corregidos por los profesores. En algunos casos se realizaba una "puesta en común", para unificar conceptos. También fueron empleados como instrumentos de evaluación: en algunas de las evaluaciones tomadas semanalmente se solicitaba la realización de un mapa del tema que se estudiaba..

Con respecto a los logros finales reflejados en el post-test debemos recalcar que no existe diferencia significativa en las notas finales, si bien el promedio general es mayor para el grupo experimental. Lo que si habla a la claras de la buena eficiencia del modelo, es la gran diferencia en los tiempos de estudio empleados por los alumnos, diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental.

Finalmente, podemos decir que las dificultades que tienen los estudiantes con los cursos introductorios de Física, bien pueden deberse a

deficiencias en los modelos instruccionales y, por consiguiente, consideramos absolutamente imprescindible continuar profundizando en este tipo de estudios, basados en teorías de aprendizaje, enseñanza y, no menos importante, en lo que los estudiantes ya conocen.

Reconocemos que el modelo tienen muchas imperfecciones y carencias, lo que es natural, debido a la gran complejidad, y amplitud de este tipo de investigaciones. Esto no es un obstáculo, sino un motivo más para continuar con el desarrollo y perfeccionamiento del mismo, habida cuenta de la necesidad que tienen los docentes de este tipo de guía para cumplir su tarea.

## Bibliografía

ARCA, M. y GUIDONI, P. "Modelos Infantiles y Modelos Científicos sobre la Morfología de los Seres Vivos". Enseñanza de las Ciencias. Año 7. #2. Mayo de 1989.

AUSUBEL, D., NOVAK, J.D., and HANESIAN, H. Educational Psychology, a cognitive view. 2<sup>nd</sup>. Edition. Holt, Rinehart and Wiston. New York: 1978

AUSUBEL, D., NOVAK, J.D., y HANESIAN, H. Psicología educativa. Un Punto de Vista Cognoscitivo.. segunda edición. Trillas. México: 1983.

BLOOM, B.S. Human Characteristic and School Learning. Mac Graw-Hill. New York: 1976.

CHROBAK, R. Learning How to Teach Introductory Physics Courses. Masters Thesis. Cornell University, Ithaca. New York: 1992.

\_\_\_\_\_. Análisis de las opiniones de los Estudiantes sobre la Enseñanza de los Cursos Introductorios de Física. Actas del Primer Congreso Nacional sobre la Problemática de la Enseñanza de la Física en Carreras de Ingeniería. Instancia Final, Paraná, Entre Ríos: 1993.

\_\_\_\_\_. Uso de Estrategias Facilitadoras del Aprendizaje Significativo en los Cursos de Física Introductoria. Revista de Enseñanza de la Física. Asociación de Profesores de Física de la Argentina (APFA). Volumen 8, #1. Pp. 7-21.

\_\_\_\_\_ y HERRERA, C. Experiencias Piloto para el Desarrollo de un Nuevo Modelo Instruccional. Prensa. (Aceptado para su publicación en la Revista Brasileira de ensino de Física. Vol 18, #2. Junio de 1996.

GOWIN, D.B. *Educating*. Cornell University Press. Uthaca. New York: 1981.

GLASERFELD, Evon. *Cognition, Construction of Knowledge and Teaching*. *Synthese*, 80. Pp. 121-140. 1989.

HESTENES, D. MALCOMLM, W., & GREGG, S. Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*. Vol 30. March 1993. Pp. 141-166.

JOHNSON, Mauritz, Jr. *Definitions and Models in Curriculum*. *Educational Theory*, 17 (2). Pp. 127-140. 1967.

MGER, R.F. *Preparing Objectives for Programmed Instruction*. Fearon. San Francisco. 1962.

MOREIRA, M.A. *An Ausubelian Approach to Physics Instruction: An Experiments in an Introductory College Course Electromagnetism*. Ph. D. Thesis. Cornell Univesity. Nueva York, Ithaca. 1977.

\_\_\_\_\_. *Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino da Física*. Editora da universidade. Porto alegre (Brasil): 1983.

\_\_\_\_\_, y BUCHEWITZ, B. *Novas Estratégias de Ensino e Aprendizagem*. Gabinete Técnico de Plátano Editora. Lisboa: 1993.

\_\_\_\_\_, y SILVEIRA, F.L. *Istrumento de Pesquisa em Ensino & Aprendizagem*. Edipuers. Porto Alegre (Brasil): 1993.

NOVAK, J.D. *A Theory of Education*. Cornel. University Press. Ithca, New York. 1977. (En español *Teoría y Práctica de la Educación*. Alianza editorial. Madrid: 1982.

\_\_\_\_\_ & GOWIN, D.B. *Learning How to Learn*. Cambridge University Press. Nueva York: 1986.

\_\_\_\_\_ y GOWIN, D.B. *Aprendiendo a Aprender*. Martínez-Roca. Barcelona: 1988.