

# Un Modelo Didactico para Desarrollar los Estados Cognitivos en el Aprendizaje Significativo de la Física en Estudiantes Universitarios\*

Ester López D.\*\*

## Resumen

La teoría de aprendizaje significativo de Ausubel, más los aportes de Novak, Gowin y Moreira han facilitado la enseñanza de las ciencias en orden a favorecer la construcción de aprendizajes significativos en los estudiantes. En este trabajo se describe una metodología didáctica para la enseñanza de la Física General Mecánica (MODIEME) en estudiantes universitarios. MODIEME contempla clases expositivas centradas en el núcleo duro de la mecánica, el taller de aprendizaje cooperativo significativo, las disertaciones de los alumnos y el portafolio. Se realiza una investigación de tipo experimental mixta con vertientes cuantitativa y cualitativa para averiguar en qué medida aumenta la tasa de aprobación de los estudiantes y para conocer el estado cognitivo representacional cuando los estudiantes se enfrentan a la resolución de problemas de lápiz y papel. Los resultados muestran que aumenta la tasa de aprobación notoriamente que sus modelos mentales evolucionan desde una perspectiva altamente proposiciona- lista, que se corresponde con un estado cognitivo de tipo memorístico puro hasta un modelador mental efectivo que corresponde a un estado reflexivo hipotético deductivo.

*Palabras clave: Modelo didáctico MODIEME, representaciones mentales, evolución estados cognitivos, aprendizaje significativo.*

## Resumo

**Um modelo didático para Desenvolver os Estados Cognitivos na Aprendizagem Significativa da Física em Estudantes Universitários** – A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, com aportes de Novak, Gowin e Moreira, tem facilitado o ensino das ciências, favorecendo a construção da aprendizagens significativas por parte dos estudantes. Neste trabalho descreve-se uma metodologia didática para o ensino de Mecânica em nível de Física Geral (MODIEME), para estudantes universitários. MODIEME contempla aulas expositivas centradas no núcleo duro da mecânica, oficinas de aprendizagem significativa cooperativa, dissertações dos alunos e portfólio. Realizou-se uma investigação do tipo experimental mixta, com vertentes quantitativas e qualitativas, para averiguar em que medida aumenta a taxa de aprovação dos estudantes e para avaliar o estado cognitivo representacional quando os estudantes são submetidos à resolução de problemas com papel e lápis. Os resultados mostram que aumenta notoriamente a taxa de aprovação, que seus modelos mentais evoluem em uma perspectiva altamente propositiva, correspondendo desde um estado cognitivo baseado em pura memorização, até um efetivo modelador mental, que corresponde a um estado reflexivo dedutivo que leva à construção de hipóteses.

*Palavras-chave: Modelo didático MODIEME, representações mentais, evolução de estados cognitivos, aprendizagem significativa*

## Abstract

**A Didactic Model to Develop Cognitive States in the Significant Learning of Physics in College Students** - The theory of meaningful learning of Ausubel, in addition to contributions from Novak, Gowin and Moreira have facilitated the teaching of science in order to promote the construction of significant learning in students. This paper presents a didactic methodology to teach Mechanics in General Physics (MODIEME) for university students. MODIEME includes lectures focusing on the core of mechanics, a workshop of significant cooperative learning, student dissertations and a portfolio. Experimental investigation taking into account quantitative and qualitative aspects is performed to determine the extent to increase the approval rate of students and to determine the representational cognitive status when students are confronted to solve pencil and paper problems. Results showed a noticeably increase of the student passing rate. Furthermore, is noted that their mental models evolve from a highly propositional perspective, which corresponds to a cognitive state of pure memoristic type, to an effective mental modeler corresponding to a hypothetical deductive thoughtful state.

*Keywords: didactic model MODIEME, mental representations, cognitive states evolution, significant learning*

---

\* Conferencia dictada en el III Simposio Internacional sobre Enseñanza de las Ciencias, SINTEC, Universidad Federal de Rio Grande, 23 de Octubre de 2010.

\*\* Centro de Estudios Avanzados (CEA) Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación Valparaíso, CHILE elopez@upla.cl

## Introducción

Durante mucho tiempo la universidad está intentado mejorar los rendimientos en la disciplina de Física sin lograr los resultados esperados. Se ha actuado con una pedagogía intuitiva que si bien pudo dar buenos resultados para un determinado grupo de estudiantes no ha sido efectiva para otros y en otros contextos.

En una investigación cuantitativa exploratoria con estudiantes de pedagogía de física y ciencias, se analizaron las asignaturas que representaban las mayores dificultades de aprobación durante toda su carrera. Se analizaron 46 casos de estudiantes que se titularon de profesor entre los años 2000 y 2010. La Figura 1 muestra que en la asignatura Mecánica de la partícula –que se imparte el 2º semestre de la carrera– el 69,6% de los estudiantes la reprueba y posteriormente, en la asignatura Electromagnetismo –que se imparte en el 4º semestre de la carrera– el 93,3% de los estudiantes la reprobaba. A pesar que esta figura describe una realidad local, un conjunto importante de investigadores muestra que Electromagnetismo es una de las asignaturas de ciencias básicas que presenta dificultades de aprendizaje en los estudiantes de ciencias e ingeniería (FURIÓ; GUIASOLA, 1998; GUIASOLA et al., 1999, 2001; GUIASOLA, 2005). A su vez, Maloney, O’Kuma, Hieggelke y Van Heuvelen (2001) señalan que es uno de los tópicos más complejos de abordar, dentro de la Física General, debido a la “abstracción” que presenta, ya que *los fenómenos físicos electromagnéticos no son tan cotidianos al estudiante como lo son los fenómenos mecánicos*.

Posteriores investigaciones han demostrado que la transición desde las asignaturas de Mecánica a la asignatura de electromagnetismo requiere un desarrollo o evolución de los estados cognitivos de los estudiantes. Los estudiantes llegan a la universidad con fuertes preconcepciones y con un estado cognitivo de tipo memorístico o repetitivo, que ante una pregunta, “sus respuestas son proposiciones aisladas, inseguras e inestables que no se sostienen ante un pequeño cuestionamiento; responden según lo que les llega a su mente, sin cuestionarlo, por asociación, buscan sus respuestas en su cuaderno o en algo que haya dicho su profesor (LÓPEZ-DONOSO, 2011). Por otro lado, la asignatura de Electromagnetismo requiere que el alumno se encuentre en un estado cognitivo más desarrollado o evolucionado. Es necesario que el alumno logre representar de manera dinámica el núcleo duro de la disciplina a través de modelos mentales efectivos y no como simples ecuaciones matemáticas representadas proposicionalmente.

Durante el proceso de enseñanza de las ciencias y en particular de la Física existe un saber sabio, que por una transposición didáctica (CHEVALLARD, 1991) lo transforma en un saber enseñado (ver Figura 2). Según la teoría de Aprendizaje significativo (AUSUBEL, 2002; NOVAK, 1982, 1988, 1998; GOWIN, 1981; MOREIRA, 2003, 2011), lo que se enseña debe considerar los estados cognitivos psicológicos y epistemológicos del aprendiz, siendo esta una condición necesaria para que éste construya aprendizaje

significativo.

El profesor de ciencias modela los materiales a enseñar y el alumno procesa esta información en su cabeza a través de representaciones mentales que pueden ser de tipo proposicionales, imágenes o modelos mentales (JOHNSON LAIRD, 1983; GRECA; MOREIRA, 2002; RODRIGUEZ PALMERO, 2000). El alumno revisa la información del currículo, recursivamente, en la medida la metodología empleada por el profesor lo permita.

La enseñanza “tradicional”, en la cual el profesor está frente a sus alumnos, como en una conferencia, en la cual no se consideran las ideas previas o preconcepciones de los estudiantes sobre un tema particular, difícilmente provocará la asimilación de contenidos en los estudiantes. Y en un afán de hacer la clase más activa el profesor hace preguntas que los alumnos no contestan o demoran en hacerlo. Esto es razonable, dado que procesar la información o activar los modelos mentales que permitirían al alumno dar una respuesta, requiere tiempo.

La enseñanza tradicional no logra el cambio conceptual en los estudiantes. En un estudio no experimental, descriptivo exploratorio realizado con estudiantes de ingeniería (N=636,  $\alpha$ Cronbach=0,87) se detectó, en porcentajes importantes, la presencia de preconcepciones pregaleanas para explicar el movimiento de los cuerpos. La Figura 3 muestra como la teoría de la fuerza impresa<sup>1</sup> de Hiparco de Nicea (130 a.C.) que se desarrolló con la teoría de los ímpetus de Buridan (SXIV), persiste en los estudiantes a pesar que en sus carreras hayan aprobado todas las asignaturas de física. El 84,6% de estos estudiantes llegan a la Universidad con esta idea y después el 51,4% de los estudiantes que aprobaron los cuatro cursos de Física mantienen la preconcepción señalada. Algunas de las consecuencias de este raciocinio común son, en general, bien conocidas por los investigadores en enseñanza de las ciencias y ciertamente familiares a muchos profesores de Física como por ejemplo, la idea de que para que exista movimiento sería necesario que existiese una fuerza en la dirección y sentido de ese movimiento y que consecuentemente el reposo indicaría la ausencia de fuerzas (CUNHA; CALDAS, 2001).

Enfrentados a este problema se hace necesario desarrollar una “pedagogía científica de las ciencias naturales”. Una enseñanza que prediga la construcción de aprendizajes significativos en los estudiantes. Un modelo didáctico que se sustente en un cuerpo teórico solvente que nos permita describir, explicar y analizar los procesos cognitivos que llevan a los estudiantes a sus aprendizajes.

<sup>1</sup>El movimiento se da por medio de una fuerza «transmitida» al proyectil por el proyector. Esa fuerza, «absorbida» por el proyectil se extingue gradualmente a medida que el proyectil se mueve (FRANKLIN, 1976, apud PEDUZZI; ZYLBERSZTJN, 1997).

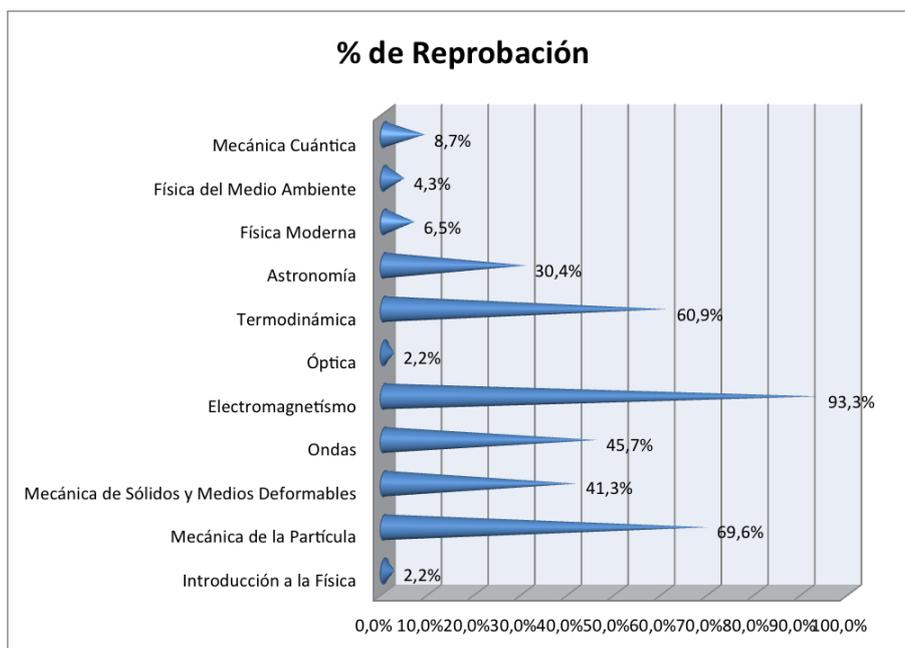


Figura 1: Porcentaje de reprobación en las asignaturas de Física durante la formación de un futuro profesor de Física y ciencias.

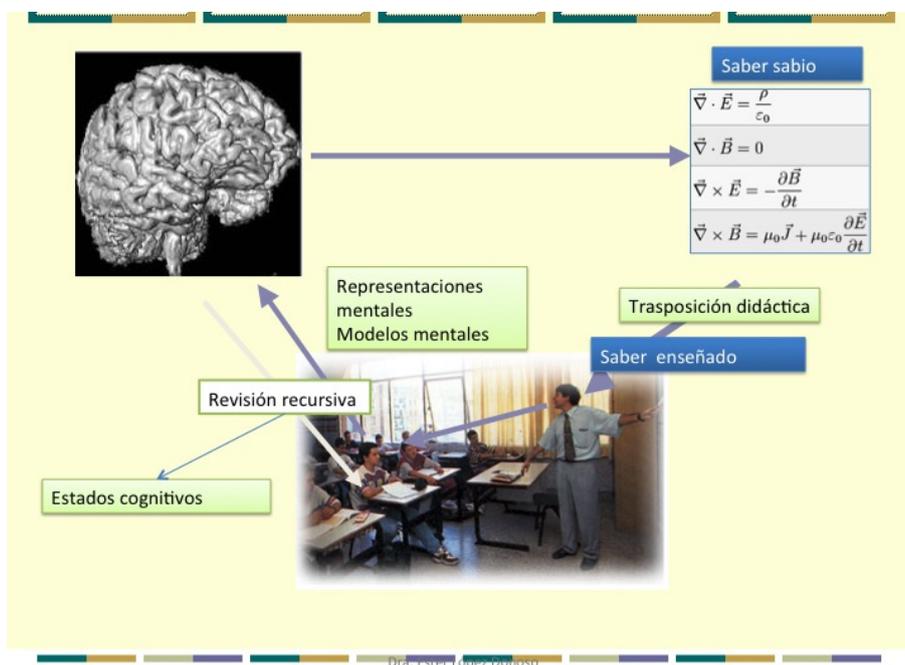


Figura 2: El profesor enseña los contenidos del currículum en forma “tradicional”.

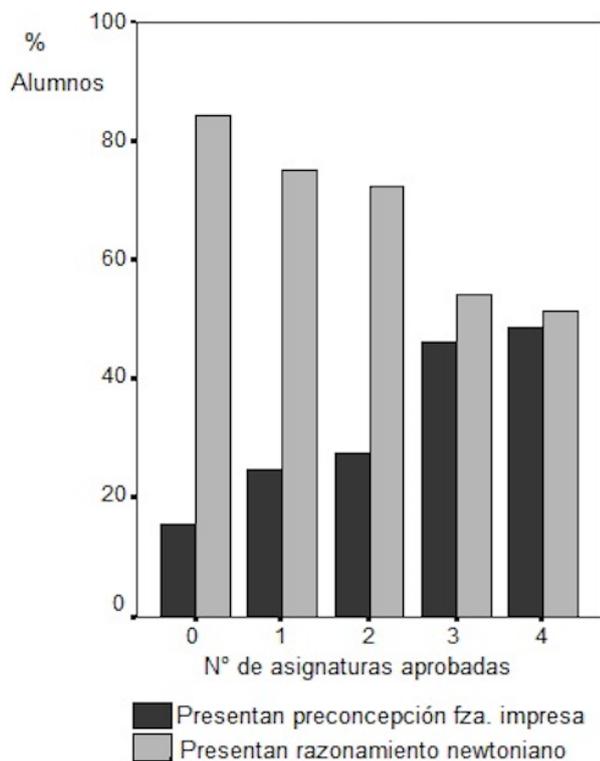


Figura 3: Persistencia de la preconcepción de fuerza impresa según el avance curricular de los estudiantes.

## El modelo didáctico Modieme

La sigla significa Modelo didáctico para la enseñanza de la Mecánica. Si bien se estructuró, originalmente, como un modelo de transición que logra el desarrollo cognitivo de los estudiantes para enfrentarse a asignaturas de mayor abstracción, como el electromagnetismo, también ha logrado beneficios en el aprendizaje de los estudiantes al aplicarse a otras asignaturas tanto de la Física, como la química, Biología y también en la matemática.

El modelo didáctico propuesto para el aprendizaje significativo de la Teoría Newtoniana aplicada en un curso de Mecánica de la partícula, denominado MODIEME, contempla cuatro dimensiones, que se ilustran en la Figura 4. Estas dimensiones son: las clases expositivas participativas, el taller de aprendizaje cooperativo significativo (TACS), las disertaciones de los alumnos sobre tópicos relacionados con la historia del pensamiento sobre los conceptos de fuerza y movimiento, el portafolio, más el apoyo del aula virtual.

## El contrato didáctico

Es una negociación entre profesor y alumno que regula las normas de trabajo, la agenda de actividades, el tipo de evaluaciones y sus fechas, las competencias que se pretenden fomentar, la bibliografía adecuada así como el contexto en que se realizará toda actividad correspondiente al curso o asignatura. En esta negociación profesor

y alumno consensuadamente aceptan y se comprometen en cumplirlo.

## Las clases expositivas participativas

Durante el desarrollo de la asignatura se exponen 13 módulos instruccionales que contienen el(los) objetivo(s) del módulo, la materia a estudiar o contenidos, ejemplos de aplicación y ejercicios propuestos para resolverlos en el taller. Cada módulo es entregado a través del e-aula una semana antes de su aplicación.

Se exponen los contenidos de cada módulo en las clases teóricas en las cuales se pone el énfasis en el núcleo duro de la teoría, en este caso las leyes del Movimiento de Newton y los teoremas de conservación. Se privilegia la participación de los alumnos haciendo preguntas que provoquen el diálogo. Los ejemplos de aplicación se desarrollan en la clase en función de las dudas. Es importante destacar el grado de experticia que debe tener profesor, para que se dé cuenta de actitudes tales como la inseguridad, comprensión, duda y desconcierto manifestada por los alumnos a través de un gesto, pregunta, observación o inquietud.

## El taller de aprendizaje cooperativo significativo (TACS)

Esta actividad, que estimula el trabajo cooperativo, se desarrolla durante 90 minutos una vez a la semana, con la siguiente dinámica: el profesor hace una pequeña síntesis (orientación temática del taller) o repaso de los contenidos del taller durante 10 minutos aproximadamente. Luego solicita a los alumnos que construyan un mapa conceptual con los conceptos contenidos en el repaso y, finalmente, los estudiantes se dividen en grupos pequeños para resolver y entregar uno o dos problemas solicitados por el profesor. Los ejercicios propuestos para trabajar en forma colaborativa, en las sesiones de taller, son publicados en el aula virtual o e-aula de la Universidad, una semana antes de su ejecución, de manera que los participantes pueden ir preparados para el desarrollo de éste consultando sus dudas en la medida que se avanza en los temas de estudio (LÓPEZ-DONOSO et al., 2008).

Durante la fase de trabajo cooperativo los alumnos tienen libertad de hacer preguntas a los profesores participantes: el profesor del curso y su ayudante. Esto no significa dar pistas de cómo deben relacionarse los conceptos en el mapa conceptual ni cómo deben resolverse los problemas. Los profesores argumentan con los alumnos con la finalidad de llegar a consensos, compartir significados, acerca de la construcción de los mapas, la interpretación de los enunciados de los problemas, las estrategias planeadas para resolver las tareas, el lenguaje utilizado.

Permanentemente los profesores sugieren a los alumnos acerca de la coherencia que debe existir entre la forma en que relaciona los conceptos físicos en sus mapas y las estrategias utilizadas para la resolución de los problemas. La idea en este punto es que los estudiantes poco a poco vayan abandonando la tendencia mecanicista del empleo

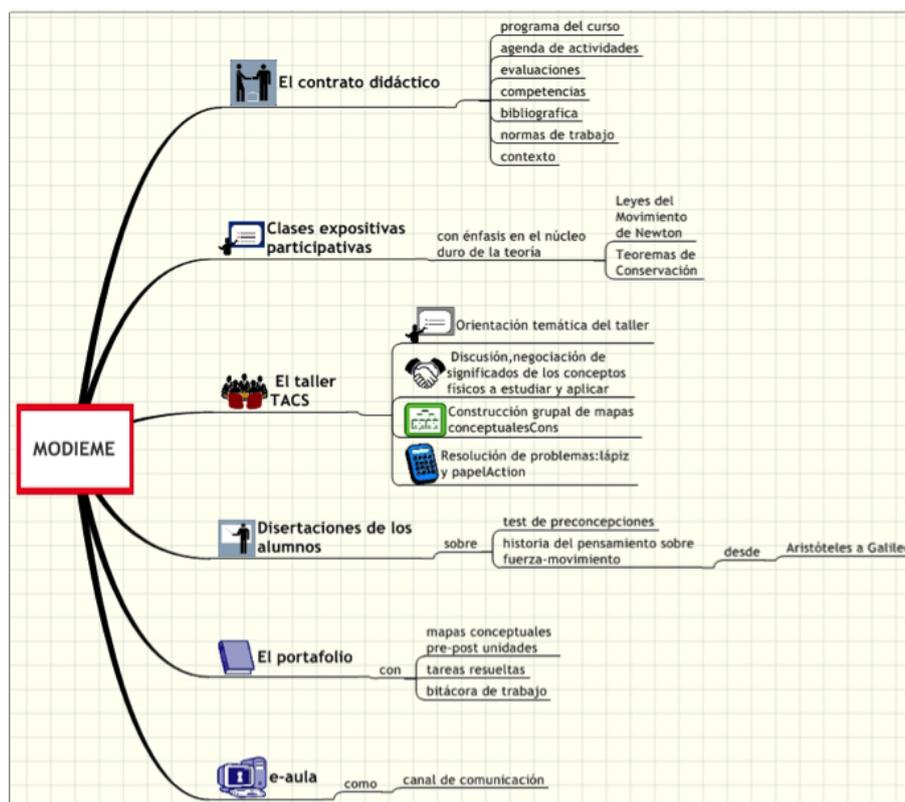


Figura 4: Elementos del modelo didáctico de enseñanza de la mecánica (MODIEME).

de ecuaciones o “fórmulas” que se ajusten a los datos de los problemas.

Este taller se denomina de aprendizaje cooperativo significativo TACS ya que durante la actividad se motiva a los estudiantes a reflexionar, a discutir, a consensuar con sus compañeros y con los profesores acerca de sus propias ideas, a exteriorizarlas en forma oral como escrita. Durante estos diálogos los profesores deben captar y estar atentos a las preconcepciones de sus alumnos tanto en lo relativo a la construcción conceptual observada en ellos como a sus técnicas de resolución. Se les debe orientar, instándolos a pensar acerca de estos aspectos con diversas situaciones que los pongan en contradicción con sus ideas iniciales para motivarlos a recapacitar y reconsiderar sus ideas.

### Las disertaciones de los alumnos sobre tópicos relacionados con la historia del pensamiento sobre los conceptos de fuerza y movimiento

Durante el transcurso de la primera unidad y exactamente durante la segunda semana de clases los estudiantes eligen temas de disertación entre aquellos que sugiere la profesora. Estos temas tienen relación con las concepciones acerca de la relación fuerza-movimiento a lo largo de la historia, desde Aristóteles hasta Galileo. Los estudiantes deben preparar estas disertaciones para exponerlas después de terminar la unidad de Cinemática y antes de

comenzar Dinámica. Estas disertaciones tienen la función de ser un organizador previo, dado que: “la principal función del organizador previo es la de servir de puente entre lo que el aprendiz ya sabe y lo que precisa saber para que pueda aprender significativamente la tarea frente a la que se encuentra” (AUSUBEL et al., 1978). La idea es que el estudiante logre comprender que la construcción de la teoría newtoniana tuvo obstáculos epistemológicos importantes que puede identificarlos y compararlos con sus propios obstáculos de aprendizaje.

### El portafolio

Es una carpeta que cada estudiante construye con las actividades realizadas en el desarrollo de la asignatura y fuera de las sesiones de clases. Contiene las tareas que surgen de las clases teóricas, los ejercicios de los talleres que ha resuelto en forma cooperativa, otros ejercicios resueltos provenientes de los textos de estudio, las correcciones de las pruebas oficiales, sus lecturas adicionales y todo material que hubiere utilizado en el estudio de la asignatura.

Esta carpeta o portafolios es entregada por los estudiantes al profesor del curso el día en que rinden las tres pruebas oficiales de la asignatura. Su evaluación se califica en cuatro tramos: muy bueno, bueno, deficiente y no entrega; según una rúbrica consensuada en el contrato didáctico. La idea es que el alumno demuestre todo su trabajo o toda su preparación a través del contenido del portafolio. Este portafolio puede ser grupal (máximo tres

personas) o individual.

## El e-aula

Es una plataforma virtual Moodle que se utiliza en la Universidad como canal de comunicación permanente entre el profesor y sus alumnos así como entre los compañeros de una misma asignatura.

Se utiliza para entregar informaciones, tareas, vídeos, calificaciones, recibir los trabajos de los alumnos, sus dudas, organizar foros, etc.

## Marco teórico

El modelo didáctico descrito precedentemente se sustenta en tres cuerpos teóricos que han demostrado ser eficientes en el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales. En primer lugar, la teoría de aprendizaje significativo de Ausubel, que es una teoría de la instrucción, definida como “un proceso mediante el cual una información se relaciona, de manera no arbitraria y sustantiva (no literal) con un aspecto relevante de la estructura cognitiva del individuo” (AUSUBEL et al., 1983, MOREIRA, 2003; LÓPEZ-DONOSO et al., 2009). La metodología requiere un constante diálogo profesor alumno y alumnos con sus pares para analizar, discutir y llegar a consensos entre sus ideas y las ideas científicas expresadas en las leyes de Newton. Se propicia el análisis crítico en la resolución de problemas.

En segundo lugar, la teoría Socio histórica de Vygotsky (1988), entendiendo que los procesos psicológicos superiores tienen su origen en las relaciones sociales de discusión y convivencia con otras personas (profesores, alumnos y los materiales educativos). Por esta razón es necesario agregar espacios de convivencia profesor-alumno- materiales educativos (ver Figura 5), de manera que el sistema educativo permita el dialogo constante entre todos, la crítica constructiva; así el profesor evaluará el desarrollo cognitivo de sus estudiantes a través del desarrollo de su lenguaje, que evoluciona desde un lenguaje de sentido común hacia el lenguaje científico propio de la ciencia. La idea es que si el estudiante logra discutir críticamente con su profesor usando el lenguaje científico como instrumento de mediación (Figura 6), esto significará que se ha producido en él la asimilación de conceptos y por lo tanto el alumno habrá construido aprendizaje significativo. También se considera de este autor los conceptos relacionados con la zona de desarrollo próximo, dado que el alumno construirá aprendizaje significativo en la medida logre sobrepasar la zona de desarrollo potencial.

Por último, la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird que permite analizar el aprendizaje de los estudiantes en la medida logra construir modelos mentales efectivos para la resolución de problemas, expresándose en un lenguaje tanto oral como escrito más acorde y cercano al lenguaje científico. Se sabe que las personas representan el conocimiento en forma de representaciones proposicionales, como imágenes o como modelos mentales, siendo

estos últimos análogos estructurales del mundo. Aprender ciencias significativamente implica, entonces, que nuestros alumnos sean capaces de recrear las teorías científicas en sistemas de representación internos, eficaces, es decir a través de modelos mentales efectivos y consecuentes con las teorías científicas. De acuerdo a este cuerpo teórico “la explicación depende, sin lugar a dudas, del entendimiento: si tú no entiendes algo, entonces no puedes explicarlo (JOHNSON-LAIRD, 1983), afirmación que permite inferir sobre aprendizaje de los estudiantes, la comprensión y su consecuente desarrollo cognitivo en función de las explicaciones y discusiones con sus compañeros y su profesor.

En el nivel de representaciones proposicionales se encontrarían las “formulas” que los alumnos memorizan para aplicarla a la resolución de un problema o la memorización de una definición. Representaría un estado cognitivo básico, memorístico y repetitivo. Una representación imaginista correspondería a una visión mental imaginada de una cosa, en ausencia de esa cosa. Un modelo mental es un procedimiento que permite representar el mundo, interpretarlo, entenderlo. Su estructura refleja los aspectos relevantes del estado de cosas correspondiente al mundo real o imaginario; permitiría a las personas a razonar acorde a sus propias teorías internas o como representa su propia realidad. Estos modelos mentales son dinámicos dado que se revisan internamente en forma recursiva, funcionales, personales. Entonces la capacidad de entender una teoría científica estará determinada por la capacidad del alumno para construir modelos que incluyan las relaciones fundamentales de la teoría y de los cuales sea posible extraer explicaciones y predicciones que estén de acuerdo con las concepciones científicamente compartidas. Entender un fenómeno físico es saber qué lo causa, qué resulta de él, cómo se inicia el fenómeno, cómo evitarlo, cómo afecta a otros, como preverlo, etc. Según la teoría de Johnson Laird, entender un fenómeno físico significa tener en la mente un “modelo mental” (o “working model”) de dicho fenómeno (JOHNSON-LAIRD, 1983; MOREIRA; GRECA, 2004; LÓPEZ-DONOSO; SILVA, 2001).

## Algunos resultados de la aplicación de Modieme

Las investigaciones realizadas para probar la efectividad de MODIEME han demostrado que la metodología: aumenta la tasa de aprobación de los estudiantes y por lo tanto su rendimiento como el grado de retención en las carreras, facilita el aprendizaje significativo de los estudiantes, fomenta la participación activa de los estudiantes, el grado de aceptación y satisfacción ante el modelo de enseñanza y lo más destacable es que desarrolla los niveles cognitivos de los estudiantes para enfrentarse a otras asignaturas que exigen un nivel cognitivo superior.

Con relación a la tasa de aprobación de los estudiantes en las asignaturas de mecánica newtoniana – la primera asignatura formal de física en las carreras de ciencias e ingeniería - la Figura 7 muestra los resultados de una



Figura 5: Los alumnos discuten críticamente con sustento en la teoría.

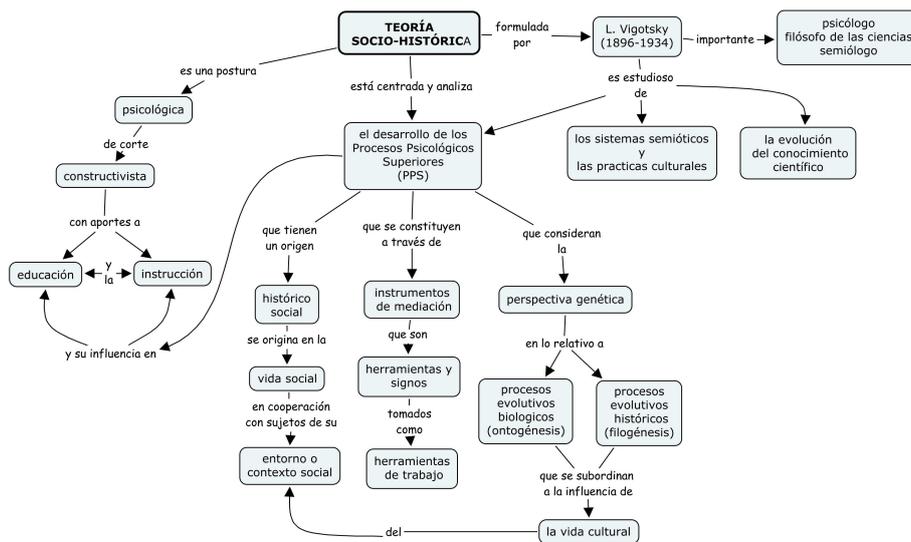


Figura 6: Teoría socio-histórica de Vygotsky (López Donoso, 2008).

investigación cuasi experimental cuantitativa descriptiva. A los grupos control se les enseña con una metodología tradicional y a los dos grupos experimentales con la aplicación de la metodología MODIEME. Las pruebas *t* de Student aplicadas a ambas muestras independientes revelan que las diferencias, se deben efectivamente, al cambio de metodología empleada con una confianza de un 95%.

Con relación al desarrollo cognitivo de los estudiantes o evolución de sus representaciones mentales se ha podido comprobar que efectivamente los estudiantes, al iniciar sus estudios formales, trabajan con un estado representacional cognitivo de tipo proposicionalista, memorístico puro, repetitivo y evolucionan hasta un estado cognitivo representacional denominado modelador mental efectivo, así como se ilustra en la Figura 8. Esta figura esquematiza los diferentes estados cognitivos intermedios por los que pasa el razonamiento de los estudiantes.

Para averiguar cómo ocurre esta evolución cognitiva se ha diseñado una investigación experimental de corte cualitativo, en base a entrevistas semiestructuradas y centradas en la resolución de problemas. En estas entrevistas se pedía a los estudiantes que verbalizaran aquello que “pensaban” a la hora de resolver los problemas de lápiz y papel. Fueron seis entrevistas a lo largo de dos semestres, grabadas, transcritas y posteriormente analizadas a través de la metodología denominada “análisis de contenidos”, pudiéndose detectar cuatro estados de características comunes en todos los estudiantes y corroboradas con las observaciones de campo en los talleres de aprendizaje cooperativo significativo (TACS). Estos estados cognitivos son: un estado inicial memorístico puro, repetitivo, un estado memorístico inductivo, un estado empírico deductivo y por último un estado reflexivo hipotético deductivo en el cual los estudiantes se manifiestan como modeladores mentales efectivos, con clara asimilación de conceptos y manifiesto aprendizaje significativo.

Durante la aplicación del MODIEME los alumnos que inicialmente se manifiestan proposicionalistas parecieran no ser conscientes de su estado cognitivo. Al parecer ellos responden o ejecutan la resolución de problemas acatando lo que le ordena su mente sin cuestionar la idea que le llegó en forma espontánea a su cabeza. Por esta razón, sus respuestas son proposiciones aisladas, inseguras e inestables, que no se sostienen ante un pequeño cuestionamiento. Corresponde a un estado denominado “memorístico puro” o repetitivo, en que al preguntarle al alumno en forma oral el “por qué” de su respuesta, éste enmudece, en primer lugar, y luego balbucea algunas palabras aisladas e inconexas. Entonces, su reacción posterior es fundamentar su respuesta en algo escrito en su cuaderno o algo que haya dicho su profesor, repitiendo en forma descontextualizada su argumentación.

El taller de aprendizaje cooperativo-significativo TACS exige a los estudiantes a relacionar los conceptos involucrados en un problema particular y a explicar a sus compañeros de equipo y/o su profesor una estrategia de solución con base a sus mapas conceptuales. En ese momento la estrategia lo obliga: a exteriorizar un proceso

interno, a hacer consciente aquello que ocurre en forma no-consciente, tratando de cuestionar y reconocer sus propias teorías internas para enfrentarlas a las teorías científicas.

El siguiente estado, denominado “memorístico inductivo” corresponde a un estado en que predominan, como esquemas de resolución de problemas, el uso de algoritmos. Estos algoritmos se construyen en la mente tomando como referencia los esquemas utilizados por otros, es decir que toma como referencia métodos o procedimientos vistos en problemas resueltos, en libros de textos, solucionarios, en su cuaderno u otros medios.

La denominación de memorístico inductivo obedece a que el alumno copia un modelo algorítmico que se repite en uno, dos o varios problemas resueltos estudiados por él. Su regla sería: si para un caso o problema el método o algoritmo funciona, entonces en otros casos el método también tendría que funcionar.

Es en este estado cuando toman nuevamente relevancia los mapas conceptuales ya que su construcción es consensuada entre alumno y profesor. Las relaciones entre conceptos van poco a poco sustentándose en leyes científicas, que en este caso son las leyes de Newton y los teoremas de conservación.

De este modo, las estrategias de solución para un problema en particular obedecen al mandato de sus mapas conceptuales que lo conducen hacia un pensamiento de tipo deductivo y no al mandato de otros problemas resueltos, pasando al estado cognitivo denominado “empírico deductivo”.

Según lo anterior durante el período de observación en estos talleres, los alumnos se ven obligados a repasar, recursivamente, sus procesos internos de reflexión al colocar a los estudiantes en diversas situaciones problemáticas. Este aspecto está, por cierto, también avalado por la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (Apud MOREIRA, 2002) ya que los talleres ponen necesariamente a los estudiantes en diversas situaciones, que según este autor es uno de los aspectos necesarios para la conceptualización.

La denominación de empírico de este estado se debe a que los alumnos están requiriendo permanentemente de su profesor o de sus compañeros la aceptación, verificación o rechazo de sus propias argumentaciones. Éste es un estado cognitivo dependiente del profesor. Los alumnos manifiestan una actitud de interés, ya que persiguen a su profesor, para que este dé la aprobación a sus argumentos. Este es el instante propicio para dar libertad al alumno, para discutir con él, para incentivar en él el espíritu crítico ya que se encontraría en el nivel de desarrollo potencial, en el lenguaje de Vygotsky. Ahora el alumno ha tomado el control consciente de sus procesos internos.

Desde la perspectiva de la Teoría de aprendizaje significativo, en este estado ocurren los procesos de diferenciación progresiva y la reconciliación integradora. Sin embargo, los estudiantes requieren, recursivamente, poner a prueba sus modelos mentales. Cuando los estudiantes logran este estado cognitivo se observa que ellos requieren y buscan enseñar a otros. Ya no necesita de su profesor sino que necesita de otras personas para explicar y enseñar

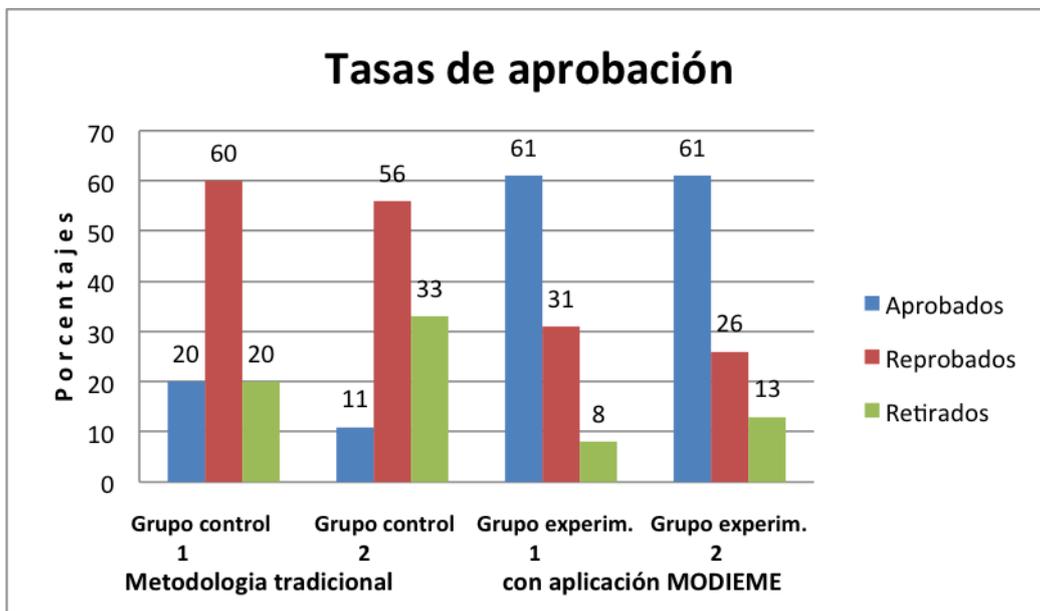


Figura 7: Tasas de aprobación en asignatura de mecánica con una metodología tradicional y con la aplicación de la metodología MODIEME.

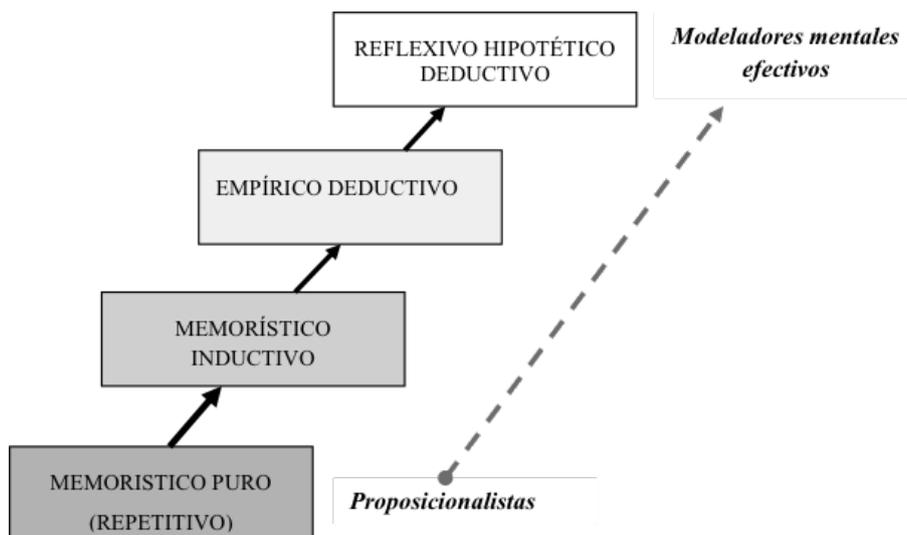


Figura 8: Estados cognitivos observados en los estudiantes en su evolución desde un estado representacional proposicionalista a un estado de modelador mental efectivo.

lo que saben acerca de la resolución de problemas. Este estado, absolutamente identificable en los estudiantes de física, les provoca una sensación de alegría y satisfacción que favorece una actitud hacia nuevos aprendizajes. Esta acción descrita por la teoría de educación de Novak (1982) representa la integración constructiva de pensamientos, sentimientos y acción, que contribuye al empoderamiento (empowerment) de la persona, situación que le permite enfrentar nuevos desafíos.

De tanto explicar a otros y explicarse a sí mismo, en forma recursiva, los modos de razonamiento basados en las leyes científicas, se llega al estado denominado “reflexivo hipotético deductivo” en donde se infiere que los modelos mentales se transforman en modelos mentales efectivos.

El desarrollo evolutivo es lento, aunque aún no hemos podido precisar períodos exactos, si podemos asegurar que nuestras experiencias muestran que, de acuerdo a la disposición hacia el aprendizaje mostrado por los estudiantes este proceso puede durar desde un semestre académico a un año.

Esta metodología se ha continuado aplicando en la Universidad para otras asignaturas tanto de física como de química y matemáticas, obteniéndose resultados semejantes. En el caso de biología la situación es algo diferente ya que tradicionalmente han existido vínculos más estrechos entre profesores y alumnos dado que ellos hacen salidas a terrenos, excursiones, entre otras actividades de tipo no formales.

## Reflexiones finales

Los resultados muestran que MODIEME, se presenta como una alternativa metodológica aceptable ya que: mejora la tasa de aprobación de los estudiantes, el rendimiento, estimula la construcción de modelos mentales efectivos y por consiguiente facilita el aprendizaje significativo.

El TACS es una actividad que provoca la asimilación y acomodación permanente de los conceptos en los procesos mentales de los estudiantes. La atención oportuna, la discusión, la oportunidad de sentirse escuchados y comprendidos en sus razonamientos, son situaciones que se presentan en el taller y que favorece el fortalecimiento conceptual. Los mapas conceptuales son inicialmente una dificultad para los estudiantes, pero su exigencia los obliga a discutir conceptos. Esta actividad promueve en definitiva el aprendizaje significativo de los alumnos.

Cada uno de estos estados o procesos cognitivos, al parecer, pasan por períodos personales de ciencia normal, en el lenguaje de Kuhn, es decir, por períodos de estabilidad. Los cambios de un estado a otro serían repentinos y conscientes. Quizás este estado de conciencia repentino, como un chispazo o flechazo coincide con el concepto de “insigh” acuñado en la escuela de la Gestalt y enfatizado por J. Bruner (2001). Efectivamente, “la experiencia del insight” (comprensión súbita de una situación) llevan a nuevos procesos que impulsan la actitud comprobadora” (Ibíd.).

Las ciencias naturales explican los fenómenos de la naturaleza a través de un cuerpo teórico construido por una comunidad de científicos: la teoría newtoniana, la teoría electromagnética, la teoría de selección natural, entre otras. Un cuerpo teórico que tiene su fortaleza en su poder predictivo. Actualmente se dispone de potentes cuerpos teóricos en lo psicológico y epistemológico que nos permitiría desarrollar una “pedagogía científica de las ciencias naturales”. De manera que nosotros los profesores de ciencias podamos predecir a priori el aprendizaje significativo de nuestros estudiantes al conocer cómo ellos construyen sus aprendizajes.

## Referencias

- AUSUBEL, D. P. Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Barcelona: PAIDÓS, 2002.
- AUSUBEL, D.; NOVAK J.; HANESIAN, H. Educational psychology view. New York: HOLT, RINEHART & WINSTON. 1978.
- BRUNER, J. El proceso mental en el aprendizaje. Madrid: NARCEA S.A, 2001.
- CHEVALLARD, Y. La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado, 1991.
- CUNHA, A.L.; CALDAS, H. Modos de raciocínio baseados na teoria do Impetus: um estudo com estudantes e professores do ensino fundamental e médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 1, Março, 2001.
- FREIRE, P. Pedagogía de la autonomía: saberes necesarios para la práctica educativa. Siglo XXI, 1997.
- GOWIN, D.B. Educating. Ithaca, N.Y.: CORNELL UNIVERSITY PRESS, 1981.
- GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. Science Education, New York, v.86, n.1, p. 106-121, 2002.
- GUISASOLA, J. La investigación en la enseñanza de la física: de la anécdota a la producción de conocimiento científicamente fundado. Investigações em ensino de ciencias. v.10, n.1, pp. 103-127, 2005.
- JOHNSON-LAIRD, P. Mental models. Cambridge, MA: HARVARD UNIVERSITY PRESS, 1983.
- LOPEZ DONOSO, E.; ORTEGA, F.; PRIETO, C. UR-RUTIA, R. La teoría de Ausubel aplicada al proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en alumnos de cuarto año de enseñanza media en Chile. Visiones Científicas, v. 8, n.1, pp. 25-34, 2009.
- LOPEZ DONOSO, E; CASTILLO, C; VELIZ, JUAN. Aprendizaje colaborativo y significativo en la resolución de problemas de Física en estudiantes de Ingeniería. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 25, n.1: p. 55-76, abr.2008.
- LÓPEZ-DONOSO, E. La modelización conceptual de la mecánica newtoniana en estudiantes de física universitarios: una aplicación de la teoría de Ausubel de aprendizaje significativo.2011. Tesis (Doctorado en enseñanza de las ciencias). Universidad de Burgos,

- España. Disponible en <http://dspace.ubu.es:8080/tesis/handle/10259/165>
- LOPEZ-DONOSO, E.; SILVA, R El aprendizaje significativo de la física desde la perspectiva de la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird. *Visiones Científicas*, v.4. n.2, 2001.
- MALONEY, D. P., O ´KUMA, T. L., HIEGGELKE, C. J. Y VAN HEUVELEN, A. V. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism, *Physics Education Research, American Journal of Physics Supplement*, v.69, n.7, p.12-23, 2001.
- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1, 2002.
- \_\_\_\_\_. La Teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel. En *Aprendizaje significativo: fundamentación teórica y estrategias facilitadoras*. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- \_\_\_\_\_. *Teorias de aprendizagem*. 2ª edición ampliada. São Paulo: E.P.U, 2011.
- MOREIRA, M.A.; GRECA, I.M. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2004.
- NOVAK, J. D. *Teoría y práctica de la educación*. España: ALIANZA, 1982.
- \_\_\_\_\_. *Learning, Creating and Using Knowledge*. New Jersey: LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES, 1998.
- NOVAK, J.; GOWIN, B. *Aprendiendo a Aprender*. Barcelona: MARTÍNEZ ROCA, 1988.
- PEDUZZI, L.O.; ZYLBERSZTAJN, A. La Física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, v.15, n.3, p. 351-359, 1997.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. (2000). *Modelos mentales de célula: Una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU*. 2000. Universidad de La Laguna. Tesis Doctoral.
- VYGOTSKY, L.S. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. México: GRIJALBO, 1988.