

DEL MODELO MENTAL AL MODELO CONCEPTUAL EN LOS LABORATORIOS DE FÍSICA PARA INGENIERÍA

FROM THE MENTAL MODEL TO CONCEPTUAL MODEL IN THE PHYSICS LAB FOR ENGINEERS

M. FERNÁNDEZ[†], F. REPILADO Y Z. PÉREZ

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Santiago de Cuba; maikelfdy@uo.edu.cu[†]

[†] autor para la correspondencia

Recibido 20/1/2016; Aceptado 20/4/2016

Se analizan las principales deficiencias que presentan los estudiantes en la ejecución de las prácticas de laboratorio de la Física I en las carreras de ingeniería de la Universidad de Oriente y las posibles causas que las originan, sobre la base de los modelos conceptuales que supuestamente dominan y se indican posibles vías para transformar los modelos mentales que poseen en modelos conceptuales de la ciencia. Se propone una metodología que emplea el “diálogo socrático” sustentada en la teoría de los modelos mentales de Johnson – Laird como herramienta heurística, con el objetivo de transformar dichos modelos y consolidar los conocimientos adquiridos. La metodología fue aplicada a la carrera de Ingeniería Eléctrica y se muestran los resultados.

The main difficulties that students of engineering careers in the Universidad de Oriente have in the practices of laboratory in Physics I, and their possible causes are analyzed. It is done by a methodology using of the “socratic dialogue”, sustained in the Johnson-Laird’s theory of mental model with the objective of transforming the mental models of the students in conceptual models. The methodology was applied to the career of Electric Engineer and the results are shown.

PACS: 01.30.lb Physics laboratory manuals undergraduate schools, 01.40.gb Teaching methods, 66.20.Cy Theory and modeling

En el proceso de enseñanza – aprendizaje de la Física en los Centros de Educación Superior un lugar preponderante lo ocupan las clases de laboratorio donde se manifiestan simultáneamente, diversos modos de actividades, tales como:

- Enfrentamiento a problemas cuyas soluciones requieren un arsenal de recursos experimentales.
- Movilización del pensamiento hacia lo intelectual y experimental.
- Búsqueda y aplicación de métodos experimentales para alcanzar soluciones factibles.
- Análisis científico exhaustivo.
- Comprobación de ciertas leyes y fenómenos.
- Desarrollo de habilidades intelectuales y experimentales de manera sistemática.

Aunque en las prácticas del laboratorio docente son reveladas y comprobadas las leyes y regularidades físicas más importantes, con frecuencia los estudiantes carecen - entre otras - de las nociones sobre:

- Enfrentamiento a problemas cuyas soluciones requieren un arsenal de recursos experimentales.
- ¿Por qué se emplea determinada instalación experimental?

- ¿Cuál es su finalidad?
- ¿Sobre qué bases se sustenta?
- ¿Qué criterios constructivos la sostienen?
- ¿Por qué ciertas magnitudes físicas son objeto de medición mientras que otras no?

El presente trabajo es parte de un estudio que se realiza con los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, en Santiago de Cuba, que apunta a la determinación de su nivel de “interpretación y aplicación” de los contenidos objeto de aprendizaje de la Física a partir de:

- Los datos obtenidos directamente de las mediciones.
- Los resultados conseguidos después al procesarlos en cada una de las prácticas de laboratorio de Física I.
- Las informaciones que aparecen en la bibliografía.

En el estudio se resalta la necesidad de transformar - o al menos aproximar aún más - los modelos mentales con que inicialmente operan los estudiantes a los modelos conceptuales que establece la ciencia, constatándose que persisten grandes dificultades en la comprensión, tanto teórica como experimental, de los fenómenos o procesos físicos abordados en las prácticas. Se considera que una de las influencias más sobresalientes en la persistencia de dichas insuficiencias radica en que los docentes no dedican el tiempo y atención requeridos a:

- “Proceso de modelización” de fenómenos y procesos físicos.
- Conocimiento de “lo que el estudiante sabe”, “cómo lo sabe” y “cómo percibe y explica el mundo que le rodea”, es decir, cuáles son sus modelos mentales y preconceptos.
- Vínculo: modelo conceptual → instalaciones experimentales

Ese último aspecto coincide en lo esencial con lo expresado por Moreira y Greca [1].

Resulta interesante la pregunta “¿Es posible enseñar a pensar?” [2]. Se puede afirmar que no se han agotado las respuestas a esa pregunta. Los autores de este artículo intentan contribuir a ese debate con un enfoque vinculante de varias facetas del proceso de formación del profesional de Ingeniería, a partir de la necesaria transformación de los modelos mentales de los estudiantes en conceptuales con ayuda del diálogo socrático en las prácticas de laboratorios de la Física I.

Son muchos los criterios, enfoques y aproximaciones que se han vertido sobre la formación del pensamiento experimental y la transformación en los estudiantes de los modelos mentales en los modelos conceptuales de la ciencia. Sin embargo, los autores asumen la opinión de Johnson - Laird [3] cuando considera que, de una u otra forma, todas las personas operan cognitivamente con modelos mentales y, además, que eso es simplemente un proceso natural en el ser humano.

Uno de los procesos primarios y esenciales en la formación del pensamiento, en el caso de los estudiantes de ingeniería, descansa en su “ordenamiento y sistematización” a partir de disímiles situaciones físicas – ¡que de ningún modo constituyen “recetas” preconcebidas o elaboradas previamente! – para facilitar la ejecución y concreción del mismo.

El proceso de transformación: desde los modelos mentales hacia los modelos conceptuales de la ciencia, debe ser algo paulatino e intencionado a la vez que consolida métodos de enfrentamiento y solución de situaciones y problemas. En ese proceso se crean y moldean “herramientas” que posibilitan enfrentar y resolver nuevas situaciones, pasando, en una especie de “salto epistemológico progresivo”, de una síntesis sustancial a otra. En esencia: Lo trascendente, es enseñar a pensar de manera eficiente. “Los pensamientos con el consejo se ordenan.” [4]. Así, los pensamientos ofrecerían pistas sobre los posibles modelos mentales de los estudiantes que permitirían al profesor contrastarlos y corregirlos acercándolos, con una sabia conducción, a los modelos conceptuales. Por eso, el aprendizaje tiene un carácter natural y el docente debe conducir y optimizar el mismo, es decir, transformarse en un agente desarrollador.

En resumen, en el presente trabajo se elabora una metodología a partir del conocimiento de las características generales de sus modelos mentales [5], para la dinámica

del proceso de enseñanza - aprendizaje que permita que los estudiantes comprendan, en toda su riqueza, y apliquen, a disímiles situaciones, las leyes fundamentales de la física.

I REFERENTES TEÓRICOS DE LA METODOLOGÍA

La metodología que se propone tiene su basamento en los modelos mentales, conceptuales y la modelización en sus diversos usos en la docencia según [3,5,6], además, se asumen los tres tipos de representaciones mentales propuestos por Johnson – Laird:

1. Proposicionales: vinculadas con la memorización de conceptos y leyes.
2. Los modelos mentales como análogos estructurales de la realidad.
3. Las imágenes.

Una de las exigencias que impone la concepción de Johnson – Laird y Moreira [1], además de afianzarse en que se opera cognitivamente con modelos mentales es que estos sean funcionales y, según Moreira [1] se entenderá por funcionalidad aquello que le permite al sujeto describir, explicar, predecir y controlar conductas de los fenómenos o características presentes en el objeto de estudio, aunque éstas no sean correctas científicamente. Por otra parte, entre las características básicas de los modelos mentales a superar se encuentran, según Norman [5]:

- Son incompletos.
- La habilidad de las personas para ejecutar sus modelos es muy limitada.
- Son inestables.
- No tienen fronteras bien definidas.
- No son “científicos”, más bien “supersticiosos”.
- Son parsimoniosos.

Con respecto a los modelos conceptuales, para Moreira “los modelos conceptuales son representaciones precisas, completas y consistentes con el conocimiento científicamente compartido” [6].

La modelización es otra cuestión importantísima y será entendida como el proceso de construcción y uso de los modelos conceptuales tomando como punto de partida los modelos mentales de los estudiantes. Esta es, precisamente, la habilidad esencial a desarrollar en el colectivo de estudiantes pues, según Gangoso y García [7–9], incluye en sí misma al resto de las otras habilidades. En ese sentido, se sostiene la tesis que los modelos mentales de los estudiantes pueden ser investigados por los “pasos o etapas” que supone su transformación en modelos conceptuales.

Los autores comparten las opiniones de Moreira [1] de que el proceso de modelización debería ser guiado por

el profesor con ayuda de los modelos conceptuales para ordenar y evaluar sus modelos mentales (maximizando su recursividad), haciéndolos cada vez más semejantes a ellos.

Por otro lado, el reajuste de los modelos mentales en el proceso de modelización que realizan los estudiantes procura, básicamente, el empleo del arsenal científico disponible para la explicación de situaciones y problemas físicos y no sólo la transposición eventual de las experiencias distorsionantes de cada persona.

En el proceso de modelización se profundizan en todos los detalles del objeto de estudio y se muestra que los modelos mentales - al ser incompletos - requieren, para superarlos, de un abordaje más próximo a los modelos conceptuales para optimizar el proceso de modelización. Otro criterio considerado fue el de Crespo [10] y Perales [11] sobre el carácter semi abiertos - de verificación - cíclicos - temporales en el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Por otro lado, y como herramienta complementaria para conseguir el objetivo, se emplea el diálogo socrático - ¡pero sujeto a la teoría de los modelos mentales! - con ello se espera superar la insuficiencia de no ser efectivo para todos los auditorios como expresa Julian [12], proporcionándole al profesor la habilidad de hacer uso con destreza de esta herramienta, como lo sugiere Hake [13] y ser certeros en la formulación de preguntas de forma más adecuada, que facilite la conducción del proceso de modelización.

Sirva como ilustración para apreciar el valor del diálogo socrático en los laboratorios, una pequeña interacción profesor - estudiante sobre el tema de cinemática.

Profesor: ¿Siempre que la velocidad sea cero, la aceleración también lo será? *Estudiante:* ¡sí...! ¡sí...! *Profesor:* ¿Puede poner un ejemplo? *Estudiante:* ¡Bueno, uuuuhhh... uuuh...! *Profesor:* Un ejemplo puede ser cuando lanzamos un objeto en línea recta hacia arriba. Se conoce que al llegar al punto más alto su velocidad es cero, pero si su aceleración fuera cero, según la segunda ley de Newton, las fuerzas externas que actúan sobre él estarían compensadas y, por la primera ley de Newton, los cuerpos lanzados hacia arriba deberían quedarse en reposo y no caer, sino que levitarían, lo que es una flagrante contradicción con la realidad. Aquí el planteamiento del profesor es un ejemplo de modelización a partir de la reducción al absurdo.

Como se aprecia, este enfoque difiere esencialmente del pequeño diálogo que propone Lara [2], pues el propósito esencial de la enseñanza de la física es la física del fenómeno y no tanto las unidades de las magnitudes (aunque ellas juegan un importante papel), pues algunas magnitudes físicas se expresan en iguales unidades, pero responden a conceptos diferentes.

En este ejemplo - y en correspondencia con la teoría de los modelos mentales - las ecuaciones y algoritmos matemáticos, o sea, las representaciones proposicionales, ocupan un plano secundario, no así los "análogos estructurales de la realidad", (modelos mentales), los cuales reflejan o transponen la esencia de esa realidad reajustándola a condiciones cambiantes.

De la estructura del diálogo sostenido se aprecian la lógica de la pregunta y la contra pregunta para conformar el conjunto de preguntas a realizar e incidir en la concepción futura de las clases y sus objetivos, dadas eventuales condiciones. Ellas deben cumplir con las peculiaridades generales de los modelos mentales, pero sobre todo, hacerlo en cualquier circunstancia.

Finalmente, y como elemento esencial para elevar la eficiencia organizativa y cognitiva del proceso, se consideró prudente dividir la clase de laboratorio en tres momentos básicos:

- **Diagnóstico:** una entrevista profesor - estudiantes sobre un problema revelado previamente y cuya posible respuesta es discutida y construida con ellos.
- **Desarrollo:** En la instalación y con instrumentos de medición y en principio, conociendo lo que hace, se realiza un conjunto de mediciones y ejercicios orientados por el profesor.
- **Defensa de resultados o evaluación del informe:** los estudiantes presentan un informe crítico sobre la práctica realizada siendo discutido en una sección posterior de laboratorio y cuya nota final será el promedio de las tres etapas.

Todas estas etapas "atacan" el carácter parsimonioso de los modelos mentales.

Por eso, la metodología que se propone se basa en el "cuestionamiento" de la funcionalidad de los modelos mentales en cada una de las etapas descritas para acercarlos y transformarlos en modelos conceptuales en el proceso docente.

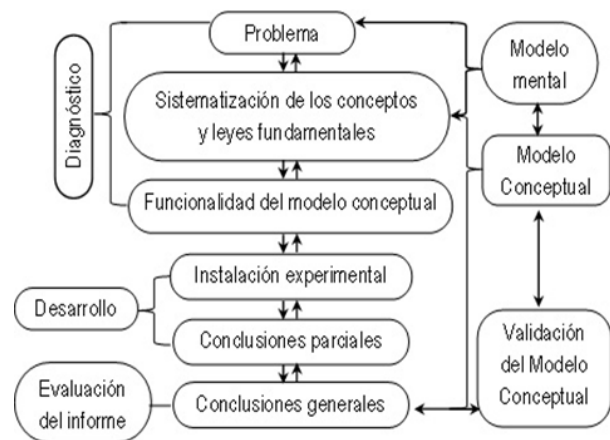


Figura 1. Estructura metodológica para la dinámica de las clases de laboratorio.

En cualquier caso, es recomendable "llevar" una especie de bitácora para las respuestas más interesantes de los estudiantes, y así posteriormente transformarlas en fuente de nuevos recursos didácticos.

II METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE MODELIZACIÓN (MDPPM) EN LAS CLASES DE LABORATORIO DE FÍSICA I

Como se ha indicado, las prácticas de laboratorio se realizan en tres etapas: a) Diagnóstico, b) Desarrollo y c) Defensa y evaluación del informe. La implementación de la metodología que se propone transita por las tres etapas antes referidas y su integración (Figura 1).

Aunque explícitamente no aparezcan, el método socrático y el método experimental en la figura, a lo largo de toda la clase de laboratorio la interacción profesor - estudiantes se hará con el uso de ambos como fuentes imprescindibles de activación mental sujeto a la teoría de los modelos mentales.

III ETAPA DE DIAGNÓSTICO

Consta de dos momentos:

A Momento de diagnóstico.

B Momento de corrección y ajuste de los modelos mentales con respecto al modelo conceptual.

El primero busca hurgar y contrastar los modelos mentales con los modelos conceptuales. El segundo busca también contrastar, corregir y ajustar los modelos mentales originales de los estudiantes para que se asemejen cada vez más a los conceptuales

¿Cuál es el objetivo expreso de la primera etapa?

Al menos se presupone pasar por las siguientes subetapas:

- Diagnosticar.
- Sistematizar conceptos y leyes fundamentales.
- Revelar la funcionalidad del modelo conceptual.
- Realizar un resumen - síntesis.

Diagnosticar las principales insuficiencias y deficiencias que presentan los estudiantes cuando intentan resolver el problema o situación experimental de la práctica correspondiente. Tal objetivo implica conocer:

- La forma en que piensan.
- El manejo de los modelos mentales y conceptuales.
- El nivel de argumentación, abstracción y generalización que poseen.

Sobre esas bases y aplicando, entre otros, el método socrático, es posible corregirlos.

¿Cuál es el punto de partida?: El problema experimental.

El problema de la práctica, concreto y asociado con hechos cotidianos (analogías de la realidad), se escoge para que el estudiante pueda resolverlos sin tantos detalles de las

instalaciones, minimizando así el uso de las proposiciones en los intercambios profesor - estudiante. La construcción de un problema es, de hecho, *un proceso de modelización*.

Sistematización de los conceptos y leyes fundamentales:

El diálogo socrático estará presente en la activación o reactivación de cualquier concepto o situación física, lo que supone identificar los temas a debate y verificar el dominio de los conocimientos mínimos de los estudiantes, en esencia: se debe alcanzar una especie de resumen - síntesis sobre los modelos conceptuales a emplear en la práctica de laboratorio. Éste, posiblemente, es uno de los méritos más importantes del empleo del diálogo socrático en el laboratorio.

Funcionalidad del modelo conceptual:

Se enfatizará en las posibles aplicaciones del modelo conceptual en la vida cotidiana y en la práctica de su profesión (funcionalidad), a partir de ejemplos concretos, similar al proceso de resolución de problemas. Los modelos mentales no tienen fronteras bien definidas en tanto un mismo modelo sirve para situaciones diversas.

Resumen de la etapa de diagnóstico:

Al finalizar la etapa de diagnóstico, el continuo uso de los modelos conceptuales asegura, como tipo de representación predominante, modelos mentales más próximos a los modelos conceptuales.

IV ETAPA DE DESARROLLO

Esta parte consta de los siguientes elementos y subetapas:

- Modelo conceptual → diseño experimental
- Instalación experimental
- Ejercicios a resolver
- Obtención de la data experimental
- Valoración de los resultados

Objetivo: desarrollar la dinámica del proceso de enseñanza-aprendizaje de las clases de laboratorio a partir de la correspondencia entre los modelos mentales, conceptuales y la instalación experimental.

En realidad, el modelo conceptual obtenido anteriormente permite, sin tantas dificultades, derivar un diseño de experimento donde se precisen las magnitudes a medir, las constantes, y cualquier otra magnitud, y de ahí, el tipo de instalación experimental necesaria para llevarlo a cabo.

Instalación experimental: Se discute el funcionamiento de la instalación experimental en base a los modelos conceptuales y haciendo uso de su funcionalidad, se analiza el objeto real de estudio.

Es tema de particular atención, la "ecuación de trabajo o materialización del modelo conceptual" [1] pues permite precisar: el posible método a emplear y del conjunto de magnitudes involucradas en el proceso, cuáles son: a) constantes, b) parámetros controlables, c) magnitudes

medibles y d) las magnitudes que cargan con los mayores errores.

En esa situación, con el diálogo socrático se accedería “continua y suavemente” a esta subetapa, por los tipos de preguntas que proponen, por ejemplo: a) De las magnitudes involucradas en la ecuación de trabajo ¿cuáles serán medibles experimentalmente? b) ¿Cómo?, c) ¿De qué manera hacerlo?, entre otras.

¿Y ahora... qué sigue?

Precisamente ahora comienza una de las etapas más trascendente en la ejecución de la práctica: el desarrollo conjunto de habilidades, tanto intelectuales como experimentales. La discusión del posible método a emplear, abre dos sendas epistemológicas necesarias:

1. La idea de la aplicación de cierto método “general”, válido en correspondencia al tipo de problema a resolver
2. La idea del “ajuste y concreción del método “general” para precisar los ejercicios a resolver, las magnitudes a medir, la posible data a obtener y los rangos de valores esperados de las magnitudes a medir y sus posibles causas, o viceversa, siempre sobre la base de los modelos conceptuales.

Obviamente requieren especial atención:

- Identificar las variables que intervienen en el problema.
- Planificar los pasos según la guía que da cuenta de la realización del experimento, preparar tablas de recogida de datos, así como interpretar los resultados.
- Concebir variantes alternativas para medir las variables que intervienen y decidir los instrumentos más adecuados a utilizar (lo que implica, a su vez, conocer sus características más importantes, intervalos que puede medir, sensibilidad, manipulación entre otros elementos).
- Tener presente todas las precauciones o medidas de seguridad en lo que respecta al proceso de medición, así como las incertidumbres inherentes a este proceso.

Conclusiones parciales de la práctica: Sobre la base del modelo conceptual discutir cómo éste se refleja en la instalación experimental y significar cómo cada una de las mediciones que se realizaron en los diferentes ejercicios estaban dirigidas a la solución del problema experimental, o sea, indirectamente, a la comprobación del modelo conceptual.

Como recomendación o alternativa, el profesor pudiera proponer un posible resultado concebido con anterioridad (diseñar un ejemplo por prácticas) y pedirle a los estudiantes explicar cómo desarrollarían ellos las conclusiones de su informe en función de estos resultados.

Finalmente, el profesor con todos los criterios de los estudiantes y su experiencia docente, debe valorar las posibles conclusiones del resultado propuesto, dejando algunas preguntas como estudio independiente para el momento de la revisión del informe.

Resumen de la etapa de desarrollo: Se continúa cuestionando el proceder de los estudiantes ante disímiles situaciones físicas de manera que se supere la inestabilidad de sus modelos mentales y se fomente aún más su transformación en modelos conceptuales.

V ETAPA DE REVISIÓN DEL INFORME

Objetivo: conocer si los estudiantes lograron apropiarse del conocimiento de los modelos conceptuales y permitirle al docente, a partir de sus respuestas, hacer un análisis recursivo de la metodología propuesta en aras de mejorar de forma empírica (como ha sido en este caso) y ajustarla a su propia experiencia personal, y analizar si los resultados obtenidos concuerdan con las predicciones del modelo conceptual.

Conclusiones generales: Esta etapa corresponde a un momento posterior de la realización del laboratorio y, por ende, el estudiante ha tenido tiempo para preparar el informe y pensar en las preguntas que el profesor pudo dejarle. El profesor por su parte, empleando el diálogo socrático, podrá retomar todos los conceptos y definiciones y conocer como los usó el estudiante en el proceso de modelización.

VI RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA (MDPPM)

En la aplicación de la metodología para las prácticas de laboratorio de Física General (cada encuentro de laboratorio tiene una duración de tres horas lectivas), se realizó un análisis tanto cualitativo como cuantitativo de los datos obtenidos de su aplicación.

En cada etapa de la metodología se realiza, esencialmente, de acuerdo con una rúbrica para evaluar las habilidades del razonamiento de los estudiantes. Ella pondera la medida en que los estudiantes están razonando bien a través de los contenidos del curso. La fuente principal fue obtenida del sitio web, *The Critical Thinking Community* dedicada a la investigación y difusión de todo tipo de información relacionada con la enseñanza, (<http://www.criticalthinking.org/>).

El criterio de evaluación fue ajustado a una escala del 2 al 5 para un total de cuatro niveles (ver Anexo):

Sobresaliente (5pt): hábil, se distingue por excelencia en claridad, exactitud, precisión, relevancia, profundidad, amplitud, lógica e imparcialidad.

Satisfactorio (4pt): competente, efectivo, preciso y claro, pero le falta la profundidad, exactitud y la perspicacia del sobresaliente.

Regular (3pt): inconsistente e inefectivo; muestra falta de competencias consistentes: con frecuencia es poco claro,

impreciso, inexacto y superficial.

No satisfactorio (2pt): incompetente, se distingue por imprecisión, falta de claridad, superficialidad, poco lógico, inexactitud y parcialidad.

Este criterio se aplica de la misma manera en cada etapa de la metodología, considerando:

- en la etapa de diagnóstico qué tareas o problemas pueden significar.
- en la etapa de desarrollo el uso de las instalaciones experimentales y los instrumentos de medición para la realización de los ejercicios indicados.
- en la etapa de evaluación del informe el uso que hacen de los modelos conceptuales para interpretar sus propios resultados.

En todos los casos se fue coherente con el sistema de evaluación convencional de 2, 3, 4 y 5, evaluando la calidad de los resultados en orden ascendente conforme al criterio del profesor basados en la rúbrica propuesta anteriormente (ver Anexo). Las clases de laboratorio se comenzaron con una conferencia introductoria (no evaluativa), ejemplificando una práctica de laboratorio por el método de elaboración conjunta siguiendo la metodología propuesta, con la finalidad de, posteriormente, aplicarla y controlarla. Lo que se esperaba de la conferencia introductoria es transmitirles a los estudiantes qué significa en la asignatura de física resolver un problema.

En este curso los estudiantes tuvieron contacto por primera vez con la asignatura, y por ende, con la metodología propuesta. Al momento de iniciarse las prácticas del laboratorio solo habían recibido dos conferencias y una clase práctica (de ejercitación) del contenido. No se contaba con una referencia anterior de su desenvolvimiento por grupos. A continuación, mostramos los promedios de los trabajos de controles (TC) a lo largo de todo el curso y el promedio del curso hasta el tercer trabajo de control (PG) por grupos (enumerados con números romanos) en la tabla 1.

Tabla 1. Promedio de los tres trabajos de controles y promedios del semestre por grupos.

	TC1	TC2	TC3	PG
I	3,54	3,08	2,26	2,96
II	3,46	2,96	2,86	3,09
III	3,54	3,40	2,26	3,07

Los resultados en la tabla 1, muestran que los tres grupos están en igualdad de condiciones, incluso, muestran un comportamiento similar a lo largo de todo el semestre. La categoría docente de los profesores se enmarca entre Profesor Instructor (se entiende como el primer escalón en la escala docente con la única prerrogativa de desarrollar clases de ejercitación) y Profesor Asistente (es el segundo escalón en esta escala y ya puede, con autorización, dictar conferencias). Algunos de ellos ya eran Máster, además poseían gran experiencia docente en las clases de laboratorios.

Al final de un semestre (para un total de cinco prácticas de laboratorio), se dividió cada grupo en dos subgrupos de observación. El primer subgrupo (SG1) lo constituyen los estudiantes que recibieron seguimiento de la metodología al menos dos veces o más, a lo largo de todo el semestre y el segundo subgrupo (SG2) el resto de los estudiantes que no recibieron la metodología en más de un encuentro como máximo. Las características de los (SG1), por grupos y teniendo en cuenta el total de estudiantes por grupos (Total), cantidad (No) y porcentaje (%) de estudiantes que recibieron la metodología tres o más veces, al menos 2 veces, números de encuentros máximos por grupos (L) y el porcentaje que representan de los 5 totales, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Las características de los (SG1), por grupos enumerados con números romanos.

	Total	Recibida 3 o más		Recibida 2 veces		L	
		No	%	No	%	No	%
I	19	8	42,1	11	57,9	4	80
II	21	7	33,3	14	66,7	3	60
III	20	9	45,0	11	55,0	3	60

Se debe resaltar de esta tabla que el grupo 1 fue al que mayor número de veces se le aplicó la metodología con 4 encuentros máximos, le sigue el grupo 3, con el mayor porcentaje de estudiantes con al menos tres encuentros y finalmente el grupo 2 con los peores índices.

La metodología fue aplicada solamente por un profesor a lo largo de todo el semestre, el resto de los profesores continuaron impartiendo las clases como tradicionalmente lo hacían, es decir sin apego a la teoría de los modelos mentales en el proceso de modelización a través del diálogo socrático como herramienta fundamental, ni fueron consecuente con los pasos y el orden propuestos por la (MDPPM).

Las evaluaciones fueron organizadas en el orden en que recibiendo la metodología (L) y no en el orden en que realizaron las prácticas según su planificación docente. Los resultados promedios por etapa de diagnóstico (P), desarrollo (D) y evaluación del informe (I), de los SG1, finalmente fueron promediados (Pr) y sistematizados por grupos en la tabla 3:

Tabla 3. Las evaluaciones de los (SG1), por grupos enumerados con números romanos.

	L1				L2			
	P	D	I	Pr	P	D	I	Pr
I	2,68	5,00	3,00	3,56	3,47	5,00	3,86	4,11
II	3,95	4,76	3,76	4,16	3,30	4,36	4,18	3,95
III	3,95	4,67	4,20	4,27	3,90	4,82	4,36	4,37
	L3				L4			
	P	D	I	Pr	P	D	I	Pr
I	4,75	5,00	4,00	4,80	4,80	5,00	4,80	4,85
II	4,13	5,00	3,00	4,04	-	-	-	-
III	4,63	5,00	4,25	4,63	-	-	-	-

De la tabla 3, se puede destacar que en la (D), los tres grupos, prácticamente siempre obtuvieron la máxima calificación, lo que se interpreta como que los estudiantes fueron capaces de crear modelos mentales que les permitieran entender cómo funcionan las instalaciones experimentales y el porqué del uso de los diferentes instrumentos de medición.

Para hacer más comprensible el análisis de los datos, se graficaron solo los resultados promedios por encuentro y se le ajustó una recta a cada grupo. Se asumió que según el signo de la pendiente - positiva o negativa - se manifestaba como un avance significativo o lo contrario del desarrollo del proceso de modelización como habilidad fundamental en los estudiantes.

El coeficiente de correlación (r), se interpreta, ora como un mejoramiento paulatino, ora como un retroceso en la formación de la habilidad de la modelización como habilidad fundamental. Para dejar poco margen a la dispersión, se asume $r \geq 0.70$, como criterio valorativo favorable [14, 15].

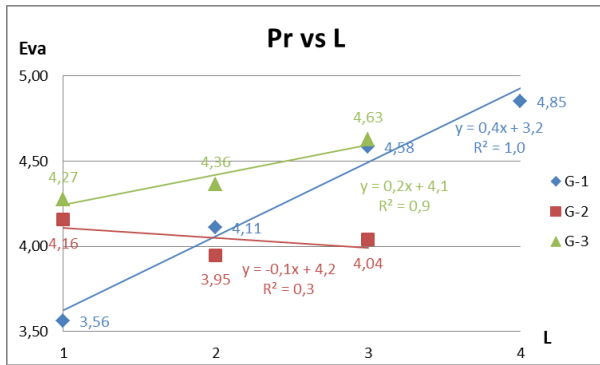


Figura 2. Evaluaciones promedio por encuentro en cada clase de laboratorio.

En la figura 2, se puede observar que los grupos 1 y 3, tienen pendientes positivas y $r \geq 0.9$. Estos grupos son los que representan las mejores muestras en cuanto al seguimiento de la metodología, por tener el mayor número de encuentros y los mayores porcentajes de estudiantes que la recibieron en 3 o más veces. No así con el grupo 2, que tuvo el menor porcentaje de estudiantes que recibieron la metodología. Los resultados en este grupo fueron con pendiente negativa y $r = 0.3$.

Tabla 4. Comparación según las evaluaciones obtenidas en los exámenes finales de los (SG1) con los (SG2), por grupos.

Grupo1			Grupo2			Grupo3		
SG1	SG2	Dif	SG1	SG2	Dif	SG1	SG2	Dif
3,50	3,08	0,42	4,00	3,08	0,92	3,44	3,00	0,44

Se estableció una tendencia comparativa según los resultados obtenidos en los exámenes finales, entre el método tradicional y la metodología propuesta, escogiendo de los (SG1), los estudiantes que recibieron la metodología tres o más veces y de los (SG2) (que no recibieron la metodología más de una vez), aquellos estudiantes que terminaron con 4 o 5 puntos en los laboratorios. Se escogió este criterio como tendencia comparativa por la similitud que existe entre una práctica de laboratorio y un examen final debido a que ambos, son orales. Los exámenes fueron hechos por el mismo tribunal y, al menos en la etapa de diagnóstico, se compararon las notas promedio de los exámenes finales por grupos, los cuales se muestran en la tabla 4.

Los resultados arrojaron diferencias apreciables (Dif) entre las notas promedio de los (SG1) que recibieron la

metodología, la cual fue en todos los casos mayor que la de los (SG2) de cada grupo. La mayor diferencia la tuvo el grupo 2 con 0,92, luego le siguió en orden ascendente el grupo 3 con 0,44, que tuvo el mayor porcentaje de estudiantes que recibieron la metodología tres veces (45,0%) y el grupo 1 tuvo la menor diferencia 0,42, pero fue el único grupo cuyo 42,1% pudo recibir hasta 4 encuentros con la metodología. Esto es un resultado favorable, pues implica que el método tradicional no es el adecuado como se evidencia con los resultados del grupo 2, y que mientras más estudiantes puedan recibir la metodología y en la mayor cantidad de encuentros posibles, los resultados como tendencia, podrían considerarse cada vez mejores, en cuanto al desarrollo de la habilidad de modelización.

Esto indica que la propuesta de MDPPM, tuvo de forma general resultados satisfactorios y el análisis de los diferentes indicadores reveló que los estudiantes lograron resolver correcta e independientemente problemas con cierto grado de complejidad.

De manera general se obtuvieron evidencias de que los alumnos de mejor desempeño fueron los que aparentemente habían formado un modelo mental que se aproximaba al modelo conceptual. Los que trabajaron sólo con proposiciones (fórmulas o algoritmos matemáticos), limitándose a intentar aplicarlas mecánicamente, tuvieron el peor desempeño. Es decir, el aprendizaje sería tanto más significativo si el estudiante fuese capaz de construir modelos mentales y que estos además fuesen consistentes con los modelos conceptuales.

VII CONCLUSIONES

De los análisis efectuados se establecen las siguientes conclusiones:

- Persiste aún insuficiente correspondencia entre los modelos mentales, conceptuales y la instalación experimental en los estudiantes de las carreras de Ingeniería
- Cuando se modeliza, el emplear las características generales de los modelos mentales facilitaría la construcción de modelos de explicación más elaborados, expresados en lenguajes de nivel de abstracción cada vez mayor
- Se precisan rediseñar las tareas o ejercicios docentes de las guías de laboratorio para potenciar la concreción de esta metodología y, a su vez, un cambio esencial en la búsqueda y adquisición de los conocimientos y desarrollo de habilidades de modelización en la asignatura de Física para ingenieros
- Una de las mayores fortalezas del empleo la teoría de los modelos mentales es que permite concebir las clases para que estén más próximas a la realidad concreta del aula, pues posibilita valorar más certeramente los tipos de preguntas a seleccionar.

	5-Sobresaliente	4-Satisfactorio	3-Regular	2-No satisfactorio
Propósito	-Demuestra clara comprensión del propósito de la tarea -Define claramente el problema; identifica con precisión los aspectos centrales del problema -Percibe la profundidad y el alcance del problema -Demuestra objetividad e imparcialidad respecto al problema	-Demuestra un entendimiento del propósito de la tarea -Define el problema; identifica los aspectos centrales, pero no explora la profundidad y alcance del problema -Demuestra objetividad e imparcialidad	-Tiene poca claridad del propósito de la tarea -Define el problema, pero de manera superficial o reducida; puede pasar por alto algunos aspectos centrales. -Tiene problemas para mantener un enfoque objetivo e imparcial del problema	-No entiende el propósito de la tarea -No define clara-mente el problema; no reconoce los aspectos centrales. -No mantiene un enfoque objetivo e imparcial del problema
Pregunta clave o problema	-Identifica y evalúa puntos de vista relevantes y significativos. -Muestra empatía; es imparcial al examinar los puntos de vista relevantes	-Identifica y evalúa puntos de vista relevantes. -Es imparcial al examinar esos puntos de vista	-Puede identificar otros puntos de vista, pero le cuesta trabajo ser imparcial; puede enfocarse hacia pun-tos de vista irrelevantes o no significativos	-Ignora o evalúa superficialmente puntos de vista alternativos. -No puede separar sus propios intereses y sentimientos al evaluar otros puntos de vista
Punto de vista	-Acopia suficiente información, creíble y relevante: observaciones, afirmaciones, datos, preguntas, gráficas, temas, descripciones, etc. -Incluyen información que refuta tanto como que apoya la posición argumentada. -Distingue entre información e inferencias obtenidas de la información	-Acopia suficiente información creíble y relevante. -Incluye alguna información que refuta su posición. -Distingue entre in-formación e inferencias obtenidas de la información	-Acopia alguna información creíble pero no suficiente; parte de la información puede ser irrelevante. -Omite alguna información significativa, incluidos algunos contraargumentos. -Puede confundir algo de la información con inferencias	-Se apoya en información irrelevante, poco confiable e insuficiente. -No identifica o rápidamente descarta contraargumentos relevantes. -Confunde información e inferencias obtenidas de la información.
Información	-Identifica y usa/explica con precisión conceptos clave relevantes	-Identifica, y usa/explica conceptos claves relevantes	-Identifica algunos (no todos) conceptos claves relevantes, pero su uso es superficial y en ocasiones imprecisos	-Interpreta mal conceptos claves y relevantes, o los ignora por completo
Conceptos	-Identifica con precisión las asunciones (lo que se da por hecho). -Hace asunciones consistentes, razonables y válidas	-Identifica asunciones. -Hace asunciones válidas.	-Se equivoca al identificar asunciones o al explicarlas, o las asunciones identificadas son irrelevantes, no están enunciadas claramente, y/o son inválidas.	-Se equivoca al identificar asunciones. -Hace asunciones inválidas.
Asunciones (hipótesis)	-Sigue el camino que marcan la evidencia y el razonamiento para obtener conclusiones o soluciones pensadas, defendibles y lógicas. -Hace inferencias profundas más que superficiales. -Hace inferencias consistentes unas con otras.	-Sigue el camino que marcan la evidencia y el razonamiento para obtener conclusiones justificables y lógicas. -Hace inferencias válidas.	-Sigue algo de la evidencia para obtener inferencias las que pueden ser ilógicas, inconsistentes, poco claras, y/o superficiales	-Usa razonamientos simplistas, superficiales o irrelevantes y/o afirmaciones injustificadas. -Hace inferencias ilógicas o inconsistentes. -Muestra cerrazón de pensamiento o rechazo a razonar; a pesar de la evidencia, mantiene o defiende puntos de vista basados en el interés personal.
Interpretaciones, inferencias	-Identifica las implicaciones o consecuencias del razonamiento (ya sean positivas o negativas). -Distingue las implicaciones probables de las improbables.	-Identifica implicaciones o consecuencias significativas y distingue las implicaciones probables de las improbables (en menor grado de profundidad).	-Tiene problemas para identificar implicaciones o consecuencias significativas; identifica implicaciones improbables.	-Ignora implicaciones y consecuencias significativas del razonamiento.
Implicaciones o consecuencias				

REFERENCIAS

- [1] Marco Antonio, M., Greca, I.M., and Rodríguez Palmero, M.L., Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre 2, 3 p. 23 (2002).
- [2] Lara-Barragán Gómez, A. and Cerpa Cortés, G., Enseñanza de la Física y desarrollo del Pensamiento Crítico Latin American Journal of Physics Education 8, 1 p. 8 (2014).
- [3] Johnson-Laird, P., *Mental models*, (Harvard University Press., Cambridge, 1983).
- [4] Santa Biblia, R.-V., Revisión de 1960. Proverbios 20:18, Sociedades Bíblicas Unidas. (2000).
- [5] Norman, D.A., Some observations on mental models. En Gentner y Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates. 6-14 (1983).
- [6] Greca, I.M. and Moreira, M.A., Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis. 15 (2), 107-120 (1998).
- [7] Gangoso, Z., *et al.*, Resolución de problemas, comprensión, modelización y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería. Latin American Journal of Physics Education. 2, 3 p. 8 (2008).
- [8] García García, J.J. and Rentería Rodríguez, E., La medición de las capacidades de modelización en las ciencias experimentales. Revista Virtual Universidad Católica del Norte 33, 1-28 (2011). (<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194218961009>, <http://revistavirtual.ucn.edu.co/>).
- [9] García García, J.J. and Rentería Rodríguez, E., La modelización de experimentos como estrategia didáctica para el desarrollo de la capacidad para resolver problemas. 11, 13 (2011).
- [10] Crespo Madera, E.J. and Álvarez Vizoso, T., Clasificación de las prácticas de laboratorio de física. 6, 1-8 (2001)
- [11] Perales Palacios, F.J., Los trabajos prácticos y la didáctica de las ciencias. Enseñanza de las Ciencias. 12, 1 p. 122-125 (1994).
- [12] Glenn, M.J., Socratic dialogue—with how many? The Physics Teacher. 33, 6 p. 338-339 (1995) (<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/33/6/10.1119/1.2344233>).
- [13] Hake, R.R., Socratic pedagogy in the introductory physics laboratory. The Physics Teacher. 30, 9 p. 546-552 (1992) (<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/30/9/10.1119/1.2343637>).
- [14] Coletta, V.P. and Phillips, J.A., Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. American Journal of Physics. 73 p. 1172 (2005).
- [15] Lasry, N., et al., The puzzling reliability of the Force Concept Inventory, in American Journal of Physics (2011): American Association of Physics Teachers. p. 909.