

Enseñanza de la Física y desarrollo del Pensamiento Crítico



Antonio Lara-Barragán Gómez^{1,2}, Guillermo Cerpa Cortés²

¹*Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana Campus Guadalajara, Circunvalación Poniente No. 49, Cd. Granja, Zapopan, Jalisco, México.*

²*Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Av. Revolución 1500, Sector Reforma, Guadalajara, Jalisco, México.*

E-mail: alara@up.edu.mx

(Recibido el 5 de Diciembre de 2013; aceptado el 28 de Marzo de 2014)

Resumen

Se propone una estrategia didáctica para el desarrollo del Pensamiento Crítico. Tal estrategia surge de tres fuentes: dos fuentes teóricas, una basada en las sugerencias de Arnold Arons y otra que toma al constructivismo como paradigma educativo. La tercera, empírica, fundamentada en la propia experiencia de los autores. Se describe el Pensamiento Crítico de acuerdo con características conductuales y habilidades relacionadas con tales características. Con base en ello, se hace una descripción detallada de la estrategia didáctica y, finalmente, se presenta una evaluación de su aplicación en cuatro grupos de estudiantes de primer ingreso a carreras de ciencias e ingenierías.

Palabras clave: Pensamiento crítico, enseñanza de las ciencias, habilidades intelectuales, constructivismo.

Abstract

A didactical strategy to foster critical thinking is proposed. It was developed following three kinds of sources: a theoretical one based on suggestions by Arnold Arons and another one taking constructivism as an educational paradigm. The third one is the empirical expertise of authors. Critical thinking is described in terms of conduct characteristics and some intellectual skills associated to them. Based on all of these elements the didactical strategy was developed and is described with detail. Finally, the strategy was applied to four groups of freshmen majoring in science and engineering. Results of evaluation of the strategy are presented.

Keywords: Critical thinking, science teaching, intellectual skills, constructivism.

PACS: 01.30.Ib, 01.40.Di, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Heráclito de Éfeso (553 a.C.-484 a.C.), a pesar de que los amantes de la sabiduría supiesen muchas cosas, afirmaba que la acumulación de conocimiento no educaba la mente. Estas palabras tienen una evidente actualidad como podemos constatar con la mayoría de nuestros alumnos. Es indudable que, en nuestro sistema educativo, todo egresado del nivel medio superior posee más conocimientos que, por ejemplo, Arquímedes o Galileo, pero es poco probable que estos estudiantes pudieran realizar descubrimientos análogos a los que aquellos protocienciafícos realizaron, aún con las limitaciones de sus épocas. Este hecho concuerda con la aseveración de Heráclito, pues en estos casos vemos que la posesión de conocimientos no educa la mente. En otras palabras, saber muchas cosas es condición necesaria pero no suficiente para desarrollar la habilidad de pensar. Surgen entonces las dos preguntas: ¿Cómo puede educarse la mente? Esto es, ¿cómo puede desarrollarse la habilidad

de pensar? Y la segunda, todavía de mayor trascendencia: ¿es posible enseñar a pensar?

La respuesta a la última pregunta ha sido afirmativa en nuestro medio –con o sin razón–, por lo que en los niveles educativos elementales, primaria y secundaria, se ha privilegiado la enseñanza de las matemáticas con la idea de que su aprendizaje lograría que la población que accede a la educación básica fuese más “inteligente”. Con ello se plantea la premisa de que aquellos educandos que “supieran” matemáticas razonarían mejor que quienes no las hubiesen estudiado [1]. Sin embargo, Los resultados de las pruebas internacionales PISA y las nacionales ENLACE [2] se han encargado de desmentirla. La experiencia en esas evaluaciones muestra que tales habilidades tampoco pueden incrustarse o implantarse en el cerebro humano en forma de un conjunto de reglas, fórmulas y algoritmos. Y de acuerdo con lo que escribe Pérez [1] y los fundamentos teóricos de la prueba ENLACE, el ser humano no es ni puede transformarse en una simple máquina.

Por otro lado es aceptado que la capacidad de razonamiento, esto es, la habilidad de pensar siguiendo una línea de razonamiento lógico, no son *dones* ni es genética [3]. Creemos que la idea del origen *congénito* o *natural* de la habilidad de pensar es simplemente una consecuencia del poco entendimiento de las complejas circunstancias y condiciones sociales y pedagógicas que rodean el desarrollo del pensamiento, aunque existan, en efecto, algunos condicionantes genéticos como el caso del síndrome de Down. Creemos, junto con Dowling [3], que la habilidad de pensar debería ser el resultado del desarrollo natural de todo cerebro biológicamente normal bajo condiciones humanas normales. Para nuestros propósitos, entendemos que un cerebro normal es aquel que se encuentra libre de lesiones, y con ello queremos decir que el cerebro puede lesionarse de dos maneras: física e intelectual. La primera casi siempre es resultado de un accidente o una agresión directa, mientras que la segunda es consecuencia de condiciones anormales, las cuales no son otra cosa que prácticas pedagógicas coercitivas y restrictivas [4]. De entre una amplia variedad, las dos más comunes de estas últimas son: la memorización como un fin de aprendizaje en sí misma, y la práctica común de los estudiantes de estudiar solamente el día (o la noche) anterior al examen.

De acuerdo con Ilyenkov [4] la memorización, como único fin del aprendizaje, y su consecuente saturación del cerebro puede lesionar el intelecto. Aprender física, con referencia al cerebro como órgano del aprendizaje [5], supone que éste no necesita repeticiones innecesarias cuando el material bajo estudio, o la manera como se maneja en el aula, es accesible, interesante en sí mismo, y útil con aplicaciones a la vida diaria. De acuerdo con estas discusiones, proponemos nuestra hipótesis de trabajo: *para enseñar a pensar se necesita organizar el proceso de asimilación del conocimiento y su dominio, de manera que el aprendiz ejercite no sólo la memoria, sino también –y quizás con mayor énfasis– la habilidad de realizar tareas que requieran pensar.*

El tipo de pensamiento a que nos referimos es el llamado *Pensamiento Crítico* (PeCr), el cual ha sido discutido y analizado desde muchas perspectivas [6] e inclusive existen asociaciones como *The Critical Thinking Community* (<http://www.criticalthinking.org/>) dedicadas a la investigación y difusión de todo tipo de información relacionada con el tema. Aparte de diversos materiales encontrados en el sitio de esta comunidad, existen pocos trabajos encaminados a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en el área de la física [7], de donde surge la idea del presente trabajo cuyos objetivos son: 1. Contribuir a las ciencias de la educación en el área de las ciencias y, 2. Proponer un modelo pedagógico para las nuevas generaciones de estudiantes que ingresan al nivel superior.

II. REFERENTES TEÓRICOS

¿Qué es el PeCr? ¿Podríamos conceptuarlo de tal manera que tuviera una utilidad inmediata en el salón de clase? Una

respuesta adecuada a ambas preguntas fue dada hace varias décadas por Ennis [8]: el PeCr “es un pensamiento razonado y reflexivo encaminado a decidir en qué creer y qué hacer”. El punto de vista de Ennis indica, además, que el PeCr está formado por conjuntos de habilidades que involucran aclarar términos y aspectos controvertidos, identificar componentes de argumentos, valorar la credibilidad de evidencias, utilizar razonamiento inductivo y deductivo, manejar argumentos y emitir juicios de valor.

Para nuestros propósitos, el concepto de Ennis puede resumirse diciendo que el PeCr es el camino para utilizar la información en forma lógica y racional con el propósito primordial de resolver problemas. El término *problemas* lo entendemos de una forma amplia y no solamente a enunciados en los que se proporcionan datos numéricos o algebraicos y se pide encontrar el valor de una incógnita por medio de manipulación algebraica rutinaria, sino también al análisis de casos en los que han de evaluarse situaciones para una toma de decisiones. Por otro lado, creemos relevante que tal forma de utilizar la información ha de llevarse a situaciones nuevas, e incluso a otros campos del conocimiento tradicionalmente alejados de las ciencias físicas. En la situación actual de la sociedad de la información esta es la forma como han emergido nuevas ciencias transdisciplinares, tales como la Nanociencia y la Genómica. Así, creemos que formar el PeCr en nuestros estudiantes es un gran servicio, ya que con la enseñanza tradicional solo aprenden a memorizar o a repetir información que muchas veces no comprenden, y a resolver problemas numéricos de manera mecánica [7, 9]. Finalmente, en nuestra concepción, el PeCr tiene un valor que va más allá del aula: está relacionado con el cómo una persona ve y se relaciona con el mundo.

Por otro lado, Arons [10] afirma que el PeCr se refiere a una serie de procesos de razonamiento lógico abstracto, los cuáles sólo pueden desarrollarse en la práctica. Como ejemplos de ellos se tiene la habilidad de poner atención, seguir un argumento, detectar una ambigüedad o una inferencia falsa, organizar y administrar el tiempo para el estudio. La cuestión es que, como se escribió unas líneas antes, tales habilidades no pueden enseñarse “en el aire”, sino sólo a través de las dificultades y problemas de una asignatura concreta, y lo más importante, no pueden enseñarse ni aprenderse en un curso, sino deben adquirirse gradualmente a lo largo de varios ciclos de aprendizaje.

Siguiendo a Arons [10], inferimos que el comienzo para el desarrollo del pensamiento crítico relacionado con la enseñanza de la Física se da cuando, a su vez, desarrollamos la habilidad de preguntarnos: ¿Cómo sabemos qué algo es válido?, ¿qué evidencias debemos tener para creerlo?; si estamos en un error, ¿cómo saberlo? En seguida, también tiene que ver con darse cuenta de que llamar a una cosa por su nombre no significa entenderla; ha de recordarse que entendemos muchas cosas y que tenemos nombres y etiquetas para ellas, pero que también hay otras cosas que no entendemos y, sin embargo, también tienen nombres y etiquetas. La educación no es cuestión de aprender nuevos nombres, sino de distinguir cuáles entendemos y cuáles no. Por ejemplo, ¿continúa un cuerpo

moviéndose sin cambio debido a la inercia? Hablando con todo rigor, no. No sabemos por qué los cuerpos se comportan así; simplemente, a la tendencia de comportarse de esa manera la llamamos inercia. Los cuerpos en caída libre no aumentan su rapidez porque aceleran; la aceleración es el nombre dado a ese comportamiento, pero no la razón de él.

Otra de las razones para que una de nuestras metas en la formación de estudiantes sea el desarrollo del PeCr tiene que ver con la calidad de vida, la competencia profesional, el progreso de la cultura y la sociedad en general, y la formación de ciudadanos responsables. Esta idea no es nueva, pues fue planteada a mediados del siglo XX por Bernal [11], quien escribió que uno de los propósitos de la enseñanza de las ciencias es “dotar al ciudadano de un entendimiento técnico suficiente del método científico para aplicarlo a los problemas con lo que debe enfrentarse en su vida social e individual”, por lo que un reto de la formación del PeCr es lograr la transferencia de aprendizajes de física a otros campos fuera del ámbito natural de la ciencia.

III. UNA ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO (EDPC)

De la discusión anterior, concluimos que definir el PeCr no es una tarea fácil y que, además, no parece existir una única definición [6]. Nuevamente, de acuerdo con Arons, creemos que el PeCr solamente puede *caracterizarse* contextualmente. Por consiguiente, para los propósitos de este trabajo sostenemos que una persona ha desarrollado y posee PeCr si muestra las características conductuales y sus correspondientes habilidades que presentamos en la tabla I. Además, otra habilidad esencial dentro de la EDPC, no considerada en la tabla 1, es la de comunicación oral. La verbalización, por parte de los estudiantes, es una manera de evaluar sus aprendizajes, su forma de pensar y el orden intelectual interno (pensamientos organizados y estructurados).

De acuerdo con lo anterior, la EDPC requiere que, en cada ocasión pertinente, el docente:

- Procure que sus estudiantes expliquen un concepto o idea. Si tienen problemas para explicar, entonces se evidencia una falta de claridad y/o comprensión del concepto. Esta situación requerirá que el docente ayude al aprendiz a aclarar sus ideas para expresarlas adecuadamente.
- Ponga en práctica alguna técnica grupal (aprendizaje colaborativo/cooperativo) y proporcione un problema. El docente ha de asegurarse que los integrantes de los grupos (equipos) sigan lineamientos lógicos y empleen términos y palabras correctamente.
- Evalúe el vocabulario básico. Para ello es recomendable proporcionar una lista de términos y palabras a usarse rutinariamente en el curso; En

TABLA I. Características conductuales del Pensamiento Crítico y sus habilidades correspondientes.

Característica Conductual	Habilidad
CC1. Puede diferenciar entre fuentes de información confiables (de personas o instituciones con autoridad académica o moral) y no confiables (de personas o instituciones sin autoridad académica o moral)	H1. Apertura a nuevas ideas H2. Aprender términos y hechos, conceptos y teorías de la materia en cuestión H3. Buscar, interpretar y utilizar información científica
CC2. Reconoce afirmaciones carentes de sentido; esto es, afirmaciones que no son definiciones, que no son verificables por observación directa o indirecta, o que no son proposiciones lógicas o matemáticas	H4. Desarrollar argumentaciones válidas en el ámbito de la física (en el nivel de aprendizaje pertinente)
CC3. Evita definiciones circulares; distingue entre un mero nombre o etiqueta y el concepto que lo caracteriza o lo define	H5. Describe y explica fenómenos naturales y procesos tecnológicos en términos de conceptos, principios y teorías físicas
CC4. Selecciona datos relevantes o pertinentes para la solución de un problema	H6. Destreza algebraica y analítica H7. Destreza para resolver problemas H8. Habilidad para aplicar principios y generalizaciones aprendidas a problemas y situaciones nuevas
CC5. Critica inferencias obtenidas de observaciones, lo que significa que puede reconocer si las inferencias se obtienen directamente de las observaciones, si no están relacionadas con éstas, o si las inferencias y las observaciones se contradicen	H9. Demostrar una comprensión adecuada de los conceptos y principios fundamentales de la física (en el nivel de aprendizaje pertinente) H10. Habilidad para sintetizar e integrar información e ideas H11. Habilidad para distinguir entre observación e inferencia y entre hecho y opinión
CC6. Selecciona una hipótesis de entre un conjunto de ellas para explicar adecuadamente los resultados de observaciones	H12. Habilidad para aplicar principios y generalizaciones aprendidas a problemas y situaciones nuevas

Nuestra experiencia con estudiantes de nuevo ingreso a la universidad durante los últimos cinco años [12] nos muestran que, en los cursos que consiste principalmente de sesiones de pizarrón (o presentaciones en Power Point) con exámenes periódicos, el 57% de los estudiantes de segundo a cuarto semestre solamente estudian al menos dos días antes del examen de periodo, el 31% lo hace la tarde o noche anterior, mientras que el 8% “estudia” una o dos horas antes del examen. Quienes están en este último caso, faltan a las clases anteriores al examen. El 4% restante dedican más de seis días a preparar sus exámenes.

Para nosotros este hecho significa que el 96% del estudiantado no ha adquirido, durante sus dos primeros años en la universidad, un hábito de estudio adecuado. Esta deficiencia presenta un obstáculo para la aplicación de la EDPC. Sin embargo, también creemos que parte de la aplicación del esquema implica dotar a los estudiantes de formas adecuadas para que desarrollen el hábito de estudiar continua y sistemáticamente.

La EDPC, basada en el paradigma constructivista [13, 14] consta de seis momentos (Figura 1), pero su soporte es el conocimiento, esto es, el éxito o fracaso relativos del modelo –así como de cualquier otro modelo didáctico– depende de que los estudiantes hayan *guardado* en su memoria una cantidad mínima de conocimientos. Esto se conecta con el párrafo anterior, en el que aseveramos que para comprender algo primero se necesita conocerlo, y que razonar sobre el vacío intelectual conduce al sofisma. Así, el primer momento del EDPC consiste en verificar los conocimientos mínimos que han de tenerse para abordar el análisis de cualquier concepto o situación por medio de la detección de preconceptos, cuando se comienza un nuevo tema, o la activación o reactivación de conceptos cuando se continúa con el mismo tema general o con nuevas aplicaciones y extensiones del mismo tema o concepto. En el primer caso, el uso del diálogo socrático [15] es de gran ayuda, mientras que en el segundo la aplicación de un examen corto (quizz) y la solución de las tareas es la estrategia a seguir. Es importante recordar que la primera pregunta que debe hacerse toda persona que desea desarrollar el PeCr es: “¿Cómo se sabe que...?”, ya que involucra tanto la característica conductual CC1, como la CC2 y sus respectivas habilidades (Tabla I).

Enseguida ha de notarse que en el esquema de la figura 1 aparecen dos actividades en el mismo nivel del primer momento, un *quizz* y una *tarea*. Ambas tienen la función de desarrollar el hábito del estudio continuo y sistemático. En el caso del *quizz* se recomienda aplicarlo en cada clase, y forma parte esencial de la evaluación. El *quizz*, como examen corto puede constar de tres a cinco preguntas que verifiquen conocimiento memorístico; por ejemplo, que enuncie la Segunda Ley de Newton o que proporcione las definiciones de aceleración, fuerza o cantidad de movimiento. Por su parte la tarea deberá cumplir con el desarrollo de la característica conductual 4 y sus tres habilidades asociadas. Para esto, nuestra experiencia muestra que la retroalimentación sistemática es de gran ayuda para alcanzar tal objetivo. No es suficiente recoger la tarea, revisarla y regresarla sin comentarios; lo más recomendable es tomar algunos minutos de la sesión de aula para resolver los problemas y hacer ver cómo pueden superarse los errores cometidos.

El segundo momento consiste en la presentación y/o construcción de nuevos conceptos donde, nuevamente, el diálogo socrático es la piedra angular del proceso. La exposición o clase magisterial es recomendada sólo para el caso en que se presentan conceptos con los que el estudiante no ha tenido contacto con el contenido que se va a tratar durante la sesión, o para testimonios históricos.

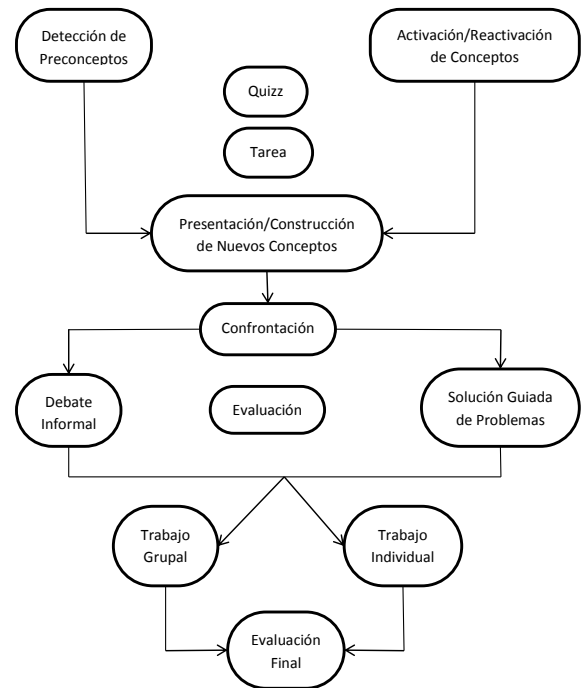


FIGURA 1. Estrategia Didáctica para el Desarrollo del Pensamiento Crítico.

El tercer momento, la *confrontación*, se realiza también con el diálogo socrático y su importancia para la aceptación y asimilación de los nuevos conceptos es crucial. Aquí es conveniente aclarar que *confrontación* se refiere a comparar los nuevos conceptos (del segundo momento) con los preconceptos (del primer momento). Generalmente, los preconceptos son errores conceptuales arrastrados de los niveles educativos previos al nivel superior que. Por ejemplo, en una sesión de aula sobre el tema de temperatura, al investigar los preconceptos encontramos que el error conceptual más común en nuestro medio es: “La temperatura es la medida del calor”. El siguiente extracto del diario de campo de un observador ejemplifica la manera en que hemos llevado a cabo la confrontación:

Profesor.- “y, ¿qué es el calor?”

Estudiante.- “una forma de energía”

Profesor.- “en qué unidades sabemos que se mide la energía?”

Estudiante.- “joules”

Profesor.- “¿y en qué unidades se mide la temperatura?”

Estudiante.- “grados”

Profesor.- “¿Cómo puede, entonces, una cantidad cuyas unidades son grados, medir algo cuyas unidades son joules? ¿Acaso joules y grados son lo mismo?”

La confrontación anterior entre temperatura y calor por medio de sus unidades les da los elementos necesarios para concluir que la temperatura no puede medir el calor. Por consiguiente, este momento lleva de inmediato al *cuarto momento*, en el que se pueden realizar dos tipos de acciones: un debate informal o una solución guiada de problemas. En el primer caso, varios estudiantes exponen sus ideas sobre el concepto o situación, las cuales se

critican o analizan por otros estudiantes, con el profesor como moderador. La actividad tiene un alto valor para evaluar el desempeño de estudiantes en cuanto a las características conductuales CC2 y CC3, y para detectar a aquellos o aquellas que no participan de la actividad. Para con ellos habrá que instrumentar alguna estrategia que los invite a participar activamente poco a poco.

El quinto momento consiste en permitir la aplicación de los conceptos en diversas situaciones que pueden ser el análisis de casos o la solución de problemas. Las formas de trabajo que hemos ensayado son individual y grupal, ésta última por medio de grupos cooperativos [16, 17]. Con estas actividades es posible desarrollar las características 4 y 5 del PeCr.

El sexto momento consiste en una evaluación global final, tanto del proceso como de los aprendizajes. Generalmente se aprovechan los resultados de los trabajos en equipo o individuales o se plantean preguntas abiertas. Es de notar que la evaluación se lleva a cabo a lo largo de todo el proceso (Figura 1). Los *quizzes* y las tareas conforman los primeros aspectos a evaluar, mientras que los desempeños en clase durante las etapas de confrontación y de trabajo grupal o individual dan lugar a otras tantas evaluaciones. La evaluación global final es la que proporciona una calificación numérica, la cual contribuye a la calificación final del ciclo escolar correspondiente.

La evaluación entre los momentos dos al cinco se realiza, esencialmente, de acuerdo con una rúbrica conocida como *Matriz de Pensamiento Crítico* (<http://www.criticalthinking.org/pages/critical-thinking-testing-and-assessment/594>) en la que se evalúan ocho aspectos del PeCr de acuerdo con una escala de cuatro niveles: Sobresaliente, Satisfactorio, Regular, Insatisfactorio de acuerdo con los siguientes criterios: 4 – Sobresaliente; hábil, se distingue por excelencia en claridad, exactitud, precisión, relevancia, profundidad, amplitud, lógica e imparcialidad; 3 – Satisfactorio; competente, efectivo, preciso y claro, pero le falta la profundidad, exactitud y la perspicacia del sobresaliente; 2 – Regular; inconsistente e inefectivo; muestra falta de competencias consistentes: con frecuencia es poco claro, impreciso, inexacto y superficial; 1 – No satisfactorio; incompetente, se distingue por imprecisión, falta de claridad, superficialidad, ilógica, inexactitud y parcialidad. (Anexo 1). Resumimos en la tabla 2 siguiente los ocho aspectos del PeCr que se evalúan y su relación con las Características Conductuales propuestas en la tabla I.

IV. RESULTADO DE UNA APLICACIÓN DE LA EDPC

La EDPC se ha aplicado como experiencia piloto en cuatro grupos de la unidad de aprendizaje *Introducción a la Física* que se imparte, con el mismo *syllabus*, en el primer semestre de carreras de ciencias e ingenierías en dos universidades de la zona metropolitana de la ciudad de

Enseñanza de la Física y Desarrollo del Pensamiento Crítico Guadalajara, Jalisco, México. Los grupos se identifican simplemente con los números 1, 2, 3 y 4, dos de cada universidad. Los grupos tienen la característica común de tener un número de alumnos similar, los tres primeros de 28 alumnos y el número 4 de 27 alumnos.

TABLA II. Relación de aspectos del PeCr a evaluar y sus características conductuales.

Aspecto del PeCr que se evalúa	Característica Conductual
Propósito	Puede explicar satisfactoriamente lo que se pide en la tarea y enunciar correctamente los objetivos que se persiguen.
Pregunta clave, o problema	CC3. Evita definiciones circulares; distingue entre un mero nombre o etiqueta y el concepto que lo caracteriza o lo define. CC4. Selecciona datos relevantes o pertinentes para la solución de un problema.
Punto de vista	CC2. Reconoce afirmaciones carentes de sentido; esto es, afirmaciones que no son definiciones, que no son verificables por observación directa o indirecta, o que no son proposiciones lógicas o matemáticas.
Información	CC1. Puede diferenciar entre fuentes de información confiables (de personas o instituciones con autoridad académica o moral) y no confiables (de personas o instituciones sin autoridad académica o moral).
Conceptos	CC3. Evita definiciones circulares; distingue entre un mero nombre o etiqueta y el concepto que lo caracteriza o lo define.
Asunciones (hipótesis)	CC4. Selecciona datos relevantes o pertinentes para la solución de un problema.
Interpretaciones, inferencias	CC5. Critica inferencias obtenidas de observaciones, lo que significa que puede reconocer si las inferencias se obtienen directamente de las observaciones, si no están relacionadas con éstas, o si las inferencias y las observaciones se contradicen.
Implicaciones, consecuencias	CC6. Selecciona una hipótesis de entre un conjunto de ellas para explicar adecuadamente los resultados de observaciones.

Cabe señalar que en una de las universidades se presentó un fenómeno de deserción por el que, al final del semestre, los grupos 3 y 4 tuvieron la presencia de 22 y 19 alumnos, respectivamente.

La metodología utilizada corresponde a un diseño longitudinal panel [18], en la cual, los mismos individuos se observan a lo largo de un semestre, en cuanto a sus cambios de actitud y participación, de acuerdo con las características conductuales de la tabla I, evaluadas con la Matriz de Pensamiento Crítico. La forma de proceder fue la siguiente. En las dos primeras sesiones del semestre se dividió cada grupo en dos subgrupos de observación; en el primero, que denominamos SG1 se incluyeron cinco alumnos que destacaron por sus primeras participaciones, mientras que el subgrupo SG2 lo representan el resto de los estudiantes. Un observador externo (un prestador de servicio social, quien no forma parte del grupo, ni es el profesor) se encargó de llevar el diario de campo con las observaciones clasificadas en categorías de observación que correspondieron a las características conductuales y la Matriz de Pensamiento Crítico. Las evaluaciones, de acuerdo con los criterios numéricos de la Matriz, se llevaron a cabo en tres momentos del semestre: en la segunda semana (cuarta sesión, e inicio de la aplicación de la EDPC), en la semana 7 y en la semana 14 (dos semanas antes de finalizar el semestre). Debido a la deserción escolar en dos de los grupos, los resultados de las semanas 7 y 14 son promedios sobre el número total de estudiantes presentes.

La escala de calificación del PeCr se especifica en la Matriz de Pensamiento Crítico del Anexo 1, de donde resumimos: 4 para Sobresaliente, 3 para Satisfactorio, 2 para Regular y 1 para Insatisfactorio. La tabla III siguiente sistematiza los resultados.

TABLA III. Puntuaciones de desarrollo de Pensamiento Crítico.

	Grupo 1 Media (Desviación estándar)		Grupo 2 Media (Desviación estándar)		Grupo 3 Media (Desviación estándar)		Grupo 4 Media (Desviación estándar)	
	SG 1	SG 2	SG 1	SG 2	SG 1	SG 2	SG 1	SG 2
Sem 1	2.2 (0.447)	2.0 (0.674)	2.6 (0.548)	2.174 (0.576)	2.2 (0.837)	2.087 (0.596)	2.6 (0.548)	2.045 (0.575)
Sem 7	2.8 (0.837)	2.174 (0.65)	2.8 (0.837)	2.217 (0.6)	2.6 (0.894)	2.238 (0.768)	2.8 (0.837)	2.3 (0.865)
Sem 14	3.2 (0.837)	2.609 (0.891)	3.0 (1)	2.609 (0.941)	3.0 (1)	2.882 (0.697)	3.2 (0.837)	3.071 (0.73)

Por el uso de la *ganancia normalizada* $g = (\text{Calificación final}) - (\text{Calificación inicial}) / [1 - (\text{calificación inicial})]$ [19, 20], donde las calificaciones inicial y final se obtienen considerando que 5, la calificación máxima, es el 100%. Este factor puede tomar valores entre 0 y 1, donde 0 significa que no se lograron aprendizajes, mientras que 1 corresponde al máximo aprendizaje posible. Los resultados de este cálculo se resumen en la tabla IV.

TABLA IV. Valores de Ganancia Normalizada.

Grupo 1 Ganancia Normalizada		Grupo 2 Ganancia Normalizada		Grupo 3 Ganancia Normalizada		Grupo 4 Ganancia Normalizada	
SG1	SG2	SG1	SG	SG1	SG2	SG1	SG2
0.556	0.255	0.2	0.182	0.4	0.375	0.333	0.532

V. DISCUSIÓN

Los números de la tabla III muestran una mejoría en cuanto al desarrollo de las características conductuales (y sus respectivas habilidades) relacionadas con el PeCr. En el caso de los subgrupos SG1, compuestos con los cinco alumnos que se mostraron más abiertos a la participación grupal desde la primera sesión áulica, el aumento de calificación parece ser más notorio en todos los grupos, aunque la dispersión mostrada por la desviación estándar es mayor que en los casos de los subgrupos SG2 compuestos por el grueso de los estudiantes de cada grupo.

Los valores de la tabla IV son más significativos. Puede observarse que el subgrupo SG1 del grupo 1 y el subgrupo SG2 del grupo 4 presentan los mayores valores de ganancia normalizada, mientras que en los grupos 2 y 3, sus subgrupos presentan valores de ganancia normalizada semejantes. Si se comparan los subgrupos SG2 del grupo 1 y el subgrupo SG1 del grupo 4 con sus respectivas contrapartes, se aprecian diferencias. En el grupo 1, el subgrupo SG1 obtuvo un valor de ganancia normalizada mayor al doble del valor de ganancia normalizada del subgrupo SG2, mientras que para el grupo 4, la ganancia normalizada del subgrupo SG2 es algo menos del doble del valor respectivo para el subgrupo SG1.

El mayor valor encontrado es 0.556 para el subgrupo SG1 del grupo 1 y el menor valor es de 0.182 para el subgrupo SG2 del grupo 2. El promedio de los valores de la ganancia normalizada es de 0.354. Este valor nos indica ratifica, en promedio, lo que se afirmó al inicio de la discusión, respecto a que las características conductuales mejoraron satisfactoriamente.

VI. CONCLUSIONES

Desarrollar el Pensamiento Crítico no es una tarea fácil, puesto que requiere elementos que, generalmente, se oponen a las prácticas tradicionales imperantes en nuestro medio. El rol del profesor ha de cambiar dramáticamente y, como requisito, el profesor ha de haber desarrollado las características propias de un pensador crítico, lo cual puede ser un proceso relativamente largo, intencionado y con metas definidas. Con respecto al estudiantado, resulta una tarea doblemente difícil, pues además el profesor o la profesora deberán enfrentarse a los vicios adquiridos durante los años previos a la educación superior. Sin embargo, nuestra experiencia muestra que, una vez superado el obstáculo de la formación o autoformación docente, el trabajo con el alumnado se facilita enormemente. Cuando existe una guía apropiada, los estudiantes cooperan y se entusiasman ante los nuevos retos que se les proporcionan. Todos aquellos profesores que han utilizado estrategias didácticas centradas en el alumno y su aprendizaje, o métodos de enseñanza activos, saben que la situación mencionada es cierta.

El Modelo Didáctico que hemos utilizado y descrito en este trabajo nos ha dado resultados satisfactorios. Creemos

que las preguntas planteadas en la introducción, las que a su vez determinaron el desarrollo del presente trabajo pueden ser contestadas de manera igualmente satisfactoria: Si puede desarrollarse la habilidad de pensar críticamente con la EDPC, por lo que podríamos asegurar que si se desarrolla otra estrategia análoga, también podría utilizarse con el mismo fin. La respuesta a la segunda pregunta es igualmente afirmativa: De acuerdo con nuestro estudio, sí es posible enseñar a pensar críticamente.

Finalmente, se alcanzaron los objetivos planteados. Nuestro trabajo contribuye a las ciencias de la educación en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, y hemos propuesto un modelo pedagógico para las nuevas generaciones de estudiantes que ingresan al nivel superior.

REFERENCIAS

- [1] Pérez Gómez, R. *Tres Razones para Estudiar Matemáticas*, <www.oei.es/oim/xviiiioimperezgomez.htm>; consultado el 12 de enero de 2010.
- [2] SEP, Secretaría de Educación Pública, <www.enlace.sep.gob.mx/>; consultado el 3 de septiembre de 2011.
- [3] Dowling, J.E., *The Great Brain Debate. Nature or Nurture?* (Joseph Henry Press, USA, 2004).
- [4] Ilyenkov, E.V., *Our Schools Must Teach How to Think!*, Journal of Russian and East European Psychology **45**, 9-49, (2007).
- [5] OECD, *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*, <www.sourceoecd.org/education/9789264029125>, consultado 30/03/2009.
- [6] Behar-Horenstein, L. S. and Niu, L., *Teaching Critical Thinking Skills In higher Education: A Review Of The Literature*, Journal of College Teaching & Learning **8**, 25-41 (2007).
- [7] Laiton Poveda, I., *¿Es posible desarrollar el pensamiento crítico a través de la resolución de problemas en física mecánica?*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **8**, 54-70 (2011).

- Enseñanza de la Física y Desarrollo del Pensamiento Crítico*
- [8] Ennis, R. H., *A concept of critical thinking*, Harvard Educational Review **32**, 81-111 (1962).
- [9] Castiblanco, O. y Vizcaino, D., *Pensamiento Crítico y Reflexivo desde la Enseñanza de la Física*, Revista Colombiana de Física **38**, 674-677 (2006).
- [10] Arons, A. B., *Teaching Introductory Physics* (John Wiley & Sons, Inc., USA, 1997)
- [11] Bernal, J. D., *Science teaching in general education*, Science Education **29**, 233-246 (1945).
- [12] Martínez González, R. C. y Lara Barragán Gómez, A., *Dos o Tres Exámenes Parciales, ¿qué es mejor?*, Reporte Interno, Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana campus Guadalajara (2011).
- [13] Martínez Delgado, A., *Constructivismo Radical*, Enseñanza de las Ciencias **17**, 493-502 (1999).
- [14] Sewell, A., *Constructivism and student misconceptions. Why every teacher needs to know about them*, Australian Science Teachers' Journal **48**, 24-28 (2002).
- [15] Julian, G.M., *Socratic dialogue –With how many?*, The Physics Teacher **33**, 338-339 (1995).
- [16] Andre, K. M., *Cooperative Learning: An Inside Story*, The Physics Teacher **37**, 356-358 (1999).
- [17] Crouch, C.H. and Mazur, E., *Peer Instruction: Ten years of experience and results*, American Journal of Physics **69**, 970-977 (2001).
- [18] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptispta Lucio, M.P., *Metodología de la Investigación*, (McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V., México, 2010)
- [19] Alarcón Opazo, H. R. y De La Garza Becerra, J. E., *Influencia del Razonamiento Científico en el Aprendizaje de Conceptos en Física Universitaria: Comparación entre Instrucción Tradicional e Instrucción por Modelación*, (2009). <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v10/pdf/area_tematica_05/ponencias/1189-F.pdf> consultado el 12 de enero de 2012.
- [20] Redish, E. F. and Steinberg, A., *Teaching Physics: Figuring Out What Works*, Physics Today **52**, 24-30 (1999).

ANEXO 1. Matriz de Pensamiento Crítico.

	Sobresaliente	Satisfactorio	Regular	No satisfactorio
Propósito	Demuestra un claro entendimiento del propósito de la tarea	Demuestra un entendimiento del propósito de la tarea	No tiene completamente claro el propósito de la tarea	No entiende el propósito de la tarea
Pregunta clave, o problema	-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	-Define el problema; identifica los aspectos centrales pero no explora la profundidad y alcance del problema -Demuestra objetividad e imparcialidad	-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 define claramente el problema; no reconoce los aspectos centrales -No mantiene un enfoque objetivo e imparcial del problema
Punto de vista	-Identifica y evalúa puntos de vista relevantes y significativos -Muestra empatía; es	-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 puntos	-Ignora o evalúa superficialmente puntos de vista alternativos -No puede separar sus propios

	imparcial al examinar los puntos de vista relevantes		de vista irrelevantes o no significativos	intereses y sentimientos al evaluar otros puntos de vista
Información	-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 información 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 contrargumentos -Puede confundir algo de la información con inferencias	-Se apoya en información irrelevante, poco confiable e insuficiente -No identifica o rápidamente descarta contrargumentos relevantes -Confunde información e inferencias obtenidas de la información
Conceptos	Identifica y usa/explica con precisión conceptos clave relevantes	Identifica y usa/explica conceptos clave relevantes	Identifica algunos (no todos) conceptos clave relevantes, pero su uso es superficial y en ocasiones impreciso	-Mal interpreta conceptos clave relevantes, o los ignora por completo
Asunciones (hipótesis)	-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
Interpretaciones, inferencias	-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
Implicaciones, consecuencias	-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