

Los Experimentos Discrepantes en el aprendizaje activo de la Física



Luis H. Barbosa^{1,2}

¹Dpto de Ciencias Naturales, Universidad Central, Cra 5 No. 21-38, Bogotá, Colombia.

²Web page: <http://lhbfsica.googlepages.com>

E-mail: lhbfsica@yahoo.es, lhbfsica@gmail.com

(Recibido el 24 de abril de 2008; aceptado el 20 de junio de 2008)

Resumen

Los Experimentos Discrepantes (ExD) son montajes que al accionarlos generan una fenomenología contraintuitiva que puede ser utilizada favorablemente para un aprendizaje activo de la física. El propósito de este trabajo es ilustrar algunas reflexiones sobre los escenarios que pueden implementar estos montajes, así como sus fortalezas y debilidades. He notado que los ExD permiten un escenario fértil donde el estudiante puede jugar a observar, a desarrollar su creatividad y a mejorar su intuición física. Lo entrena en actividades propias de la investigación en ciencias como conjeturar, argumentar, abstraer, modelar y socializar conocimiento en forma verbal y escrita. Se detallan algunas situaciones y prototipos utilizados como estrategia de aprendizaje de la física, a nivel de Licenciatura y de Ingeniería.

Palabras clave: Física educativa, experimentos discrepantes, demostraciones experimentales, física recreativa.

Abstract

The Discrepant Experiments (ExD) they are assemblies that generate a phenomenology contrary to the common sense that can be used favorably for an active learning of the physics. The purpose of this work is to illustrate some reflections on the scenarios that can implement these assemblies, also its strengths and weaknesses. I have noticed that the ExD allows a fertile scenario where the student can play to observe, to develop of her creativity and to make better of her physical intuition. It trains him in activities characteristic of the investigation in sciences like to conjecture, to argue, to abstract, to model and to socialize knowledge in verbal and written form. I detail some situations and prototypes used as strategy of learning of the physics, at level of Licentiate and of Engineering

Keywords: Discrepant events, discrepant experiments, science inquiry, experimental demonstration.

PACS: 01.40.-d, 01.40.Fk, 01.50.My, 01.50.Pa, 01.50.Wg, 01.50-i, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Cuando un maestro de Física se plantea el reto de originar un espacio agradable para el aprendizaje de las ciencias en alguna institución de educación media o superior en nuestro país, se enfrenta a una problemática con distintos matices: Primero, su formación ha sido dentro de un contexto de enseñanza tradicional, por tanto, lo primero que plantea el maestro, es un escenario pasivo, con tablero, marcador, incluso sin muchas palabras ni ideas, y mas bien, con muchos desarrollos y demostraciones matemáticas. Segundo, los intereses del estudiante, y su madurez conceptual, están lejos de soportar un escenario con una simbología exótica y sin sentido para comprender esa maraña. Es decir, según Cartaña y Comas la enseñanza de las ciencias es descontextualizada [1]. En muchas aulas el predominio del modelo tradicional y su dificultad para promover el aprendizaje significativo tiene su fundamento en ciertas suposiciones inadecuadas del maestro al solo precisar las deficiencias de los estudiantes que enfrentan el aprendizaje de las ciencias [2].

Adicional a lo anterior, algunas de las situaciones que en ocasiones se le plantean al estudiante chocan con sus presaberes. Por ejemplo, resulta difícil para el estudiante conciliar la idea de que una esfera con trayectoria semiparabólica emplea el mismo tiempo en caer al piso que otra que se deja caer simultáneamente desde la misma altura. De otra manera, muchas de estas situaciones físicas resultan discrepantes para el estudiante; sin embargo, el factor, mente del sujeto que aprende [3], no juega un rol importante en el modelo de enseñanza tradicional.

De acuerdo a experimentos de Hake [4] y Redish [5], el aprendizaje activo [6] es mas efectivo que el modelo tradicional y yo he encontrado que los experimentos discrepantes (ExD) [7] corresponden a una estrategia de aprendizaje activo que genera un escenario fértil, y de motivación [25] para el aprendizaje de temas de la Física.

En lo que sigue se caracterizan los ExD, se ilustra su poder pedagógico mediante la teoría de la disonancia cognitiva, se plantea su uso como estrategia complementaria de aprendizaje describiendo una

experiencia y las habilidades que puede potenciar su dinámica.

II. DESCRIPCIÓN DE UN EXPERIMENTO DISCREPANTE (ExD)

Un ExD es un montaje que al accionarlo manifiesta un fenómeno impactante o contraintuitivo para el estudiante. El fenómeno puede corresponder a un suceso que ocurre cuando el observador esta esperando otro. De otra manera se puede decir que un ExD exhibe una fenomenología sorpresiva, inesperada, paradójica y que ofende la intuición de quien lo observa. Por ejemplo, la esfera en el soplador sale por la boca B del tubo [7], el trompo se voltea [8, 9], el deslizador (b) de la figura 1, sin ruedas, se mueve cuando se empuja. Si el evento es impactante también genera desequilibrio y por tanto atrapa al estudiante. El desequilibrio ya no es entre el suceso y lo esperado sino porque el estudiante no tiene presaberes inmediatos que le permitan entender el fenómeno. Por ejemplo, el disco se mueve cuando se raspa el palo de la hélice [10]. En particular, muchos juguetes [11] cuando se accionan evidencian una fenomenología asombrosa que cautiva al estudiante.

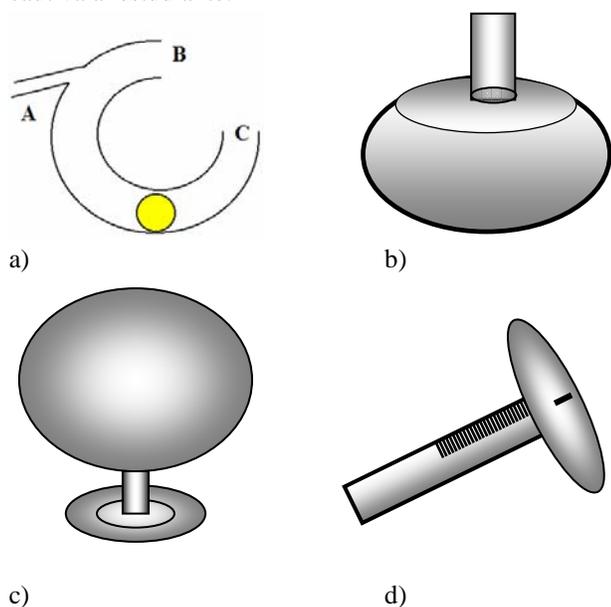


FIGURA 1. Se muestran cuatro montajes del tipo experimentos discrepantes: a) El soplador mágico, b) El Tippe Top, c) El deslizador, d) El molinillo o hélice mágica. Es deslizador es un globo desocupando aire a través de un tubo conectado a un CD.

III. DISONANCIA COGNITIVA DE LOS ExD

La razón fundamental para que un experimento discrepante genere motivación estriba en que el fenómeno que vislumbra es contrario a lo que la lógica de la persona espera. A este respecto se puede afirmar que el evento presentado genera disonancia cognitiva para quien lo observa. Como afirma Festinger [12], una persona presenta disonancia cognitiva, cuando percibe dos informaciones

Los Experimentos Discrepantes en el aprendizaje activo de la Física

contrarias de un mismo estímulo o mantiene al mismo tiempo dos pensamientos que están en conflicto. Es decir, presenta incompatibilidad de dos cogniciones simultáneas.

Festinger [12] plantea que al producirse esa incongruencia o disonancia de manera muy apreciable, la persona se ve automáticamente motivada para esforzarse en generar ideas y creencias nuevas que permitan reducir la tensión hasta conseguir que el conjunto de sus ideas y actitudes encajen entre sí, logrando una cierta coherencia interna.

El modo en que se produce la reducción de la disonancia puede involucrar distintos caminos [12]. Por ejemplo, un cambio de actitud o de ideas ante la realidad. Por supuesto, como el fenómeno del montaje no se puede cambiar, físicamente, el único camino que queda, para reducir el desequilibrio, es cambiar de ideas. Aquí es donde el maestro de Física, no debe apresurarse a dar una respuesta sino que al unísono con sus estudiantes debe procurar jugar, degustar el fenómeno, hacer preguntas y sobre todo manifestar al estudiante que se inicia una empresa ardua para develar el *cómo* y el *por qué* del fenómeno. A este respecto me gusta acuñar aquella adecuada plática entre el maestro y el discípulo cuando este último objeta a su maestro: *¡Gran sabio!, Tu siempre nos cuentas parábolas pero nunca nos das el significado; y el maestro contestó, ¡Pequeño saltamontes!, ¿te gustaría que te diera una manzana ya masticada?*. Ante esta parábola, los estudiantes cambian su actitud y empiezan a trabajar.

Como la tarea es reducir la disonancia, resulta apropiado asignar unas tareas para el éxito de esa gran empresa. Es importante sugerir alguna metodología de trabajo para observar, anotar detalles, plantear preguntas, generar conjeturas, utilizar algún modelo conceptual y cadenas de razonamiento para describir el fenómeno; acordar momentos para presentar avances del entendimiento del evento, búsqueda de información, etc.

IV. UTILIDAD DE LOS ExD

Hemos utilizado los ExD en distintas situaciones del aprendizaje de la física como una herramienta para generar motivación y asombro en estudiantes de licenciatura, ingeniería y educación media. En cada caso se ha logrado una postura activa del estudiante y un aprendizaje de la Física con más sentido. De acuerdo a Etkina [24] se pueden identificar por lo menos tres tipos de experimentos en la enseñanza de la Física: experimento observacional, experimento probatorio de conceptos, y experimento de aplicación de conceptos. En los tres subyace el aspecto cualitativo y cuantitativo. A este respecto recomiendo ver la tabla de Etkina [24] donde sintetiza distintos tipos de experimentos en física educativa concomitantemente a: su objetivo pedagógico, el momento de uso, sugerencias para el profesor, preguntas para el estudiante y donde pueden ser utilizados.

A continuación describimos algunas situaciones de experiencia con los ExD y esperamos que sirvan como

modelo para ser implementadas en el aprendizaje activo de la Física:

1. *Para plantear una clase:* Hemos planteado la cinemática desde un tubo con una burbuja dentro; midiendo posiciones en el tiempo, para luego calcular rapidez de la burbuja a diferentes inclinaciones del tubo. La discrepancia de este montaje se presenta cuando el estudiante comprueba que en una gráfica de velocidad en función del ángulo, la máxima velocidad se presenta entre 45 y 50 grados y no en 90 grados como el esperaba. En la tabla 1 se sintetiza información sobre algunos montajes con su respectiva temática.

Existe alguna literatura que evoca un intento por el aprendizaje de las ciencias mediante juguetes. Por ejemplo, Schlichting en [11, 14], hace una reflexión sobre la posibilidad del aprendizaje de la mecánica mediante juguetes.

TABLA I. Algunos montajes de experimentos discrepantes empleados para estudiar ciertas temática de la Física.

Montaje	Temática
• El soplador [7]	• Ecuación de Bernoulli, mov. semi-parabólico.
• Burbuja en tubo [35]	• Cinemática unidimensional
• Compuerta mágica [34]	• Ecuación de Young-Laplace
• Deslizador [35]	• Leyes de Newton
• Plano Inclinado con dos trayectorias distintas [35]	• Energía Mecánica
• Tippe Top [34, 8, 9]	• Cinemat. y dinámica rotacional.
• Esfero retráctil con cinturón [35]	• Centro de gravedad
• Chimenea mágica [35]	• Termodinámica
• Cuna de Newton [35]	• Colisiones
• Molinillo mágico [34]	• Oscilaciones
• Generador V. G. [13]	• Electrostática
• Electroimán [34]	• Magnetostática

2. *Como proyecto de investigación al final de una clase, semana o periodo académico:* En ingeniería, en primeros semestres de formación en la Universidad Central de Bogotá, se han dejado por cerca de cuatro años, un material escrito que involucra la realización de un montaje discrepante al final de cada corte (5 semanas). Los estudiantes observan y analizan la fenomenología cuyas conclusiones socializan mediante un informe y un debate. Lo que se observa es un fértil trabajo de grupo [25, 28] y una evolución paulatina en la argumentación y descripción del por qué y en del cómo del fenómeno del montaje que construyen.

3. *Para plantear una discusión o conversatorio académico acerca de un concepto o teoría determinada de la ciencia:* Cuando los estudiantes ya poseen cierta formación, a veces es muy útil poner a prueba sus conocimientos. Entre 2001 y 2004, en las tardes, luego del almuerzo, proponíamos observar la fenomenología de algún experimento impactante o discrepante con estudiantes de más de tres semestres de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica de Bogotá. En ocasiones los estudiantes formaban discusiones interesantes donde ponían en juego sus competencias. Casi siempre las discusiones se

extendían a encuentros subsiguientes para intentar describir y determinar la fenomenología de los montajes. Esto generaba reto, búsqueda de información y primordialmente una cultura de encuentros de discusión científica.

4. *Para generar un escenario de juego y argumentación:* Este es el escenario que inquietaba a Feynman [19, 29] como agradable; el que permitió a Mlodinow [15] escribir el arco iris de Feynman y expresar: “una parte importante del proceso creativo es el juego. Es difícil de mantener cuando te haces mayor. Te haces menos jugueteón. Pero no debería ser así, por supuesto”. Este escenario de aprendizaje agradable y feliz es adecuado y pertinente a nivel de enseñanza media donde no es fácil cautivar al estudiante y un poco más difícil, capturar su interés para trabajar temáticas de la física. Como dice Varela y Martínez [16], “la experiencia nos ha indicado que la utilización de los juguetes, con la finalidad de enseñar Física, es un excelente procedimiento didáctico, pues despierta la curiosidad, fomenta la creatividad y favorece la participación del alumno, que desea elaborar respuestas que expliquen los fenómenos que está observando”.

5. *Para originar modelos conceptuales:* Como expresa Moreira [17], aprehendemos el mundo a partir de las representaciones que construimos en nuestras mentes. Nosotros observamos que luego de tener un ambiente donde se tiene una fenomenología asombrosa y que incita a la búsqueda y a la explicación, se necesita urgentemente empezar a ordenar la información en términos de algún concepto. Por ejemplo, en el caso del molinillo mágico, han surgido conceptos como ondas mecánicas, vibración, movimientos periódicos perpendiculares, propagación de ondas en materiales. A menudo los grupos emplean alguna imagen para modelar la descripción física del ¿cómo? y del ¿por qué? del fenómeno. Han aparecido imágenes como golpeteo y vibración, ondas mecánicas, el modelo del colchón, osciladores acoplados, etc.; como dice Etkina [24], los estudiantes inventan conceptos. En ocasiones la búsqueda que emprenden los estudiantes los lleva a hacer uso de lo que encuentran en la literatura, pero distinto a consumir un concepto sin sentido, en este caso, el modelo encontrado, es una herramienta que sirve para explicar.

6. *Para plantear un método de estudio en ciencias ya sea análogo o distinto al método científico:* En particular, en nuestros talleres sugerimos un método que se puede resumir en cuatro etapas: (i) Familiarización con el montaje: A veces se construye, siempre se juega, se degusta el fenómeno, se observa. En otras, se manda construir (tippe top, soplador, etc) y se hacen cambios para que funcione. (ii) Obtención de información: Se formulan interrogantes, conjeturas, se identifica la discrepancia, se describe el hecho, se identifica lo relevante e irrelevante. (iii) Abstracción y descripción: Mediante modelos conceptuales se describe el fenómeno, se identifican posibles variables que podrían medirse, se aíslan aspectos del fenómeno y se mide, se estudia la relación entre variables medidas, se abstrae, se modela y se verifica. (iv) Socialización de la actividad: Se expone, se debate, se presentan las hipótesis, resultados, etc.

7. Pueden plantear experimentos controlados que permita medir como se hace en un experimento tradicional con guías: en el caso del trompo, algunos estudiantes ingeniaron mecanismos para hacer rotar el trompo sin la mano. En el caso del molinillo mágico, los estudiantes adecuaron un vibrador que produjera un golpeteo al palo ranurado y así controlar la frecuencia, en el caso del soplador, los estudiantes adecuaron un aparato a la boca del tubo A que soplara, en vez de ellos. En el caso de los dos globos, de distinto volumen interconectados por una válvula que controla el flujo de aire, se hicieron montajes para inyectar el aire con un aparato y no con la boca del estudiante, etc. En general se necesita probar tanto modelos como conjeturas, por ende, se necesita medir, buscar regularidades y analizar.

8. Sirven para generar un escenario de aprendizaje por investigación: Uno de los tantos problemas de la metodología tradicional es que debido al afán por cumplir con un plan curricular, no hay tiempo para escenarios donde se genere gusto y actitud, por el asombro, por la observación, por la pregunta, por la conjetura, por el análisis, etc. Como manifiesta Bruner [20], y reitera Barrera [22], es necesario, pues crear estrategias de aprendizaje autónomas que permitan alcanzar el objetivo de “aprender a aprender”. Particularmente, los ExD generan un escenario propicio para que el estudiante se entrene en acciones propias de la investigación [28] como observación, conjeturación, abstracción, predicción, modelación, etc.

9. Pueden potenciar el trabajo en grupo de los estudiantes: En realidad, insistimos a los estudiantes a que accionen, charlen, anoten lo que los sorprenda, sus interrogantes, sus dificultades, sus conjeturas, etc. Al conformar grupos de trabajo, observamos que el estudiante debe esforzarse a emitir sus razonamientos y a expresar ideas coherentes para sus compañeros que escuchan. Se observa que esto los hace crecer en su discurso. Como expresa Redish [30] y luego Benegas [31], el aprendizaje es más efectivo a través de las interacciones sociales, de otra manera, la interacción entre pares actúa como una herramienta de enorme valor pedagógico. Por eso la constante es invitarlos a que se dejen absorber por el fenómeno, a que giren alrededor del mismo. A la postre se consigue que efectivamente los estudiantes giren en torno al fenómeno, y fundamentalmente, se logra que se concentren en el problema de la descripción y de las causas del fenómeno. Se observa que explicar, describir e innovar se convierte en una obsesión, en un reto, en una pasión.

10. Pueden potenciar el razonamiento físico y lógico: Les permite ver diferencias entre el razonamiento matemático y el razonamiento físico. En el caso de razonamiento matemático es fácil tener implicaciones del tipo P implica Q, mientras que en caso físico, este tipo de implicaciones, requieren abstraer lo relevante para describir. En realidad se muestra que en física se tienen varias regularidades (P) y con cierta aproximación entonces si se tiene Q. En este caso el profesor debe ayudar a sus estudiantes a diferenciar entre evidencias observacionales e inferencias [24]. Esto nos ha permitido analizar la evolución paulatina de cadenas de razonamientos en estudiantes, como dice

Wernicke, la evolución del mapa de variantes e invariantes [20].

11. Fortalece el pensamiento divergente y la creatividad: Uno como maestro desea que al final de un curso los estudiantes puedan generar ideas creativas. Como dice Casillas [32], la creatividad es necesaria en todas las actividades educativas, porque permite el desarrollo de aspectos cognoscitivos y afectivos importantes para el desempeño productivo. El escenario que plantea un ExD es apropiado para el desarrollo del pensamiento lateral, pues extrae del estudiante esos caminos alternativos que no están acostumbrados a usar. Según De Bono [23] el pensamiento lateral no es un método de resolución de problemas sino una colección de técnicas de pensamiento divergente como: desafío, alternativa, provocación, movimiento, fraccionamiento, etc. Por ejemplo, en el soplador, la salida de la esfera a través de la boca B del tubo puede retar al estudiante a obtener la velocidad de la esfera utilizando Bernoulli [7] o mediante consideraciones de movimiento semiparabólico.

12. Permiten un aprendizaje significativo: De acuerdo a Moreira [26], una buena enseñanza debe ser constructivista, promover el cambio conceptual y facilitar el aprendizaje significativo. El escenario que plantea un ExD origina una necesidad búsqueda [27] de conceptos para explicar el fenómeno discrepante. Esa necesidad no solo reduce la disonancia sino que da sentido a los conceptos que explicaran el fenómeno discrepante. Se observa entonces, un aprendizaje de conceptos con sentido para establecer una cadena de razonamientos en la descripción del fenómeno donde el motor fundamental es la disonancia y la motivación [25].

V. EXPERIENCIA CON LOS ExD

Alternando exposiciones cortas, conferencias, simulaciones y talleres de acompañamiento se aplicó ExD por cerca de 5 años en aproximadamente 2500 estudiantes de ingeniería, licenciatura y colegio. En la mayoría de los casos se trabajaron 3 montajes de ExD por semestre. Se ensayaron distintas formas de presentar cada montaje. En ocasiones presenté el montaje con mucha emotividad como recomienda Liem [28] haciendo preguntas y accionando cada vez; en otras, describí el montaje haciendo uso del tablero, escondiendo el fenómeno que debía ocurrir y sugiriendo construir el montaje para un momento determinado posterior. En otros momentos, presenté el montaje y realicé una encuesta diagnóstica acerca de lo que debía esperar el estudiante, y sin precisar el fenómeno que debía ocurrir, dejaba como tarea averiguarlo para un momento posterior. Hubo momentos en los que se dejó un taller donde se explicitaba la forma de construir el montaje, la forma de accionarlo y el fenómeno que debía ocurrir. En la tabla II se pueden resumir las distintas etapas de la dinámica de trabajo ocurrida.

La etapa de construcción requiere paciencia del estudiante hasta que el montaje evidencie el fenómeno que el prototipo del profesor muestra. Aunque un experto construya el tippe top, no siempre se voltea. El estudiante

luego descubre que colocando o quitando masa al trompo, este cambia su centro de gravedad del centro geométrico, y ahora si, se voltea.

TABLA II. Fases de dinámica de trabajo con ExD.

Actividad	Descripción
• Presentación montaje	• Taller, exposición corta, aparato, etc.
• Construcción de ExD	• Lo construyen, se manda hacer, etc
• Afinamiento de ExD	• Se arregla hasta que funcione
• Degustar el ExD	• Accionar, jugar, observar, conjeturar
• Accionar y observar	• Detalles, regularidades, irrelevancias.
• Primer avance	• Describir el fenómeno (por grupos)
• Búsqueda-teoría	• Pensar, relevancias, Ieros modelos
• Segundo avance	• Debate, objeciones, argumentos...
• Exp. prueba-mejoras	• Puesta a prueba-conjeturas, modelos
• Consenso	• Prueba-error, modelación
• Final	• Exposición, escrito

En ocasiones el fenómeno sale inmediatamente y el estudiante comienza con la etapa de accionar, degustar, observar, anotar detalles, conjeturar. En otras, el montaje esta bien construido, pero por algún detalle que falta, no funciona. Por ejemplo, el molinillo mágico no funciona si el eje del disco es del mismo diámetro que el alfiler. Por supuesto, yo agrando el agujero sin que se den cuenta y en muchas ocasiones el estudiante posteriormente percibe el detalle.

En la etapa de descripción del fenómeno hago énfasis en la importancia de la base de conocimiento ya acumulada, sin olvidar que se pueden inventar imágenes y modelos basados en las ideas de Hertz [33], “elaboramos imágenes aparentes ó símbolos de los objetos exteriores tal que: las consecuencias lógicas de la imagen son a su vez imágenes de las consecuencias naturales de los objetos representados. Las imágenes como los modelos presentan ciertas ventajas: Podemos desarrollar rápidamente las consecuencias que el mundo exterior nos sacará a la luz más que lentamente ó como resultado de nuestra intervención. Podemos adelantarnos a nuestros hechos y tomar nuestras decisiones actuales de acuerdo con nuestro conocimiento alcanzado”. Para Hertz estas deben ser las características de una imagen:

- Debe cumplir la condición fundamental, es decir, las consecuencias lógicas de la imagen son a su vez imágenes de las consecuencias naturales de los objetos representados.
- Debe ser legítima, es decir que no hayan ni términos ni definiciones contradictorias a las leyes de nuestro pensamiento.
- Debe ser adecuada, es decir, coherente con las cosas externas.
- Debe ser precisa, es decir, de dos imágenes dadas, será más precisa aquella que refleje más aspectos esenciales.
- Debe ser manejable, es decir, de dos imágenes dadas, será más manejable aquella que incluya menos notas superfluas.

En cualquier etapa descrita en la tabla II, la actividad del estudiante se activa, por mucho, respecto a la clase tradicional. La mayoría de los estudiantes precisan

detalles, preguntas, conjeturas, experimentos mentales, modelos desde sus presaberes, etc. Ahora ellos, ya no repiten los contenidos de la física por una calificación sino por la necesidad de encontrar coherencia y consonancia en la descripción del fenómeno. Esto es una ganancia muy importante, porque entonces aprender una determinada ley o concepto, es una herramienta para que el estudiante sea un actor de su mundo, donde él interioriza y puede aportar; donde definitivamente él se hace responsable de su propio aprendizaje.

Además de estar atento a guiar el proceso, de objetar, de sugerir, de escuchar, etc.; muy revelador fue seguirles la ruta a los estudiantes participantes en este enfoque de aprendizaje activo. De acuerdo a varios indicadores sobre número de preguntas, argumentación, observación, modelación, etc.; el accionamiento mas destacado para los cerca de 2500 estudiantes, se representa en la figura 2. No se emplea grupo control. El referente de comparación se hizo midiendo indicadores de motivación, cantidad de preguntas, argumentación, etc., en distintos momentos, con los mismos grupos, utilizado el método tradicional versus clases expositivas cortas con inserción de ExD. Con el método tradicional se registran datos muy bajos de desempeño del estudiante. En contraste, con experimentos discrepantes se registran datos de alta motivación, interrogación, argumentación, atención de observación, búsqueda de información y aprendizaje cooperativo. Sin embargo, solamente 500 de los 2500 logran matematizar y aislar el fenómeno estudiado.

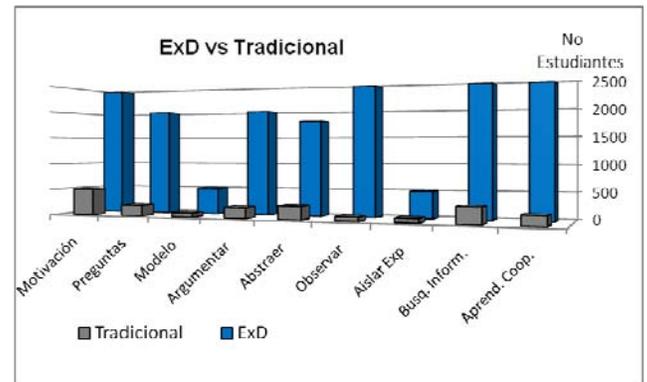


FIGURA 2. Se muestran las capacidades intelectivas ejercitadas o el nivel de comprensión de los experimentos discrepantes estudiados: Durante cerca de 5 años se trabajó con 2500 estudiantes aproximadamente. Las barras del histograma indican el nivel de motivación, de capacidad de preguntas, de capacidad de modelar, de capacidad de argumentar, etc. La barra final sobre aprendizaje cooperativo indica las nociones y conceptos adquiridas por los estudiantes por interacción entre ellos.

Debo precisar que cuando hubo más tiempo de encuentros e interacción, los estudiantes lograron mayor profundización. Del mismo modo, solo algunos estudiantes de ingeniería, y en mayor grado de licenciatura en física (200 participantes), lograron modelar el fenómeno cuando el objetivo central era ese. Como en algunos casos el experimento sirvió como un abre bocas para iniciar alguna temática de la física, no se observa entonces que el

estudiante haya llegado por su cuenta al modelo del fenómeno. Además algunas de esas interacciones fueron con estudiantes (300) de colegio de nivel de décimo y once grado, y otros (200) con estudiantes de educación básica secundaria en expociencia de Bogotá; los restantes fueron en primeros semestres de Ingeniería.

Esta estrategia fue aplicada complementariamente al método tradicional de enseñanza. En la mayoría de estas universidades hay un plan curricular que cumplir y la gran mayoría de maestros mantienen el método tradicional. A pesar de un cambio en el sistema de evaluación (actualmente por competencias) [36, 37, 38], solo en los últimos tres años se ha visto una preocupación de los maestros por un mejor escenario de aprendizaje. Actualmente en nuestra universidad algunos profesores alternamos distintas estrategias de aprendizaje, pero definitivamente, por mucho, los experimentos discrepantes son de gran valor pedagógico para potenciar el aprendizaje de la física en los estudiantes. Los ExD, son ahora exigidos por nuestros estudiantes y siempre esperan en cada curso estudiar alrededor de estos montajes. Ahora estamos ejecutando un proyecto que busca mirar cuál es el efecto de incorporar escenarios con experimentos discrepantes en el desarrollo de capacidades intelectivas de estudiantes de Colegio y Universidad y buscamos el apoyo de Ministerio de Educación Nacional. Hemos planteado unas jornadas sabatinas con estudiantes de colegio en nuestra universidad y esperamos resultados hacia el siguiente año.

VI. CONCLUSIONES

Los Experimentos Discrepantes son montajes que pueden ser utilizados favorablemente para generar un escenario fértil y efectivo de aprendizaje de temas de la física. Un aprendizaje mediado por este tipo de montajes es fértil porque genera una postura activa del estudiante, origina necesidad de búsqueda tanto para el profesor como para el estudiante. Se observa un continuo ejercicio de capacidades intelectivas como observar, interrogar, conjeturar, analizar, abstraer y modelar.

Es interesante caracterizar en este proceso distintas etapas o momentos de aprendizaje del estudiante, donde el estudiante, no solo aprende sino que aporta y por tanto es el actor principal.

Es relevante aplicar una metodología mediada con algunos objetivos que debe precisar el profesor para no quedarse únicamente en juego. Del mismo modo, es importante seleccionar el montaje apropiado para cada tema de la física de acuerdo al fenómeno que mejor evidencie.

Lo débil de la estrategia estriba en la cantidad de tiempo que se necesita si solo se utiliza esta metodología. No obstante de ser favorable para el aprendizaje del estudiante, puede ser riesgoso para la autoridad del profesor, por tanto se presenta cierta resistencia por parte de los maestros al cambio.

Debo agregar el enorme valor que este tipo de montajes ha generado en profesores de nuestra universidad hacia la deducción del modelo teórico en cada caso. Esto nos ha

llevado a mantener una investigación activa de la disciplina, pues los modelos de estos montajes no se encuentran tan fácilmente en la literatura y se requiere, entonces, proponer, probar, calcular, experimentar y debatir. Por ejemplo, en este momento nos encontramos afinando un nuevo enfoque para explicar por qué dos globos con aire de distinto volumen e interconectados por una válvula, cuando se abre, pasa el aire del globo de menor volumen al de mayor volumen. Esto ha sido estudiado pero desde enfoques puramente termodinámicos.

Esperamos construir una reconocida base de conocimiento alrededor de esta estrategia de aprendizaje para socializar posteriormente algunos modelamientos de montajes que hemos logrado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Central de Bogotá y a la Directora del Dpto. de Ciencias Naturales, Leonor Hernández por el ingente apoyo para la ejecución de este enfoque alternativo a las clases tradicionales. Del mismo modo, agradezco a la Facultad de Ingeniería por el apoyo brindado al Proyecto de Experimentos Discrepantes en la enseñanza de las Ciencias Naturales, y por el premio de reconocimiento como mejor profesor del Dpto. de Ciencias Naturales en 2007.

REFERENCIAS

- [1] Cartaña, J.; Comás, M. C., *Algunas consideraciones alrededor de la concepción constructivista de las ciencias experimentales*, en *La Didáctica de las Ciencias Experimentales a Debate*, (Universidad de Murcia, Murcia, 1994).
- [2] Calatayud, M. L.; Gil, D.; Gimeno, J. V., *Cuestionando el pensamiento docente espontáneo del profesorado universitario*. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **14**, 71-81 (1992).
- [3] Sánchez, G.; Valcárcel, M. V., *Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales*. *Enseñanza de las Ciencias* **11**, 33-44 (1993).
- [4] Hake, R., *Interactive engagement vs traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics*, *Am. J. Phys.* **66**, 64-74 (1998).
- [5] Redish, E. F., Saul, J. M., y Steinberg, R. N., *On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories*, *Am. J. Phys.* **65**, 45-54 (1997).
- [6] Bonwell, C. y Eison, J., http://boron.srri.umass.edu/courses/unc-s05/readings/Bonwell-Eison_1991.pdf consultado el 3 de abril de 2008.
- [7] Barbosa, L. H., *Un movimiento discrepante en el estudio de una ley de la física de fluidos: La ecuación de Bernoulli*, *Revista Colombiana de Física* **35**, 95-98 (2003).
- [8] Bou-Rabee N. M., Marsden J. E. y Romero L. A., Siam J., *Applied dynamical systems-Society for Industrial and Applied Mathematics* **3**, 352-377 (2004).
- [9] Cohen, R. J., *The Tippe Top Revisited*, *Am. J. Phys.* **45**, 12-17 (1977).

- [10] Leonard, R. W., *An interesting demonstration of the combination of two linear harmonic vibrations to produce a single elliptical vibration*, Am. J. Phys. **5**, 175-176 (1937).
- [11] García, V. L., *La Física de los juguetes*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **1**, 17-30 (2004).
- [12] Festinger, L., *A theory of cognitive dissonance* (Stanford University Press., Stanford, CA, 1957).
- [13] http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/documento/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Triboelectricidad/vanderGraff/GVG_Nuestro.htm, Consultado el 25 de marzo de 2006.
- [14] Schlichting, H. J., http://www.uni-muenster.de/imperia-md-content-fachbereich_physik-didaktik_physik-publikationen-mechanictoy.pdf, Consultado el 25 de marzo de 2008.
- [15] Mlodinow, L., *Feynman's Rainbow*, (Arrangement with Warner Books, New York, 2003).
- [16] Varela, M. P. y Martínez, J. L., *Jugando a divulgar la Física con juguetes*, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias **2**, 234-240 (2005).
- [17] Moreira, M. A., *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências **2**, 37-57 (2002).
- [18] Feynman, Richard. P., *El placer de descubrir*. (Editorial Crítica, España, 2000).
- [19] Bruner, J., *La importancia de la educación*, (Paidós Educador, España, 1987).
- [20] Wernicke, C. G., *Aprender a pensar, enseñar a pensar*. Suplemento Eduterapia, No 8, Buenos Aires. Reproducido en Innovación y Ciencia **XI**, 56-60, Colombia, (2003).
- [21] Barrera, K. J., *La enseñanza de la Física a través de habilidades investigativas: una experiencia*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 39-43 (2007).
- [22] Fuller, R., Karplus, R. & Lawson, A. E., *Can physics develop reasoning?*, Physics Today **30**, 23-28 (1977).
- [23] De Bono, E., *El pensamiento creativo: el poder del pensamiento lateral para la creación de nuevas ideas*, (Paidós, México, 1994).
- [24] Etkina, E., Van H. A., Brookes, D. T., Mills, D., *Role of experiments in physics instruction – a approach*, Phys. Teach. **40**, 351-355 (2002).
- [25] Johnson, D. W. y Johnson, R. T., *Motivational processes in cooperative, competitive and individualistic learning situations*, Research on Motivation in Education, Vol. 2, (Academic Press, Nueva York, 1985).
- [26] Moreira, M. A., *Aprendizaje significativo: un concepto subyacente*. Actas Encuentro Internacional sobre el aprendizaje significativo, (Burgos, España. pp. 19-44, 1999).
- [27] Riveros, R. H., *Experimentos Impactantes*, (Edit. Trillas, México, 2000).
- [28] Liem, Tik L., *Invitations to Science Inquiry*, (Science Inquiry Enterprises, California, 1991).
- [29] Feynman, Richard. P., *What Is Science*, The Physics Teacher **7**, 313-320 (1969).
- [30] Redish, E., *Millikan Award Lectura Building a Science of Teaching Physics*, Am. J. Phys. **67**, 562-573 (1999).
- [31] Benegas, J., *Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 32-38 (2007).
- [32] Casillas, M. A., *El fenómeno sobresaliente. Guadalajara*. Revista UdeG, Dossier La atención a los niños sobresalientes, No 5, junio-julio. (1996).
- [33] Heissenberg, W., *La imagen de la naturaleza*, (Edit. Muy Interesante, Barcelona, 1975).
- [34] Walker, J., *Física recreativa: La feria ambulante de la física*, (Noriega Editores, México, 2000).
- [35] Barbosa, L. H., <http://lhbfsica.googlepages.com/>, Consultado el 25 de marzo de 2008.
- [36] http://www.oei.es/evaluacioneducativa/Colombia_en_PISA_2006.pdf. Consultado el 4 de agosto de 2008.
- [37] <http://www.oei.es/evaluacioneducativa/InformePISA2006-FINALingles.pdf>. pp. 370. Consultado el 4 de agosto de 2008.
- [38] Alvarez, R. P., *Formación Superior basada en competencias, interdisciplinariedad y trabajo autónomo del estudiante*, Revista Iberoamericana de Educación. <http://www.rieoei.org/deloslectores/648Posada.PDF>. Consultado el 4 de agosto de 2008.