

Trabajo de laboratorio investigativo en física y la V de Gowin como herramienta orientadora para el desarrollo del pensamiento científico en educación media

The labwork as investigation in physics and the V of Gowin as guide to develop the scientific thinking in high school

Danymar Caraballo (1)

Dany.mar_cg@hotmail.com

María Maite Andrés Z (2)

maitea2006@gmail.com

(1) **Unidad Educativa Liceo Bolivariano Antonio Díaz**

(2) **Universidad Pedagógica Experimental Libertador.**

Instituto Pedagógico de Caracas

Recibido en enero de 2014 y publicado en mayo de 2014

RESUMEN

El Trabajo de Laboratorio (TL) como estrategia de enseñanza es irremplazable para el aprendizaje de la Física, pero la transformación de las prácticas de laboratorio que generalmente se emplean en el aula, es imperativa. En tal sentido, desde el contexto de una conceptualización del TL como actividad compleja investigativa próxima a una visión actual del quehacer teórico-experimental de la ciencia, se diseñó y evaluó una secuencia de TLs tipo Investigación referida a cinemática, con el fin de promover el pensamiento científico, reflexivo y crítico en estudiantes de cuarto año de Educación Media; en su desarrollo se utilizó la V de Gowin como guía y la interacción cooperativa. Los resultados dieron cuenta de un desarrollo favorable en aspectos conceptuales, metodológicos y epistemológicos respecto de la actividad experimental.

Palabras clave: *Trabajos de laboratorio tipo investigación; pensamiento científico; V de Gowin; trabajo cooperativo*

ABSTRACT

The labwork (LW) as teaching strategy is irreplaceable for physics learning. The transformation of the laboratory practices that generally are used in the classroom is necessary. As such, from a conceptualization of the LW as a complex research activity, close to a valid point of view of the work of science, theoretical and experimental, we design and assess a sequence of the LWs, investigation type, about kinematics, with intention of promote the scientific thinking, reflexive and critic, in students of fourth year the high school. In its development we used the V of Gowin as guide and the cooperative interaction. The results showed a favorable development in conceptual, methodological and epistemological aspects, in relation with the experimental activity.

Key words: *Labwork investigation type; scientific thinking; V of Gowin; cooperative group*

INTRODUCCIÓN

La enseñanza sobre la actividad experimental de la ciencia, y en particular de la física, en la educación media, cuando se realiza (Andrés, 2011), se basa en lo que conocemos como “práctica de laboratorio”; la cual consiste en un conjunto de instrucciones presentadas en una guía impresa, en la cual se le indica al estudiante qué hacer y cómo, sin asociación con algún referente teórico plausible, de tal suerte que, el aprendizaje que se promueve es básicamente memorístico e instrumental, con una ruptura entre el conocimiento teórico y el experimental, el cual hace que los alumnos trabajen de forma mecánica como si el conocimiento estuviera fuera de ellos y hay que adquirirlo, no construirlo; esto contribuye a que los estudiantes desarrollen una visión de la ciencia no cónsona con esta actividad (Hodson, 1994; Pesa, 2001; Seré, 2002; Tenreiro-Vieira, 2006; Andrés y Pesa, 2006).

Sin embargo, el Trabajo de Laboratorio (TL) como estrategia de enseñanza es irremplazable para el aprendizaje de la física, ya que ella, adecuadamente diseñada, puede cumplir roles propios relacionados con el desarrollo de una visión vigente acerca de la ciencia durante su

aprendizaje, tales como: aprender acerca de la naturaleza de la ciencia y aprender a hacer ciencia (Hodson, 1994).

Ante las críticas formuladas al TL tradicional ya descrito, es inminente la necesidad de redefinir, reformular y reorientarlo de acuerdo con el propósito deseado. Hay consenso en que diferentes tipos de actividades de laboratorio sirven para propósitos diferentes, por lo tanto, para optimizar sus potencialidades, es fundamental que se tenga en cuenta esa diferencia y propósito, desde el punto de vista del aprendizaje (Tenreiro-Vieira y Marqués, 2006; Seré, 2002).

Entre las diversas propuestas alternativas investigadas que centran la atención en el desarrollo de una visión acerca de la naturaleza de la ciencia más cercana al quehacer científico vigente, encontramos los TL tipo investigación (TLI) que parecen ser favorables para desarrollar el pensamiento científico de los estudiantes (Gil y Valdés, 1996; Tenreiro-Vieira, 2006; Andrés y Pesa, 2006; Andrés, Pesa y Moreira, 2006b). Seré (2002) señala que para ello es fundamental explicitar la intención didáctica de cada actividad de laboratorio diseñada en sus tres aspectos: lo conceptual, lo epistemológico y lo metodológico.

En el contexto de los TL tipo investigación, el laboratorio estará dirigido a objetivos de aprendizaje propios de la actividad experimental (dominio metodológico), como: generar predicciones, formular hipótesis, seleccionar métodos y diseñar secuencias experimentales, recolectar datos, procesarlos y analizarlos, interpretarlos a la luz del marco teórico de referencia, elaborar síntesis y conclusiones, y derivar nuevas preguntas para seguir profundizando e investigando. Además, estos aprendizajes están en interrelación dialéctica y crítica con conocimientos pertinentes a la situación planteada, es decir, son indisolubles del referente teórico empleado para comprender el problema experimental planteado, así como de la postura epistemológica asumida, por lo que también se propician aprendizajes en estas áreas (Andrés, 2005).

Desde lo epistemológico, asumimos la actividad experimental tal como se concibe en la postura no estándar de la ciencia CNE, (Andrés y Pesa, 2006), la cual se caracteriza, básicamente como:

- El experimento tiene un rol importante, pero por sí solo no puede verificar o rechazar las hipótesis.
- Los fines de la actividad empírica están en función de los problemas que se plantea la comunidad que comparte un cuerpo de conocimientos, por ej. coleccionar nuevos datos que corroboren teorías o relaciones establecidas, contrastar predicciones derivadas de la teoría, resolver problemas, analizar y evaluar la adecuación de los modelos a los datos obtenidos en el experimento.
- Existe interdependencia entre el dominio teórico y el experimental. Al igual que la teoría, el trabajo experimental es parte de la ciencia y no una herramienta de ésta. La experiencia está orientada por las teorías, creencias, significados, los cuales a su vez son justificados por la experiencia; así, en un experimento se considera aquello que resulta relevante a la luz de una teoría y de las condiciones particulares del problema a resolver, pero ante la presencia de datos *anómalos* que plantean problemas empíricos, es necesaria la construcción de modelos que los representen.
- Los productos del trabajo del laboratorio son: datos, tablas, gráficos, registros, todos relativos a los enunciados en estudio, los cuales son interpretados, discutidos, contrastados por los investigadores y sus pares. Los *datos* son producidos en el marco de una teoría, se consideran una referencia objetiva en el sentido de que son producto de la observación; con frecuencia son indicadores de objetos no observables, que se sustentan en hipótesis relacionales (objeto no observable-objeto perceptible) que resultan de modelos teóricos y que se contrastan de manera independiente. La *evidencia* es un dato relevante desde algún referencial, es decir, es un dato que ha logrado ser interpretado mediante alguna teoría, por lo tanto, los datos y las evidencias están cargados de teoría. Desde esta visión, el mundo real puede ser aprehendido de diferentes formas, según los modelos teóricos de referencia. Por otra parte, en el proceso de

la observación intervienen además del objeto a observar, el sujeto que observa; las circunstancias, los métodos de observación y el cuerpo de conocimientos, todo lo cual le quita a los datos su carácter de únicos, puros y neutros, para ser considerados provisionales, y en consecuencia resulta necesario describir el grado de precisión y exactitud de los mismos para las condiciones existentes.

- La contrastación experimental depende del problema, y por lo tanto, del programa de investigación (tradicción o paradigma). Encontramos diferentes niveles de contrastación: el de las proposiciones observables, las hipótesis y las teorías (a partir de las consecuencias que de ellas se derivan), cada uno de los cuales implica un proceso distinto. En cualquier caso, es menester pensar en el diseño, en la recolección de los datos y en su interpretación, dando cabida a criterios alternos para la aceptación de los resultados experimentales con el mayor grado de confianza posible. Los procedimientos y los fines de la contrastación también dependen del nivel de desarrollo o progreso en que se encuentra el programa de investigación.
- En el desarrollo de modelos para abordar el estudio de fenómenos del mundo real o para explicar resultados empíricos anómalos, no basta el uso de lógicas formales o normas establecidas; en la formulación de los problemas y las hipótesis, interviene una gran dosis de creatividad, imaginación e intuición por parte de los investigadores. Por otra parte, la contrastación experimental requiere de planificación y control que garantice la mayor precisión y exactitud posible, lo cual no escapa a la creatividad e intuición de los investigadores pues no existe un procedimiento infalible, lineal y rígido. Durante el trabajo experimental surge una diversidad de situaciones que requieren de la experiencia y la inventiva, además del conocimiento de los investigadores.
- Los resultados empíricos son interpretados a la luz de un marco conceptual; ellos por sí solos no tienen significado. Además, aquellos no anticipados son considerados relevantes en la medida en que ellos puedan adquirir significado, es decir, puedan irse explicando mediante cambios en la estructura teórica o creación de nuevos modelos. Los resultados pueden corroborar o no los

modelos teóricos, sin embargo, ellos no son decisivos, intervienen otros criterios para lograr el consenso de la comunidad, por lo tanto, su interpretación será tentativa. La historia de la ciencia, incluso reciente, muestra casos, de resultados y modelos retadores que, en un momento dado, fueron rechazados por la comunidad científica, y tiempo después terminaron siendo aceptados e inclusive se convirtieron en la razón por la cual les fue otorgado el premio Nobel a algunos científicos.

Un elemento que facilitaría el desarrollo de este tipo de TL es el uso de la V de Gowin (Novak y Gowin, 1984) para mediar el proceso; esta herramienta epistemológica es una heurística orientadora del proceso de investigación dirigida a constatar que los recursos metodológicos empleados son influenciados por las ideas, conceptos y teorías que el investigador posee, y viceversa. Concordamos en que el conocimiento no es descubierto, sino construido por las personas o colectivos, en un proceso que puede ser analizado, y en el cual ocurre una compleja y no estandarizada interrelación entre los dominios teóricos y metodológicos, cuya comprensión y aprendizaje puede facilitarse en la educación en ciencia con el desarrollo de los TLI. La adaptación de la V heurística de Gowin usada de manera consciente y reflexiva, contribuye con el aprendizaje de los estudiantes en el laboratorio (Andrés, Pesa y Meneses, 2006a; Sanabria y Ramírez, 2004; García, Insausti y Merino, 2003).

En el diseño de los TL por investigación que se desarrollaron en esta propuesta se consideró una adaptación de la V de Gowin siguiendo un plan de acción (Andrés, Pesa y Meneses, 2006), en donde, se establece comunicación e interdependencia del dominio teórico con el dominio metodológico (fig. 1). Además, contribuye a dar coherencia a las tareas realizadas durante el TLI, agrupadas en fases que diferencian las acciones propias del quehacer de la actividad experimental a partir de una situación problemática (ob. cit.).

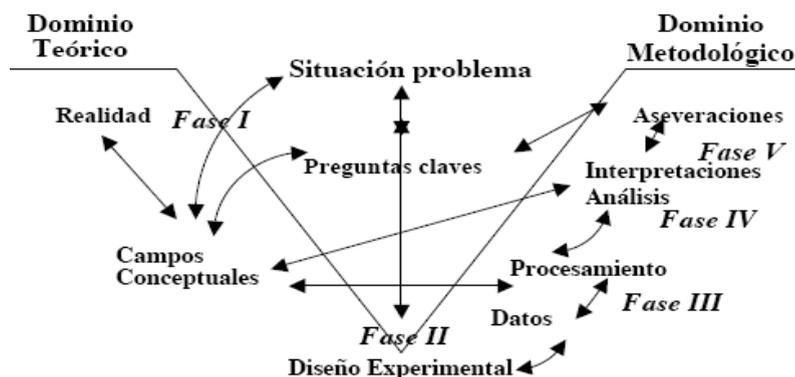


Figura 1. Proceso del trabajo de laboratorio a partir de una situación-problema descrito con tareas agrupadas por Fases: I, análisis conceptual del problema y generación de preguntas clave; II, diseño experimental; III, recolección, procesamiento y transformaciones de datos; IV, Análisis e interpretación de resultados; V, conclusiones y comunicación. (Tomado de: Andrés, Pesa y Meneses, 2006a).

Otro aspecto relevante desde la CNE de la ciencia, es el carácter social y colectivo del quehacer de la ciencia, derivada de la interrelación entre pares en la cual se generan y toman decisiones sobre nuevos conocimientos a contrastar y compartir ideas, criterios, resultados e interpretaciones, lo que favorece al progreso de la ciencia.

En el ámbito escolar, esto puede lograrse en un esquema de trabajo en grupo innovador basado en el enfoque socio-cultural de Vigotsky: el trabajo cooperativo; donde el estudiante elabora y transforma el conocimiento en conceptos con los que puede relacionarse, en un proceso inducido desde la interacción social, y con nuevas experiencias de aprendizaje (Adell y Bernabé, s/f).

En la organización del trabajo cooperativo, el docente diseña, estructura y distribuye en consenso con los estudiantes de cada grupo las responsabilidades; también dirige el proceso supervisándolo y orientándolo hacia el logro de la meta, por parte del grupo y sus integrantes.

Para el aprendizaje cooperativo se sugieren grupos reducidos en los que los alumnos trabajan juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los demás; donde la responsabilidad individual, la interdependencia positiva y la interacción potenciadora son características fundamentales (Johnson y Johnson, 1999, citado por Lin, 2006).

En consecuencia, la propuesta ensayada conjuga el TL tipo Investigación, el trabajo colaborativo y la V del TL en una estrategia de enseñanza, con el objetivo de propiciar el desarrollo del pensamiento científico en los estudiantes, cuya formación coherente es un logro a largo plazo. La pregunta de investigación planteada fue: ¿La realización de Trabajos de Laboratorio tipo Investigación, en grupos cooperativos con la V del TL como herramienta orientadora del proceso, contribuirá al desarrollo conceptual, procedimental y epistemológico en los estudiantes?

Los objetivos propuestos para dar respuesta a esta cuestión son:

- Identificar la visión inicial acerca de la actividad experimental que tienen estudiantes del cuarto año de la U.E.L.B. “Antonio Díaz”.
- Diseñar una estrategia de enseñanza que conjuga los trabajos de laboratorio tipo Investigación, el grupo cooperativo y V del TL como guía del proceso.
- Evaluar la estrategia de enseñanza diseñada para un grupo de estudiantes del cuarto año de la Unidad Educativa Liceo Bolivariano “Antonio Díaz” en el aprendizaje del tema de cinemática, en atención al aprendizaje conceptual, metodológico y epistemológico promovido.

MÉTODO

La investigación enmarcada en el enfoque cualitativo, siguió la metodología de Investigación-acción. El docente-investigador actuó como facilitador del proceso, reflexionó sobre su acción y estudió con un enfoque sistemático la propia situación, abordada a través de la práctica

misma con el fin de transformarla, incorporando a los estudiantes¹ como investigados e investigadores.

El estudio se llevó a cabo en la U.E.L.B. "Antonio Díaz" Juan Griego, edo. Nueva Esparta. Esta institución tiene un promedio de 1.500 estudiantes cursantes desde Primer Grado de Educación Primaria hasta Quinto Año de Educación Media (EM). Cuenta con un personal de alta calidad humana y profesional, servicio de comedor, bienestar estudiantil, odontología y cantina. El material bibliográfico existente en la biblioteca no cubre las necesidades del alumnado, sobre todo de EM y posee limitados recursos didácticos. El espacio físico del laboratorio de física es adecuado para el trabajo en grupo, con buena iluminación y ventilación, con bancos y mesones de concreto, pero con pocos materiales de trabajo e instrumentos de medición, que permite el trabajo de sólo dos grupos simultáneamente.

Se trabajó con una sección de cuarto año (36 estudiantes), subdivida en ocho grupos cooperativos de cuatro o cinco integrantes. En el curso previo, diecinueve de los alumnos (19/36) no recibieron clases de Física por falta de profesor, y el resto recibió clases de un profesor contratado (Ingeniero Mecánico) que durante todo el año escolar no realizó trabajos de laboratorio y se centró en clases teóricas expositivas y resolver ejercicios de lápiz y papel.

Por razones administrativas el curso se separaba en dos en el horario de laboratorio, por lo que los grupos de trabajo se estructuraron de manera tal que pudieran trabajar en ambos tipo de clases. Las actividades de discusión colectiva se planificaron en horas de teoría. Los ocho grupos fueron observados antes de iniciar la investigación y, en atención a su funcionalidad como grupo cooperativo², se seleccionaron dos para la observación, seguimiento y recolección de información.

1 Donde quiere que estén estos jóvenes hoy, les agradecemos su participación en el proceso de construcción de esta estrategia de enseñanza y aprendizaje.

2 Buena disposición para aprender, alta necesidad de logro, organización, responsabilidad individual en el cumplimiento de roles y funciones, respeto y buenas relaciones interpersonales, la cuales son indispensables para un buen funcionamiento como grupo cooperativo.

Estrategia de enseñanza con los Trabajos de Laboratorio tipo Investigación

Se organizaron tres TLI, cada ciclo implicó los siguientes aspectos:

1. Planteamiento de situaciones problemáticas, seleccionadas por el docente en atención a los contenidos programáticos del curso, a partir de situaciones cotidianas que pudieran crear curiosidad o interés en los alumnos, y generar preguntas factibles de responder en un tiempo razonable, con materiales e instrumentos accesibles (no solo materiales de la institución).Elaboración de una guía semi estructurada con orientaciones para la realización del proceso del TLI.
2. Predicciones o explicaciones originadas de la situación problema y/o pregunta de investigación por parte de los estudiantes, las cuales debían ser argumentadas, y expresadas en forma escrita y grupal para ser discutidas en colectivo; estas daban inicio al análisis físico del problema y la conformación de un marco teórico que sustentaba la investigación para construir luego las hipótesis de trabajo (fase I del TLI).
3. Planificación de la investigación. Propuesta inicialmente por el docente, y discutida y concertada con los estudiantes; con una distribución de las tareas en el grupo cooperativo (fase II, III y IV del TLI).
4. Conclusiones, mediante debate colectivo en el grupo debían relacionar pregunta-teoría-resultados para emitir juicios de valor y declarativas (fase V del TLI).
5. Comunicación oral de sus resultados: cada grupo exponía y en discusión colectiva comparaban resultados de los grupos; finalmente, en forma escrita elaboraban un informe que incluía una síntesis en una V (fase V del TLI).

La función del docente fue la de mediador entre el estudiante y el conocimiento. Los estudiantes recibieron información sobre la estrategia didáctica que se implementaría en los tres ciclos de TLI. También se les

explicó el diagrama V del TL, su utilización y alcances en el desarrollo de actividades de laboratorio. Antes de iniciar cada TLI se les proporcionaba a cada grupo una guía con el esquema de trabajo, que destacaba las fases, las actividades a realizar y los objetivos de aprendizaje esperados; así como, la situación-problema correspondiente (cuadro 1, anexo 3).

Los objetivos de aprendizaje esperados (explícitos en cada guía) se sintetizan en el anexo 1. Estos fueron tomados como referencia para evaluar el aprendizaje de los estudiantes.

Cuadro 1. Situación-problema planteada en cada TLI.

	TLI₁ ¿Rápido, veloz o lento?	TLI₂ Pisando chola	TLI₃ Reaccionando a tiempo
Situación problema	Tenemos varios carritos de juguete parecidos que funcionan con pilas, si los ponemos a correr en una pista recta. ¿Correrán igual? ¿Qué diferencias observas en el movimiento de cada uno?	Si ponemos a correr en una pista recta varios carritos de juguete parecidos que funcionan con cuerda. ¿Qué ocurrirá al cabo de un tiempo? ¿Por qué se detienen? ¿Cuál es el fenómeno físico relacionado?	Se deja caer entre los dedos de un estudiante un billete para que este intente atraparlo. ¿Qué sucede? ¿Por qué no lo podemos atrapar?

Recolección de información

La información se recabó en tres momentos: antes, durante y después de implementar la estrategia de enseñanza.

- *Identificación de la visión inicial de los estudiantes sobre la actividad experimental* (indicadores del pensamiento científico). Para ello se tomó una pregunta abierta contextualizada en un lanzamiento horizontal (situación familiar para los estudiantes del instrumento Concepciones acerca de la Actividad Experimental en la Física (CAEF) (Andrés y Pesa, 2006) (Anexo 2). Participaron

veintiséis (26) estudiantes (72,22% del curso) que se complementó con entrevistas a diez (10) estudiantes para profundizar en la comprensión acerca de la actividad experimental en la ciencia y su naturaleza, ellos fueron seleccionados en atención a su disponibilidad y disposición de colaborar.

- *Información sobre el desarrollo conceptual durante los TLI*, para ello se emplearon:
 - a. *Registro anecdótico*. Diario del docente durante el desarrollo de los TL, el cual proporcionó información para inferir el desarrollo conceptual de los estudiantes durante la ejecución de cada trabajo propiamente experimental y los motivos de sus acciones.
 - b. *Exposiciones orales e informes escritos*. Los grupos presentaron el trabajo desarrollado orientado con la V del TL, por Fases, intentando mostrar la interrelación teórico-práctica, tanto oral como escrita. Esta información se evaluó mediante una escala de estimación construida en función de los aprendizajes esperados (Anexo 1) y en atención a: el desarrollo conceptual en el TL, la comunicación del procedimiento, el procesamiento y análisis de los datos, las conclusiones, la propia V del laboratorio y la interrelación teoría-práctica.
 - c. *Coevaluación grupal*. Al finalizar cada TL se presentó un instrumento con preguntas sobre el desempeño de sus compañeros y los aportes de estos al trabajo de equipo; además de su opinión acerca de los objetivos de aprendizaje logrados por el grupo. La evaluación fue discutida grupalmente con la finalidad de facilitar la toma de decisiones y optimizar el desarrollo de la estrategia.
- *Después de la secuencia de TLIs*: Se realizó una entrevista oral con ocho preguntas que buscaban información sobre cómo los estudiantes habían avanzado en su visión acerca de la actividad experimental y los logros alcanzados respecto a los objetivos de aprendizaje planteados, con miras a establecer el progreso en el desarrollo conceptual, metodológico y epistemológico de los estudiantes de los grupos en estudio. También se usó

un cuestionario de cuatro preguntas semi-estructuradas con la finalidad de conocer su opinión o juicio valorativo en cuanto a: los TLI, la estrategia utilizada y su experiencia con el grupo cooperativo. Estos instrumentos se aplicaron de manera individual en una sesión de diez minutos aproximadamente para cada estudiante.

- A fin de determinar el desarrollo del pensamiento científico logrado por los estudiantes (dimensión epistemológica), se comparó el nivel de desarrollo en cuanto a su visión acerca de la actividad experimental inferida del TLI₁³ y del TLI₃ complementado con la entrevista final. También se comparó el logro progresivo en relación a los objetivos de aprendizaje establecidos (conceptuales y metodológicos) por cada fase en los tres TLI.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados más relevantes de cada momento.

En relación con *la visión inicial de los estudiantes acerca de la actividad experimental* en la ciencia los resultados evidenciaron poca experiencia y conocimiento sobre la actividad experimental, lo cual era de esperar. En síntesis, para esos estudiantes se tiene que:

- La actividad experimental en la ciencia es vista sólo como un procedimiento de medida.
- No evidenciaron tener significados sobre los conceptos: valor promedio, incerteza, estimación de errores, cifras significativas, apreciación de instrumentos, precisión, entre otros términos claves en las actividades experimentales.
- La secuencia de acciones experimentales se centra en el montaje y la medición, no contempla la organización de datos experimentales en tablas o gráficos, ni su interpretación y análisis.

3 Dado que el diagnóstico inicial reportó poca experiencia y conocimiento respecto de la actividad experimental.

- La teoría es vista separada de la práctica, ya que no hacen mención a ella en las respuestas referidas a lo metodológico.

El análisis de los registros anecdóticos, los informes oral y escrito de cada TLI con las V anexas y la entrevista final, permitió cualificar el *logro de los objetivos de aprendizaje esperados* de los dos grupos; para lo cual se estableció una escala (iniciado, I; en proceso, P; consolidado, C). Los resultados se sintetizan en el cuadro 2.

Como se puede observar, hay pocas diferencias entre los objetivos alcanzados por ambos grupos. Se nota una evolución favorable en el aprendizaje de los objetivos (65% grupo I y 80% grupo II en el instrumento B; 50% al integrar instrumentos A y B, C-C o X-C en el TLI₃).

Pareciera que los estudiantes en la entrevista final se subestiman o no están acostumbrados a la coevaluación, ya que en algunos casos, emitieron una opinión que reflejaba menor logro del observado en los informes o registros del docente.

Cuadro 2. Logro del grupo I y II respecto a los objetivos de aprendizaje esperados según los diferentes instrumentos en los tres TLI.

Instrumento Objetivo aprendizaje	GRUPO I							GRUPO II							
	TL ₁		TL ₂		TL ₃		Final	TL ₁		TL ₂		TL ₃		Final	
	A	B	A	B	A	B	E	A	B	A	B	A	B	E	
Fase I	1.1	I	X	P	X	C	X	C	I	X	P	X	C	X	C
	1.2	X	X	I	P	C	C	X	X	X	I	P	C	C	X
	2.1	O	O	I	P	C	C	P	O	O	I	P	C	C	C
	2.2	I	I	I	P	P	P	P	I	I	I	P	P	P	C
	2.3	O	O	I	P	P	C	P	O	O	I	P	C	C	C
Fase II	2.4	I	I	P	P	C	C	X	I	P	P	C	C	C	X
	2.5	O	O	P	C	C	C	X	O	O	P	C	C	P	X
	2.6	I	P	P	P	C	C	C	I	P	I	P	P	C	C
	2.7	I	P	I	P	C	P	C	I	P	I	P	P	C	C
	2.8	I	I	I	P	C	C	P	I	I	I	I	P	C	C

Instrumento Objetivo aprendizaje	GRUPO I							GRUPO II							
	TL ₁		TL ₂		TL ₃		Final	TL ₁		TL ₂		TL ₃		Final	
	A	B	A	B	A	B	E	A	B	A	B	A	B	E	
Fase III	3.1	I	P	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C
	3.2	I	P	C	C	X	X	C	P	P	P	C	X	X	C
	3.3	I	I	P	C	X	X	X	I	I	I	P	X	X	X
	3.4	I	C	P	C	X	X	X	I	C	P	C	X	X	X
	3.5	I	P	I	P	C	P	C	I	P	I	P	P	C	C
	3.6	I	P	P	P	C	C	C	I	P	P	P	C	C	C
Fase IV	4.1	X	P	X	P	X	P	X	X	P	X	P	X	C	X
	4.2	X	I	X	P	X	C	P	X	I	X	P	X	C	P
Fase V	5.1	X	I	X	P	X	C	P	X	I	X	P	X	C	P
	5.2	X	C	X	C	X	C	X	X	C	X	C	X	C	X

Descripción de la simbología utilizada: (A) Registro anecdótico. (B) Informes y exposiciones, (E) Entrevista final. La numeración de los objetivos fue tomada en atención al listado de objetivos de aprendizaje por fase (anexo 1). I: iniciado; P: en proceso; C: consolidado; X: no se planteó o no aplica; O: no se observó.

En las Vs incorporadas en los informes escritos de cada TLI se observó que en el primero, los dos grupos lograron diferenciar las fases del proceso, pero el discurso fue poco argumentativo; el grupo I mostró mayor énfasis en los datos que en el análisis e interpretación. En el segundo TLI, el grupo I presenta una V con las mismas características, mientras que el grupo II, además de presentar los datos organizados logra expresar verbalmente sus acciones de transformación de datos y las conclusiones. La tercera V de ambos grupos evidenció mayor interrelación teoría-experimento-conclusiones que en los previos (Anexo 4), aún cuando se encuentran aprendizajes conceptuales y metodológicos no consolidados (ver resaltados en el anexo). Estos resultados se consideran aceptables, dado que la comprensión conceptual y del proceso, y la toma de conciencia acerca de la indisoluble relación teoría-experimento es una construcción cognitiva a largo plazo.

En relación con el trabajo en grupos cooperativos, se encontró en las coevaluaciones que en ambos grupos consideran haber participado en forma cooperativa, con una relación interpersonal buena; cada uno asumió su rol con responsabilidad personal y colectiva; los aportes individuales, el entusiasmo y la colaboración entre ellos hicieron que funcionaran armónicamente y que cada quien buscara el aprendizaje del otro, dado que tenían objetivos académicos similares. No hubo diferencias notables entre los dos grupos en observación.

El análisis de contenido de la entrevista final permite reportar que:

- Valoran el intercambio de ideas, la cooperación y la comunicación para resolver problemas en la clase de física, como muestra el siguiente testimonio:

“Es muy valioso, pienso que nos ayuda porque vivimos en comunidad y eso nos hacer crecer como personas y más si podemos resolver problemas; en la ciencia resulta igual (EIR)”

- La interrelación entre teoría y experimento no llegó a consolidarse con la misma profundidad en todos los estudiantes.

- En relación con la experiencia con la V del TLI, a pesar de haber manifestado que presentaron dificultad en su uso, los estudiantes valoraron la herramienta, como muestra el siguiente testimonio:

“Bueno, eso fue lo que más me costó, pero creo que al final lo logré, porque al diagramar las fases y relacionarlas se ve realmente todo el trabajo” (EIIG).

- La mayoría consideró importante la comunicación final y la discusión, aunque solo tres dieron argumentos al respecto.

- La estrategia global y la forma de trabajo cooperativo les permitió resolver las dificultades encontradas, y tener una actitud más participativa en todos, así como, lograr mayor proximidad entre los compañeros y con la profesora, logrando satisfacción con el logro de las metas alcanzadas.

CONCLUSIONES

La conjunción de elementos planteada en este trabajo: el TL tipo investigación, la V como herramienta orientadora y el trabajo cooperativo,

que diversos autores citados apoyan como medio idóneo para desarrollar cambios cognoscitivos y significativos en los estudiantes, y para que se acerquen al quehacer de la ciencia y establezcan una relación extrínseca e indisoluble entre lo teórico y lo metodológico, fue ratificada con este estudio.

Nuevamente, a pesar de haber aprobado cursos de ciencias, los estudiantes no habían logrado construir una visión acerca de la naturaleza de la actividad experimental, y menos de la interrelación teoría-experimento, es decir, que la manera en que se enseña la ciencia no está contribuyendo con esta meta tan importante para la educación en ciencia de los jóvenes, ratificando resultados previos en Andrés y Pesa (2006) y Andrés (2011).

La estrategia de enseñanza diseñada e implementada para la realización de las actividades experimentales, a pesar de haber sido ensayada con tan solo tres trabajos de laboratorio (15 semanas, cinco semanas promedio por TLI), permitió logros relevantes en los estudiantes participantes. Aun cuando, algunos objetivos de aprendizaje no se alcanzaron, consideramos aceptables estos resultados, ya que, era la primera aproximación que tenían con actividades experimentales que simulan el hacer de la ciencia; y además, porque el proceso de aprendizaje, y sobre todo el desarrollo conceptual, se alcanza a largo plazo y con acciones reiterativas.

Si bien, se está consciente de que la cantidad de estudiantes no es suficiente para emitir conclusiones generales, estos resultados se potenciarían si a lo largo de todo el año escolar, y más aún en todas las asignaturas de ciencias naturales, se llevan a cabo actividades de laboratorio investigativo con estrategias didácticas como la de este trabajo.

También, se admite que esta estrategia requiere de varias semanas para llevar a cabo cada TLI, integrando las horas administrativas de teoría con las horas de laboratorio, lo cual es mayor que el tiempo que tradicionalmente le asignan los docentes en su planificación (1 sesión de 2 horas de clase). Sin embargo, este sacrificio en la cantidad de TLI que se pudieran realizar en un año escolar, se compensa con la calidad

del aprendizaje que se alcanza y la construcción de una visión acerca de la naturaleza de la ciencia más próxima a lo que hoy se acepta en la comunidad, por lo que se avalan el lema: “menos es más”.

Si bien los dos grupos seleccionados para la observación durante este ensayo dieron cuenta de un trabajo cooperativo favorecedor del aprendizaje, en el resto del curso, hubo grupos, que no se consideraron para el estudio entre otras razones, porque presentaron problemas de funcionalidad, es decir, como lo define Johnson y Johnson (citado por Jiménez, s/f) mostraron *una ciudadanía de equipo pobre*. En estos grupos se pudo identificar: 1) miembros “polizones” que eludieron su responsabilidad dentro del grupo pero que intentaron conseguir la misma calificación de los compañeros más responsables. 2) Miembros resistentes a trabajar en grupo y que intentaron sabotear el esfuerzo grupal o que decidieron no interactuar con el grupo. 3) Miembros con metas académicas muy diferentes. Estos comportamientos disruptivos presentaron inconvenientes para que se produjera el aprendizaje cooperativo en dichos grupos. Para minimizar este tipo de inconvenientes: se sugiere fomentar la responsabilidad individual y grupal, evaluar y valorar la contribución individual en la tarea cooperativa, implementar la evaluación entre pares (coevaluación) y la autoevaluación (Jiménez, s/f), y promover la cooperación sobre la competitividad en la cultura escolar.

En tal sentido, se sugiere la transformación didáctica del hacer experimental en los cursos de ciencias a nivel de Educación Media, considerando para ello las siguientes actividades para el diseño de la estrategia didáctica:

i) Planteamiento de situaciones problemáticas como punto de inicio del TL; ii) generación de predicciones o explicaciones por parte de los estudiantes ante la situación problema y/o pregunta de investigación, con sus argumentos y expresados en forma escrita, para ser discutidas en colectivo; iii) derivar el análisis físico del problema y la conformación de un marco teórico que sustente la investigación, incorporando lecturas, búsqueda de información, explicaciones, otros, tal que permiten plantear

hipótesis de trabajo o posibles soluciones (dependiendo del objetivo del TL); iv) planificar o analizar el diseño experimental dado, a la luz del referente teórico, para tomar datos, organizarlos, analizarlos y establecer conclusiones en atención a las hipótesis y cuestiones; v) organizar un proceso de presentación (oral y escrito) y debate de resultados, así como de evaluación del proceso y los aprendizajes. Todo esta secuencia acompañada con: la conformación de grupos de trabajo cooperativo; guías de laboratorio semiestructuradas y cuestionadoras; la orientación del proceso con una visión del proceso desde una visión CNE de la ciencia, flexible pero con rigor, orientada con herramientas como la V heurística del TL; y por último, la mediación permanente del docente fomentando el hacer manual y cognitivo entre los estudiantes.

Para finalizar, en relación a la metodología utilizada, la investigación-acción, se concluye que permitió: la identificación de problemas propios del desempeño docente en el aula; la generación de aportes para su solución, reflexión y toma de decisiones de manera cíclica luego de cada TL; y en consecuencia, mejorar y transformar la práctica educativa. Esta metodología facilita la reflexión crítica y el autocuestionamiento, en el propio ambiente escolar.

Sin embargo, si bien la investigación-acción resultó plausible y productiva para la docente-investigadora de este trabajo, se considera que en las condiciones reales de los docentes de ciencias (45 horas de aula promedio a la semana, 39 alumnos por sección, por lo general, en más de una institución...), resulta bastante difícil su implementación. Dado el valor que tiene esta metodología para transformar el hacer educativo, se propone al respecto, la conformación de grupos de trabajo cooperativo entre los docentes a fin de llevar adelante el estudio de sus praxis con metodologías de investigación-acción con el objetivo de contribuir con la transformación de la educación.

REFERENCIAS

- Adell, J y Bernabé, I. (s/f). *El aprendizaje colaborativo en las webquests*. Departament de Educació. Universitat Jaume I disponible: www.webquests.cat.org/WQjornadas/adellarticle.doc. [Consulta: 2007, Febrero 26]
- Andrés, M. (2011). *Modelo Didáctico para Docentes de Ciencias Básicas*. Colección Moral y Luces/ Simón Rodríguez. Fondo Editorial Ipasme. Caracas, Venezuela
- Andrés, M. (2005). *Diseño del trabajo de laboratorio con bases epistemológicas y cognitivas: Caso carrera de profesorado de física*. Tesis doctoral realizada para optar al título de Doctor por la Universidad de Burgos. Programa Internacional de Doctorado Enseñanza de las Ciencias. CD. Burgos, España
- Andrés, M. y Pesa, M. (2006). La actividad experimental en física: visión de estudiantes universitarios. *Revista Paradigma-UPEL*. Vol. XXVI, N°1
- Andrés, M.; Meneses, J. y Pesa, M. (2006a). Efectividad meta cognitiva de la heurística V de Gowin en trabajos de laboratorio centrados en la resolución de situaciones problemáticas. Memorias del V Encuentro sobre Aprendizaje Significativo. Madrid. Publicada en *Indivisa: Boletín de Estudios e Investigación*, 2007, No extraordinario. pp. 203-216
- Andrés, M.; Pesa, M. y Moreira, M. (2006b). El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de campos conceptuales. *Ciência & Educação*. Vol. XXII (2) pp. 129-142
- García, P; Insausti, M. y Merino, M. (2003). Evaluación de los trabajos prácticos mediante diagrama V. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 2. (1)
- Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 14(2). pp. 155-163
- Jiménez, G. (s/f). Obtención de notas individuales a partir de una nota de grupo mediante una evaluación cooperativa. *Revista Iberoamericana de Educación*
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Revista Enseñanza de las Ciencias* 12 (3). pp. 299-313

- Lin, E.(2006). Cooperative learning in the science classroom. *The Science Teacher*. Summer. pp. 34-40
- Novak, J. y Gowin, D.B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Pesa, M. (2001). La concepción estándar de las ciencias y las propuestas superadoras-algunas implicancias para la educación en ciencias. En, Andrés, M. (ed). *Investigación en enseñanza de la física. Memorias de la IV Escuela Latinoamericana*. Venezuela: Universidad Pedagógica Experimental Libertador
- Sanabria, I y Ramírez. M. (2004). Una estrategia de aprendizaje para integrar teoría y Laboratorio de Física I mediante los mapas conceptuales y la V de Gowin. Conferencia Internacional sobre mapas conceptuales. España. Disponible: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-092.pdf>. [Consulta: 2007, Febrero 26]
- Sére, M. (2002). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 20 (3). pp. 357-368.
- Tenreiro-Vieira, C y Márques, R. (2006). Diseño y validación de actividades de laboratorio para promover el pensamiento crítico de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Número 3(3). pp. 452-466

Anexo 1

Objetivos de aprendizaje esperados por TLI y fase de Laboratorio

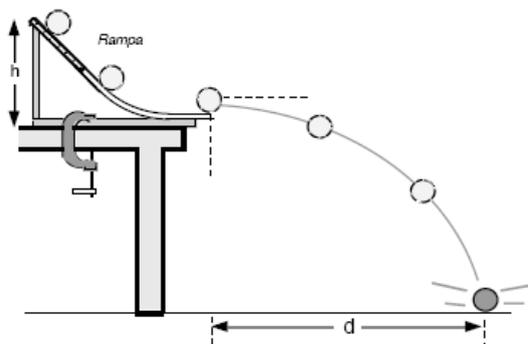
	TL ₁ : ¿Rápido, veloz o lento?	TI ₂ : ...Pisando chola	TI ₃ : Reaccionando a tiempo
Objetivos de aprendizaje	Fase I	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar el intercambio de ideas, la comunicación entre pares, la cooperación y la responsabilidad como herramientas necesarias para el logro de los objetivos. • Aplicar los conceptos de trayectoria, posición, cambio de posición, velocidad, aceleración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar el intercambio de ideas, la comunicación entre pares, la cooperación y la responsabilidad como herramientas necesarias para el logro de los objetivos • Aplicar los conocimientos de: Movimiento uniformemente variado, gravitación y caída libre.
	Fase II	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar las secuencias de acciones dadas para el experimento según la pregunta y referentes. • Comprender cada acción incluida en el plan diseñado y relacionarlas con la pregunta de investigación, el modelo y las condiciones del mismo. • Contrastar las ideas intuitivas y/o los modelos teóricos con la experiencia controlada. • Determinar la apreciación de los instrumentos a utilizar. • Realizar mediciones directas de manera apropiada y expresarlas con sus cifras significativas • Calcular el error absoluto de las medidas. • Aplicar los conceptos básicos de precisión, cifras significativas, incertezas y estimación de errores 	<ul style="list-style-type: none"> • Proponer y discutir la secuencia de acciones experimentales a seguir. • Comprender cada acción incluida en el plan diseñado y relacionarlas con la pregunta de investigación, el modelo y las condiciones del mismo. • Comprender el rol de un modelo teórico para la descripción de un fenómeno y la medición de una variable. • Determinar la apreciación de los instrumentos a utilizar. • Realizar mediciones directas de manera apropiada y expresarlas con sus cifras significativas • Aplicar los conceptos básicos de precisión, cifras significativas, incerteza, medida promedio y estimación de errores.
	Fase III	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar y organizar datos experimentales mediante tablas. • Representar gráficamente relaciones. • Interpretar descriptivamente gráficos. • Analizar tendencias lineales determinando pendientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar y organizar datos experimentales en tablas. • Procesar los datos mediante: promedios, estimación de desviaciones. • Determinar medidas indirectas según el modelo y solución propuestos.
	Fase IV	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer conclusiones. • Reflexionar sobre el proceso del trabajo experimental con la orientación de la V de Gowin. 	
	Fase V	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar la importancia de la comunicación oral y escrita de resultados como parte del proceso de la ciencia. • Comunicar el trabajo realizado y los resultados obtenidos en forma oral y escrita (cartel e informe) 	

Anexo 2

Situación contextualizada para identificar la visión acerca de la actividad experimental. (Adaptación del instrumento *Concepciones de los estudiantes acerca de la actividad experimental en la física*)

A continuación se presenta una situación experimental que fue propuesta en un curso de laboratorio, donde los estudiantes trabajaban en grupos de tres.

“Se tiene una rampa de madera ajustada al borde una mesa con una pinza como se muestra en el diagrama. Si se deja caer una pelota desde una altura h respecto de la mesa, la pelota sale de la rampa horizontalmente y choca con el piso a una distancia d con respecto al borde de la mesa. El objetivo es estudiar cómo cambia la distancia d con la altura h ”.



- A)** ¿Qué harías?, ¿qué procedimiento utilizarías para lograr el objetivo de la práctica? ¿Qué debías considerar en el diseño del experimento?
- B)** El grupo de estudiantes A decidió como primera acción, medir la distancia d para una altura h : 29 cm, obteniendo $d = 48.5$ cm. En el grupo se da una discusión acerca de qué hacer después; cada uno tiene una sugerencia diferente:

Estudiante 1: Nosotros debemos dejar caer la pelota más veces desde la misma altura y medir la distancia para cada caso.

Estudiante 2: Nosotros ya tenemos el resultado, está bien, no necesitamos hacer más medidas.

Estudiante 3: Nosotros debemos hacer una medida más desde la misma altura.

¿Con quién estás de acuerdo? ¿Por qué?

- C)** El grupo de estudiantes B decidió hacer cinco medidas de la distancia d para una altura h : 40 cm, obteniendo los siguientes datos:

Ensayo	1	2	3	4	5
Distancia (cm)	48.0	49.0	49.5	47.5	47.0

Cuando tienes varias medidas de una variable, como el ejemplo, ¿Cómo reportas el resultado? ¿Cómo lo representas?

D) Los grupos C y D decidieron hacer medidas de distancia d para diferentes alturas h . Cada grupo representó los datos en un gráfico, los cuales se muestran en las figuras a y b. Alguien propone que los grupos que elaboraron cada gráfica comparen y discutan sus resultados, ¿Qué opinas de esta sugerencia?

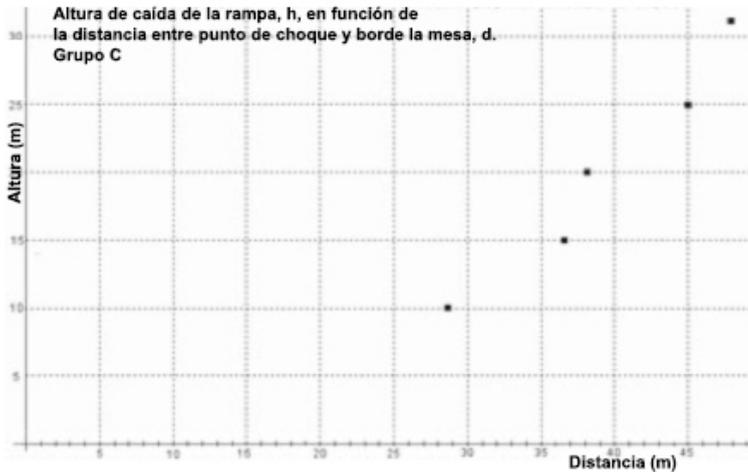


Figura a. Gráfico de $h: f(d)$ del grupo C.

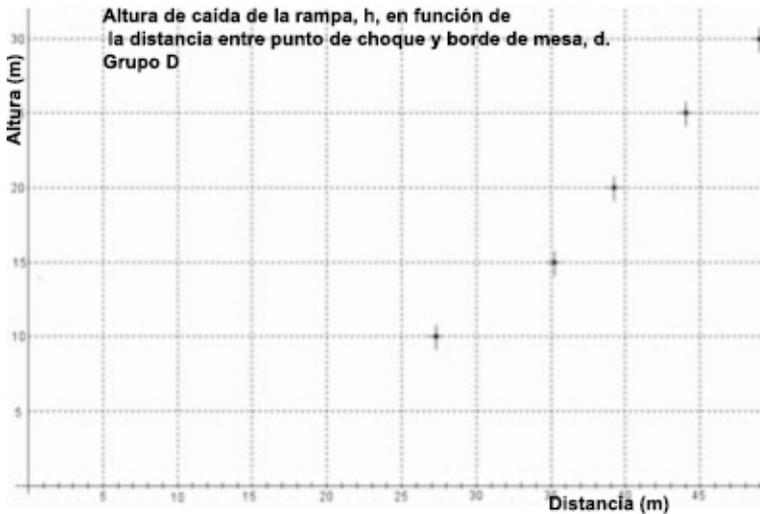


Figura b. Gráfico de $h: f(d)$ del grupo D.

Anexo 3

Guía presentada a los estudiantes

Trabajo de Laboratorio I: ¿Rápido, Veloz o lento?

Fase I. Objetivo de Aprendizaje: Valorar el intercambio de ideas, la comunicación entre pares, la cooperación y la responsabilidad como herramientas necesarias para el logro de los objetivos.

Tenemos varios carritos de juguete parecidos que funcionan con pilas, si los ponemos a correr en una pista recta, ¿Correrán igual? A partir de esa cuestión se inicia una discusión dirigida sobre el fenómeno físico que se presenta (Movimiento) y las variables que deben ser consideradas al estudiarlo. En trabajo de grupo cooperativo, distribuyéndose las tareas se discute, se formula la pregunta de investigación, su posible respuesta y la síntesis teórica sobre el tema, el producto de la discusión, la información y las conclusiones obtenidas en el grupo servirán para hacer un cierre colectivo, donde cada equipo compartirá con el resto de sus compañeros el resultado de su primera fase; para luego formular la pregunta general de investigación.

Objetivo del problema: Evaluar si el carrito tiene un Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU).

Fase II. Objetivos de aprendizaje:

- Discutir en grupo la secuencia de acciones experimentales planteadas por la profesora
- Comprender cada acción incluida en el plan diseñado y relacionarlas con la pregunta de

Investigación, el modelo y las condiciones del mismo.

- Contrastar las ideas intuitivas y/o los modelos teóricos con la experiencia controlada.
- Determinar la apreciación de los instrumentos de medición a utilizar.
- Realizar mediciones de manera apropiadas y expresarlas con las cifras significativas.
- Calcular el error absoluto de las medidas.
- Aplicar los conceptos básicos de precisión, cifras significativas, incerteza y propagación de errores.

Equipos y Materiales

- Carrito de Juguete que necesita de un interruptor on/off para funcionar con baterías.

- Regla o cinta métrica.
- Cronómetro.
- Tirro.
- 3 Rieles horizontales de 1m c/u.

Fase II: El docente preparará la secuencia de acciones experimentales a seguir, la cual será objeto de discusión grupal, lecturas y ensayos en el contexto del TL por parte de los alumnos y deberán identificar las variables relevantes a medir y variables a controlar, instrumentos de medición; procedimiento de medida, estimación de las incertezas de medidas directas, variabilidad de la medida, número de las medidas a realizar.

Fase III. Objetivos de aprendizaje:

- Evaluar y organizar datos experimentales.
- Representar gráficamente relaciones.
- Interpretar gráficos.

Organice los datos (Tablas, identificación, unidades, cifras significativas y precisión).

Fase IV. Objetivos de aprendizaje:

- Establecer Conclusiones.
- Reflexionar sobre el proceso del trabajo experimental con la orientación de la "V" de Gowin.

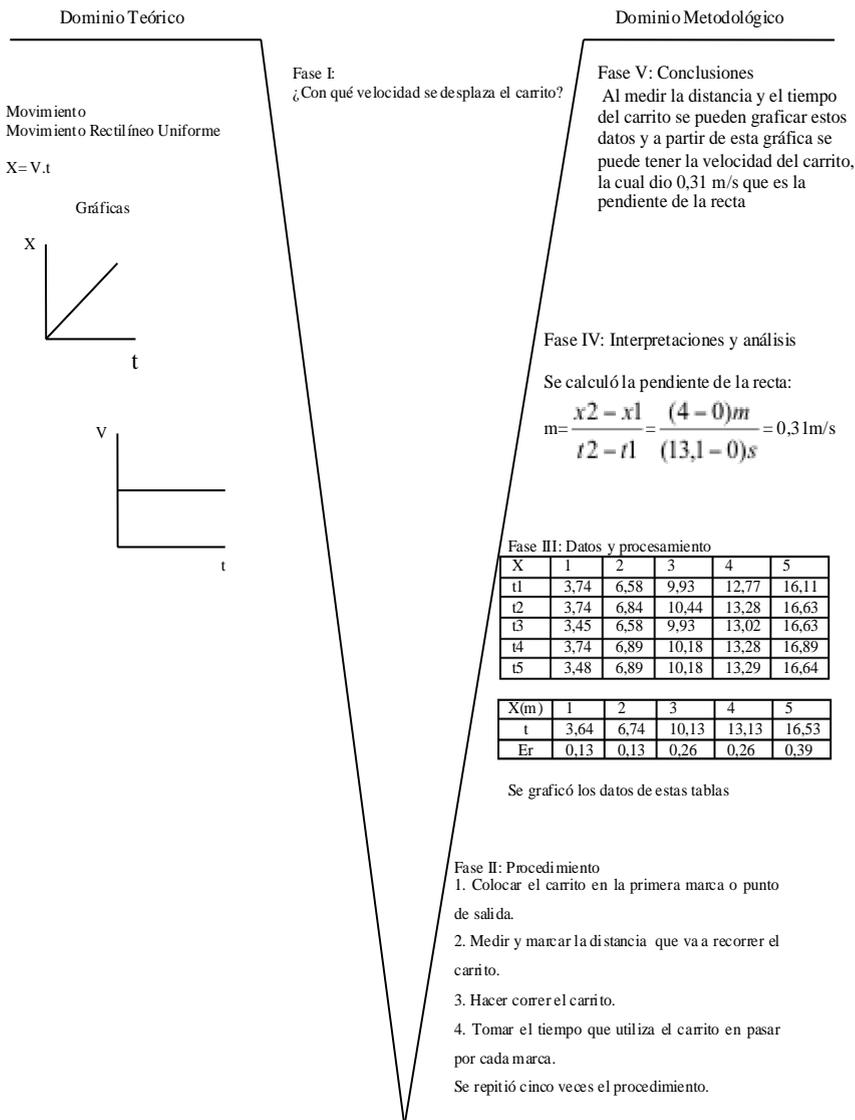
Compare los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente.

Fase V. Objetivo de aprendizaje: Valorar la importancia de la comunicación de resultados como parte del proceso de la ciencia.

Redacte las conclusiones en función del problema planteado, la pregunta de este laboratorio, los resultados y la teoría, la cual será presentada y expuesta por cada equipo en clase utilizando un rotafolio.

Anexo 4

Transcripciones de las Vs del grupo I en el TLI₁ y el TLI₃



Marco teórico

El billete cae entre los cuerpos como todos los cuerpos, por lo tanto, tomaremos el modelo de caída libre y definiremos:

Caída libre
 - aceleración de gravedad
 - tiempo de reacción
 - características de caída libre de los cuerpos
 - tiempo de caída de un billete, podemos calcularlo con la utilización de la siguiente ecuación

$$t_r = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

La d es la distancia o la longitud del billete = $(15,5 \pm 0,1)$ cm y $t_c = 0,178$ s es el tiempo de caída del billete en condiciones de caída libre.

Marco metodológico

Fase I:
 ¿Será mayor el tiempo de caída del billete o el tiempo de reacción de nuestro cuerpo?

Hipótesis: es menor el tiempo de caída del billete que el tiempo de reacción de nuestro cuerpo

Fase V: considerando el tiempo de caída del billete entre nuestros dedos dio como resultado = $0,178$ s, comparándolo con el tiempo de reacción de Gabriel es mayor que el tiempo de caída del billete. La diferencia es de $0,003$ s. Por esta razón, no podemos agarrar el billete, cae más rápido que la reacción de nuestro cuerpo.

La regla y el billete caen con la misma velocidad según el modelo de caída libre, por lo tanto no consideramos la diferencia de masa entre ellos

Fase IV: Estos datos nos sirven para obtener el tiempo que tardamos para agarrarlo. Sacamos su promedio y error, y la distancia recorrida por el billete fue $d = (16,1 \pm 3,1)$ cm

Con este valor, aplicando el modelo de caída libre, podemos calcular el tiempo de reacción:

$$t_r = \sqrt{\frac{2d}{g}} \quad t_r = 0,181s$$

Fase III: Distancia que cae la regla entre los dedos antes de agarrarla

d (cm)	17,5	12,9	15,6	19,0	16,0	15,5
evento	1	2	3	4	5	6

Error = $(19,0 - 12,0)$ cm / 2 = $3,1$ cm

Fase II: Para dar respuesta a nuestra pregunta nos planteamos las siguientes secuencias experimentales para medir la distancia recorrida por la regla y así calcular el tiempo que tarda Gabriel en agarrarla:

- tomamos la regla de apreciación $0,10$ cm
- Jesús la sostuvo vertical y Gabriel colocó sus dedos a nivel de 0 sin tocarla
- Cuando Gabriel vió que Jesús la soltó cerró los dedos. Anotamos al distancia que cayó, indicada por el valor encontrado debajo de sus dedos.
- Repetimos 8 veces, eliminamos el valor mayor y el error para disminuir errores.
- Cuidamos de tomar medidas en un sitio cerrado para que el viento no interviniera en el movimiento

Materiales: un billete, calculadora

Instrumentos : una regla graduada ($A = 0,1$ cm)