





**COMUNICACIÓN  
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES  
ARBITRADAS  
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS



**COLECCIÓN  
DIVULGACIÓN  
CIENTÍFICA**

Cada uno de los libros de la Divulgación Científica es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado en



[DOI.org/10.52501/cc.007](https://doi.org/10.52501/cc.007)

[www.comunicacion-cientifica.com](http://www.comunicacion-cientifica.com)

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de libros de investigación digitales e impresos en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales de dictaminación, comités y ética editorial, acceso abierto, medición del impacto de la publicación, difusión, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indización internacional.

Aprendizaje activo de la física  
Clases demostrativas interactivas





# Aprendizaje activo de la física

## Clases demostrativas interactivas

CÉSAR EDUARDO MORA LEY  
RUBÉN SÁNCHEZ-SÁNCHEZ  
IVAN B. CULABA



---

Mora Ley, César Eduardo

Aprendizaje activo de la física. Clases demostrativas interactivas / César Eduardo Mora Ley, Rubén Sánchez-Sánchez, Ivan B. Culaba. — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2020. — 161 páginas. — (Colección Conocimiento).

ISBN: 978-607-99003-9-7

DOI: <https://doi.org/10.52501/CC.007>

1. Física – Estudio y enseñanza (Educación media superior). 2. Física – Problemas, ejercicios, etc. 3. Aprendizaje activo. I. Sánchez-Sánchez, Rubén, autor II. Culaba, Ivan B., autor. III. Título. IV. Serie.

LC: QC30

Dewey: 530 071

---

D.R. César Eduardo Mora Ley, Rubén Sánchez-Sánchez, Ivan B. Culaba, 2020



Diseño de portada: Francisco Zeledón.

Diseño de Interiores: Guillermo Huerta.

D.R. Ediciones Comunicación Científica S.A. de C.V., 2020

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México, México,

Tel. (52) 55 5696-6541 • móvil: (52) 55 4516 2170

[info@comunicacion-cientifica.com](mailto:info@comunicacion-cientifica.com) • [infocomunicacioncientifica@gmail.com](mailto:infocomunicacioncientifica@gmail.com)

[www.comunicacion-cientifica.com](http://www.comunicacion-cientifica.com)  [comunicacioncientificapublicaciones](https://www.facebook.com/comunicacioncientificapublicaciones)

 [@ComunidadCient2](https://twitter.com/ComunidadCient2)

ISBN: 978-607-99003-9-7

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.007>

Impreso en México • *Printed in Mexico*

Este libro es una publicación de acceso abierto con los principios de Creative Commons Attribution 4.0 International License que permite el uso, intercambio, adaptación, distribución y transmisión en cualquier medio o formato, siempre que dé el crédito apropiado al autor, origen y fuente del material gráfico. Si el uso del material gráfico excede el uso permitido por la normativa legal deberá obtener el permiso directamente del titular de los derechos de autor.

La presente obra forma parte de los programas SIP-IPN 20200825 “Pensamiento socio-ecológico expresado en lenguaje matemático: Semiótica y formación de investigadores en física educativa” y SIP-IPN 20200435 “Aplicación de una metodología activa de aprendizaje para la enseñanza de circuitos eléctricos”. Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional el apoyo brindado.

# Índice

<i>Introducción.</i> . . . . .	11
Capítulo 1. Aprendizaje activo de la física . . . . .	17
1.1 El fracaso de la enseñanza tradicional . . . . .	17
1.2 Una base científica para la enseñanza de la física . . . . .	18
1.3 Hacia una nueva didáctica de la física . . . . .	20
1.3.1 Reforma de la educación de la física . . . . .	21
1.3.2 Actualización del contenido de la física . . . . .	22
1.3.3 El futuro de las matemáticas en la física . . . . .	22
1.3.4 Trabajo práctico en el futuro. . . . .	23
1.3.5 Lecciones de la investigación . . . . .	24
1.3.6 Desafíos para el futuro . . . . .	24
1.4 Fundamentos teóricos del aprendizaje activo . . . . .	25
Capítulo 2. Clases demostrativas interactivas . . . . .	29
2.1 El ciclo pods . . . . .	29
2.2 Componentes de las clases demostrativas interactivas . . . . .	32
2.3 Cómo impartir clases demostrativas interactivas efectivas . . . . .	34

2.4 Evaluación de las clases	
demostrativas interactivas . . . . .	36
2.4.1 Factor de Hake . . . . .	36
2.4.2 Ganancia de Hake-Dellwo. . . . .	38
2.4.3 Medidas del modelo mental . . . . .	43
2.4.4 Factor de concentración . . . . .	44
2.4.5 Factor $\Gamma$ : concentración de las respuestas	
incorrectas . . . . .	51
2.4.6 Análisis de Rasch . . . . .	53
 Capítulo 3. Clases demostrativas interactivas	
para mecánica clásica. . . . .	56
3.1 Caída libre . . . . .	56
3.2 Movimiento de proyectiles . . . . .	70
3.3 Conservación del momento lineal	
y colisiones elásticas . . . . .	79
3.4 Centro de masa, conservación	
de momento y energía mecánica . . . . .	91
3.5 Momento angular. . . . .	99
3.6 Conservación del momento angular. . . . .	107
3.7 Centro de masa, peso y torsión . . . . .	118
 Capítulo 4. Clases demostrativas interactivas	
para electromagnetismo. . . . .	124
4.1 Fuerza magnética en una carga	
eléctrica en movimiento. . . . .	124
4.2 Fuerza sobre una corriente	
en un campo magnético. . . . .	129
4.3 El circuito $RC$ . . . . .	133
4.4 Potencia disipada en circuitos	
en serie y en paralelo . . . . .	140
4.5 Circuito $RL$ y la ley de Lenz . . . . .	144
4.6 Torca en una bobina portadora de corriente .	151
 <i>Referencias</i> . . . . .	157
<i>Agradecimientos</i> . . . . .	161

*A Nelly y a Gaby*

*A nuestras pacientes esposas que siempre  
nos animaron a seguir adelante*

## Autores

*César Eduardo Mora Ley* es doctor en Ciencias con especialidad en Física por la Universidad Autónoma Metropolitana; profesor de tiempo completo en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA Legaria); fundador del posgrado en Física Educativa, y miembro del SNI <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

*Rubén Sánchez-Sánchez* es doctor en Ciencias con especialidad en Física por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; profesor de tiempo completo en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN (CICATA Legaria); miembro del posgrado en Física Educativa, y miembro del SNI <https://orcid.org/0000-0002-4393-8512>

*Ivan B. Culaba* es maestro en Ciencias con especialidad en Física por la Universidad Ateneo de Manila, Filipinas, donde es profesor de tiempo completo y coordinador del Laboratorio de Sistemas de Vacío; también ha sido miembro del equipo ALOP (Active Learning in Optics and Photonics) de la UNESCO.

## Introducción

El aprendizaje activo de la física (AAF) es una de las metodologías más exitosas para la enseñanza de la física desde finales del siglo pasado, se tiene una gran variedad de reportes de su efectividad en las décadas de 1980 y 1990, y ya a inicios del presente siglo el AAF se ha diversificado grandemente, esto es, se han desarrollado metodologías de enseñanza que han sido probadas por diversos investigadores de la física educativa. Si bien sus orígenes se pueden encontrar principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, al día de hoy se han realizado avances significativos en todos los continentes, desde verificación directa de una metodología específica, hasta modificaciones de la misma de acuerdo con las necesidades y recursos locales. Después del Año Mundial de la Física, las “metodologías activas” han tenido mucho auge, en especial aquellas en las que el estudiante debe utilizar sus manos para realizar experimentos sencillos, aquí el punto interesante es que se debe vivir la física, no abordarla sólo como una disciplina teórica, desconectada del mundo real. Bien sea que se utilicen clases demostrativas interactivas (CDI), tutoriales de física, talleres de física, instrucción por pares, aprendizaje basado en proyectos, física en tiempo real, etc., el espíritu del AAF es que el estudiante utilice sus manos, aprenda colaborativamente, realice experimentos sencillos con materiales de bajo costo, pueda desarrollar proyectos experimentales de física, incluso con un enfoque Steam, que pueda utilizar software para

simulaciones unidas al experimento real (si cuenta con los recursos necesarios), que realice análisis de videos y de los recursos disponibles en la web para entender los diversos conceptos físicos.

Entre todo este movimiento educativo de innovar la enseñanza de la física mediante metodologías activas, en el año 2008 la Comisión Internacional de Educación en Física (ICPE, por sus siglas en inglés) —perteneciente a la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP, por sus siglas en inglés)— realizó una interesante declaración sobre la forma en que se recomienda enseñar física en el mundo en general. A grandes rasgos, la IUPAP (2008) proclamó lo siguiente:

La IUPAP insta a los gobiernos nacionales, a los físicos, a los profesores de física, a las Sociedades de Física y a los organismos de financiación en todos los países a:

- Apoyar las mejores prácticas de la enseñanza de la física y la investigación en la enseñanza de la física en todos los niveles mediante el fomento de los métodos de enseñanza, incluido el trabajo de laboratorio, que participen activamente las manos y las mentes de los educandos.
- Hacer disponibles fondos para el establecimiento de laboratorios bien equipados y el diseño de planes de estudio adecuados que establezcan especial énfasis en la enseñanza de las habilidades de experimentadores.
- Apoyar el desarrollo de instrumentos de bajo costo, aparatos de física y equipos, y —cuando las finanzas lo permiten— sistemas computacionales de adquisición de datos en tiempo real en el nivel adecuado de sofisticación para una variedad de usos en la enseñanza de la física en el aula y el laboratorio.
- Apoyar los planes de estudios que enseñan física con una adecuada diversidad de métodos, incluyendo enfoques experimentales, que promuevan el pensamiento crítico y ayuden a los estudiantes a comprender cómo la física es relevante para sus culturas locales y para un futuro sostenible de la humanidad (p.5).

Los antecedentes que la ICPE consideró para llegar a esta serie de recomendaciones fueron que “la física es una ciencia experimental cuyo objetivo es la observación, descripción, modelado y comprensión del mundo natural en el que vivimos. Que el proceso de reproducción de fenómenos en el laboratorio permite a los científicos estudiar, en detalle cuantitativo, aspectos de fenómenos específicos y comprender conceptos específicos. También, que los métodos modernos de medición y las técnicas de instrumentación contribuyen al avance de la ciencia y a sus aplicaciones.

Por tanto, es natural incluir el trabajo en un laboratorio bien equipado en la enseñanza de la física. Además, la investigación contemporánea en la enseñanza y el aprendizaje de la física indica que las actividades prácticas y otros enfoques interactivos, cuando se integran en la enseñanza, conducen a un aumento en la comprensión del tema por parte de los estudiantes.

Por lo tanto, es preocupante que en todo el mundo el modo predominante de enseñanza siga siendo las conferencias basadas en libros de texto. Los laboratorios, como parte del proceso de aprendizaje tanto en los países desarrollados como en desarrollo, están infrutilizados o no se utilizan adecuadamente. Muy pocas instituciones, incluidas las de los países desarrollados, ofrecen técnicas de aprendizaje activo que se integren en todo el aprendizaje de física de los estudiantes y que puedan ayudarlos a visualizar la física que están aprendiendo y mejorar su comprensión cualitativa y cuantitativa.

Incluso cuando el trabajo de laboratorio y/o las actividades prácticas son una parte integral del plan de estudios, a menudo se sigue un enfoque de libro de cocina que no aporta conocimiento conceptual y de procedimiento sobre la actividad, que luego se convierte en una práctica sin involucrar la mente de los estudiantes. Este enfoque algorítmico no aporta ni el oficio del experimentador ni una comprensión del mundo físico. Los estudiantes no logran comprender los conceptos de confiabilidad y validez de los datos, la importancia de los errores de medición y la incertidumbre de la medición y la noción de refinar el proceso de medición para obtener la precisión deseada. Tampoco aprecian la interacción inherente de la teoría y la experi-

mentación en el progreso de la ciencia. Todos estos deberían ser resultados de una educación eficaz en física.

La investigación sistemática sobre las concepciones de la física de los estudiantes ha demostrado que éstos traen al aula sus propios pensamientos y puntos de vista sobre el mundo. Para que la enseñanza sea eficaz, el estudiante debe convertirse en un participante activo, en vez de ser un receptor pasivo, en la reconstrucción de su propio conocimiento.

Los entornos eficaces de enseñanza-aprendizaje, cualquiera que sea el énfasis relativo en las clases basadas en libros de texto, la resolución de problemas o el aprendizaje basado en la investigación, reconocen la importancia de las actividades prácticas, del trabajo de laboratorio y de proyectos. En algunos países las actividades prácticas se están integrando eficazmente en la enseñanza de las ciencias en los primeros años de la escuela y, cuando están disponibles, proporcionan una base importante para el aprendizaje activo de la física en los años escolares posteriores y en las universidades. Estas estrategias exitosas necesitan una adopción y una difusión más amplias a todos los niveles.

Para ayudar a dar efecto a la resolución propuesta por la ICPE ha sugerido que:

- Se organicen sesiones especiales sobre los aspectos educativos del aprendizaje práctico, la experimentación y la evaluación adecuada, en conferencias de disciplinas específicas de las comisiones de la IUPAP;
- Se organicen talleres y colaboraciones multinacionales para el diseño y desarrollo de material de referencia para el aprendizaje activo y el trabajo de laboratorio y, además, la difusión mediante la formación profesional de educadores de física; y
- Se establezcan centros de recursos electrónicos para el intercambio de ideas sobre iniciativas locales, materiales didácticos, prototipos de equipos prácticos, en particular aquellos que puedan ser adaptados localmente para la construcción por los profesores y sus estudiantes, para servir a una variedad

de actividades educativas necesarias en diversos contextos culturales (ICPE, 2008, p. 5).

¿Qué ha sucedido desde el año 2008 en que se dio esta importante declaración para la enseñanza de la física, la cual fue generada por distinguidos especialistas en la investigación de la educación en física? A 12 años de los trabajos de la ICPE, la realidad es que el avance ha sido lento y poco. Refiriéndonos a Latinoamérica, podemos decir que la Organización para las Naciones Unidas para la educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), la red *Latin American Physics Education Network* (LAPEN), el Comité Inter Americano de Educación en Física (CIAEF), la *Latin American Science Education Research Association* (LASERA), por citar a algunas de las agrupaciones del área más activas en la región, así como los miembros de la ICPE para Latinoamérica, han logrado impulsar algunos talleres, escuelas, reuniones, conferencias y simposios sobre AAF, pero su impacto ha sido mínimo. Aún queda mucho por hacer y el presente libro es un esfuerzo para difundir la metodología de enseñanza mediante CDI, las cuales han sido estructuras por varios profesores de física, de tal manera que la estructura y la forma de las mismas puede ser adaptada a las necesidades de los docentes y de los estudiantes.

Esperamos que nuestros lectores encuentre interesante y útil esta colección de secuencias didácticas y que los resultados alentadores de algunas investigaciones realizadas para medir la efectividad de las CDI pueda influir en el perfeccionamiento de la enseñanza de la física.

## Resumen

En la actualidad, el aprendizaje activo de la física es uno de los modelos educativos más exitosos para la enseñanza de la física en todos los niveles educativos. Sus orígenes se remontan a los años 80 del siglo XX, y ha tenido una evolución muy interesante que se ha adaptado a los avances de la ciencia y la tecnología, desde materiales de bajo costo hasta el uso de computadoras para la realización de experimentos en tiempo real. Las metodologías “activas” tienen su fundamento en el movimiento educativo norteamericano Hands On Minds On.

La presente obra se enfoca en las clases demostrativas interactivas (CDI), las cuales están basadas en el ciclo cognitivo de Predecir, Observar, Discutir y Sintetizar (PODS). Las CDI se realizan en promedio una vez por semana y se alternan con las clases tradicionales.

Nos hemos enfocado principalmente en ejercicios de mecánica clásica y electromagnetismo para estudiantes de nivel medio superior o primer año de cursos superiores. Asimismo, presentamos algunos fundamentos para evaluar el rendimiento académico de los estudiantes que participen en las CDI, lo cual ayudará a los docentes a obtener información valiosa sobre el avance del aprendizaje de sus estudiantes.

**Palabras Clave:** Física. Estudio y enseñanza (Educación media superior) ; Física. Problemas, ejercicios ; Aprendizaje activo.

# Capítulo 1. Aprendizaje activo de la física

## 1.1 El fracaso de la enseñanza tradicional

La enseñanza tradicional de la física, basada principalmente en la simple exposición de una clase por el profesor y la resolución de problemas modelo en el pizarrón, además de las listas de problemas de tarea de algún libro de texto de física, con un mínimo de actividades experimentales, se ha comprobado como un método poco efectivo para el aprendizaje correcto de conceptos de física. Para dar soporte a la declaración de la Comisión Internacional de Educación en Física (ICPE, por sus siglas en inglés) y de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP, por sus siglas en inglés), en este apartado exponemos las seis generalizaciones de resultados sobre el aprendizaje de la física de acuerdo con Lillian McDermott (2001):

1. La facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento práctico.
2. Frecuentemente las conexiones entre conceptos, representaciones formales y el mundo real son inexistentes después de la instrucción tradicional.
3. Ciertas concepciones erróneas no son superadas con una instrucción tradicional. El acceder a niveles más avanzados de instrucción no necesariamente incrementa el nivel de entendimiento de los conceptos básicos.

4. La instrucción tradicional no promueve una estructura conceptual coherente.
5. El incremento en la capacidad de análisis y razonamiento no es el resultado de una instrucción tradicional.
6. Para la mayoría de los estudiantes la enseñanza basada en la exposición de contenidos es un modo ineficiente de instrucción.

He aquí por qué es importante utilizar las técnicas de aprendizaje activo en la clase tradicional de física. Por consiguiente, para guiar el proceso de enseñanza de la física McDermott (2001) propone lo siguiente:

1. La evaluación del aprendizaje debe ser realizada mediante preguntas esenciales que requieran de un razonamiento cualitativo y de explicaciones verbales. Este tipo de preguntas constituyen a su vez una estrategia efectiva para el aprendizaje.
2. Los estudiantes necesitan una práctica sostenida para interpretar el formalismo físico y relacionarlo con el mundo real.
3. Dificultades conceptuales persistentes deben ser explícitamente atacadas en múltiples contextos.
4. Los estudiantes deben participar en el proceso de construcción de modelos cualitativos y en la aplicación de estos modelos para predecir y explicar los fenómenos del mundo real.
5. El razonamiento científico debe ser expresamente cultivado.
6. Los estudiantes deben estar intelectualmente activos en el proceso de aprendizaje para desarrollar una comprensión funcional.

## 1.2 Una base científica para la enseñanza de la física

Es importante señalar que la enseñanza de la física no es un arte, sino una ciencia. Edward Redish (1999) propuso que para seguir avanzando en las investigaciones en educación en física se necesita una base

teórica que enmarque el trabajo de los distintos grupos y permita, por acumulación, la existencia de conocimiento científico colectivo que caracterice la enseñanza de la física como una ciencia y no como un arte. Redish (1999) propone cinco principios:

**1. El principio constructivista.** “Los individuos construyen su propio conocimiento haciendo conexiones con el conocimiento existente, ellos usan ese conocimiento para crear productivamente una respuesta a la información que reciben.” Un estudiante que se encuentra activo en las clases, que participa, observa y construye cosas con sus propias manos, alcanza niveles de comprensión más profundos y duraderos que un estudiante que mantiene una actitud pasiva.

**2. El principio contextual.** “Es razonablemente fácil aprender algo que coincide o extiende un esquema existente, pero cambiar sustancialmente un esquema bien establecido es difícil.” Cuando las predicciones no concuerdan con los resultados el estudiante responde con un estado de desequilibrio, entonces las creencias cambian al confrontar las diferencias entre las observaciones y las predicciones.

**3. El principio de cambio.** “Lo que la gente construya depende del contexto (incluyendo su estado mental).” La comprensión y el aprendizaje están muy relacionados con las conexiones que el estudiante es capaz de establecer con su propia realidad.

**4. El principio de la función de distribución.** “Dado que cada individuo construye su propia estructura mental, diferentes estudiantes tienen diferentes respuestas mentales y diferentes acercamientos al aprendizaje. Cualquier población de estudiantes mostrará una variación significativa en un número grande de variables cognitivas.” Redish afirma que cada estudiante tiene su interpretación personal, de manera que no hay una realidad compartida de conocimientos. Por ello, los alumnos individualmente obtienen diferentes interpretaciones de los mismos materiales, cada uno construye (reconstruye) su conocimiento según sus esquemas, sus saberes y experiencias previas.

**5. El principio de aprendizaje social.** “Para la mayoría de las personas, el aprendizaje es más eficaz a través de interacciones sociales.”

Este principio se basa en el trabajo de Vygotsky (1978). El socio-constructivismo de Vygotsky ha tenido un profundo impacto en las teorías modernas de enseñanza y aprendizaje, puesto que el aprender es una experiencia social donde el contexto es muy importante. El trabajo en grupo maximiza el aprendizaje de los estudiantes.

El método de aprendizaje activo en algunas de sus formulaciones intenta reproducir el proceso científico en el aula, desarrollando habilidades de razonamiento útiles en la física. La manera de promover el aprendizaje activo en los estudiantes es variada y se puede considerar como un sistema que envuelve cinco elementos principales:

1. Objetivos de aprendizaje claramente establecidos.
2. Metodologías de enseñanza acordes con los objetivos.
3. Mecanismos de apoyo o ayuda en el salón de clase.
4. Sistemas de evaluación consistentes.
5. Mecanismos de apoyo fuera del salón de clase (tecnologías de la información).

La combinación de estos elementos puede garantizar que los estudiantes se conviertan en responsables de construir su aprendizaje, y así el profesor sólo representará una ayuda oportuna y eficiente.

### **1.3 Hacia una nueva didáctica de la física**

En este apartado comentaremos algunas reflexiones compartidas por el profesor Inglés John Ogborn durante su ceremonia de premiación de la medalla ICPE en el año 2006, en Tokio, Japón. Cabe señalar que éste es el máximo galardón internacional en el área de educación en física. Es interesante conocer la perspectiva de este prestigioso investigador con más de 50 años de experiencia. Puesto que estamos interesados en plantear las directrices de una nueva didáctica de la física, nos damos a la tarea de examinar brevemente las seis líneas de trabajo propuestas por Ogborn.

### 1.3.1 Reforma de la educación de la física

En la década de 1950 se realizó una gran reforma mundial del currículo, la cual se ha continuado de forma ininterrumpida y debe considerar el avance tecnológico y económico. No obstante los avances, es necesaria una actualización del currículo que incluya nuevos temas y nuevas estructuras de temas. También se debe hacer hincapié en la divulgación e interés por la ciencia, así como prestar especial atención a la retórica sobre el proceso de aprendizaje: “aprender haciendo”, esto es, considerar el aprendizaje activo. Pero aprender no sólo es hacer, se necesita pensar antes, durante y después del hacer. Por consiguiente, debe tenerse cuidado de las dificultades que ocasionan clases largas y con pocos recursos. La Organización para las Naciones Unidas para la educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) lleva más de dos décadas fomentando las metodologías del aprendizaje activo de la física (AAF).

Hay tres lecciones de la reforma de la Educación en Física que debemos tener presentes:

- La naturaleza e implementación de la reforma tiene sus características nacionales.
- El cambio curricular es mucho más lento de lo que se piensa.
- Hay constricciones comunes en todas las reformas.

Estas constricciones comunes son:

- Cambios en la física misma.
- La función social de la física misma.
- La estructura del sistema de educación.
- Qué profesores se tiene.
- Qué nuevas demandas sociales deben reunir.

### 1.3.2 Actualización del contenido de la física

La física, como todas las ciencias, está en constante evolución, año tras año se incorporan más conocimientos y resultados nuevos. Por consiguiente, el futuro necesita actualizarse reformando el contenido existente, y debe tener cuidado de no vivir en el pasado, pues esto lleva a conceptos obsoletos y a seguir enseñando una física desactualizada. Se debe, pues:

- Responder al desarrollo de la física.
- Realizar la transposición didáctica de los nuevos conocimientos científicos generados.
- Prestar especial interés al nivel de profundidad de los temas a enseñar.
- Se requiere una fuerte selección y simplificación del currículo actual. Algunos ejemplos son los temas de: introducción de física moderna, física cuántica, relatividad, física de partículas, física nuclear, microelectrónica y termodinámica, que, desafortunadamente, a veces son opcionales.

En el futuro se necesita considerar los siguientes temas: el uso de computadoras en la experimentación, el modelado y el procesamiento de datos, la visualización de fenómenos, el procesamiento de imágenes, el gran desarrollo de la óptica y la opto-electrónica, los sensores, la instrumentación y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

### 1.3.3 El futuro de las matemáticas en la física

Otro punto importante en la didáctica de la física es el lenguaje matemático, que es la forma de expresar las leyes y principios, y que presenta muchas dificultades a los estudiantes en su comprensión y manipulación, no obstante su complejidad, son absolutamente cruciales, aunque no trabajen bien. Desafortunadamente, los matemáti-

cos ahora están menos interesados en las matemáticas para la física, y su enseñanza se da por la vía tradicional, que es el mecanicismo. Existe una ventaja con las matemáticas: pocos conceptos, amplia variedad de herramientas matemáticas desarrolladas, pero el problema es que no hay interés en actualizar su enseñanza. Recordemos que varias ramas de las matemáticas fueron desarrolladas por los físicos al hacer sus investigaciones.

Una propuesta de matemáticas en la física es que sean parte del curso de física “Modelos matemáticos y métodos”, y que puedan desarrollar una secuencia de esquemas matemáticos, cada uno de un rango de ejemplos físicos; como ejemplos pueden ser proporcionalidad simple, resortes, presión, flujo, circuitos simples, el cambio exponencial, la ecuación diferencial de primer orden, el decaimiento exponencial, el decaimiento de carga, el amortiguamiento, la aceleración y las oscilaciones, la ecuación de segundo orden y el movimiento acelerado, así como el movimiento armónico. En suma, la propuesta para abordar las matemáticas en el currículo de física es:

- Enseñar matemáticas dentro de la física.
- Explotar más los métodos numéricos: soluciones iterativas paso a paso.
- Ser mucho más visual en matemáticas.

#### 1.3.4 Trabajo práctico en el futuro

En cierta forma este punto ya se ha abordado en la declaración del ICPE-IUPAP, el trabajo experimental en la enseñanza de la física no debe ser descuidado, relegado o sustituido con simulaciones computacionales, es importante dedicar tiempo para las clases experimentales y de laboratorio. La propuesta para la reforma curricular es tener presentes tres funciones principales:

- Demostración de principios y aplicaciones “ver y creer”.
- Aprender a desarrollar habilidades y a ser cuidadoso.

- Investigando por sí mismo (tratar, fallar, intentar).
- Se necesita un mejor balance de las tres.

### 1.3.5 Lecciones de la investigación

Hay un problema importante en la investigación realizada en la enseñanza de la física en los últimos 50 años y la forma en que ésta impacta en la educación en la actualidad. Hay una gran desarticulación de la investigación y el llevar sus resultados a la práctica. Mucho se ha escrito al respecto, pero la realidad es incuestionable, la gran mayoría de profesores de física de todos los niveles educativos desconocen los resultados más significativos de la investigación educativa. Podemos señalar, brevemente, que los resultados más fuertes son:

- Las ideas que los estudiantes tienen sobre el mundo deciden cómo entienden lo que se les enseña.
- El aprendizaje necesariamente y siempre transforma lo que se enseña.
- Si se quiere entender o resolver un problema real, se tiene que enseñar y practicar con él.
- Enseñar mediante rutinas de ejercicios y esperar por su uso el entendimiento no funciona.
- La discusión y argumentos con otros estudiantes ayuda.

### 1.3.6 Desafíos para el futuro

Si bien la ICPE ha señalado desafíos muy generales de la enseñanza de la física, éstos tienen rasgos comunes en regiones próximas, sea Norteamérica, Latinoamérica, Europa, Asia, etc., el problema debe ser analizado de acuerdo a las circunstancias particulares de los diferentes países y debe formar redes de trabajo colaborativo en las diferentes regiones del planeta para difundir los resultados, organizar eventos académicos sobre la enseñanza de la física y coordinar proyectos edi-

toriales de acceso gratuito tanto para estudiantes como para profesores. En general, se puede plantear lo siguiente:

- Es necesaria una mayor incidencia en la secundaria, ya que en ese nivel se concentra una gran cantidad de estudiantes a nivel mundial.
- La física debe ser más adecuada para el entendimiento del público, es necesario hacer una mayor labor divulgativa de la ciencia en general:
  - Más social y con aplicaciones tecnológicas.
  - Más filosófica y en el contexto histórico.
  - Pero muchos profesores no están listos para esto.
- Aumentar el interés para que los estudiantes estudien física.
- Se necesita mantener en actualización continua de la enseñanza de la física.
- Se necesita mejorar la manera en que se enseña física tomando en cuenta diferentes teorías educativas.

Las líneas principales serían las siguientes:

- Investigación en física educativa (aprender qué aprenden los alumnos).
- Opciones curriculares (investigación basada en materiales).
- Replanteamiento de metas (el currículo escondido).
- Enseñar a los estudiantes a pensar (aprender a aprender).
- Uso de TIC.

## 1.4 Fundamentos teóricos del aprendizaje activo

El AAF se considera como el conjunto de estrategias y metodologías para la enseñanza-aprendizaje de la física, en el que los alumnos son guiados para construir su conocimiento de los conceptos físicos mediante observaciones directas del mundo físico (Sokoloff, 2006, p. 3). En este proceso se utiliza un ciclo de aprendizaje que incluye predicciones, discusiones en grupos pequeños, observaciones y compara-

ciones de resultados observados con las predicciones. Este ciclo de aprendizaje se ha llegado a conocer como PODS (Predicción, Observación, Discusión y Síntesis). Un antecedente de este ciclo es la secuencia POE (Predecir, Observar, Explicar) desarrollada por White y Gunstone (1992), la cual surgió en la enseñanza de las ciencias. El término aprendizaje activo depende del contexto y de quién lo esté utilizando. En muchas ocasiones se utiliza indistintamente cuando se habla de aprendizaje colaborativo o de aprendizaje cooperativo. Puede abarcar una variedad de actividades, desde que los estudiantes discutan un problema o un concepto durante la clase a lo largo del semestre. Aprendizaje activo significa, básicamente, que los estudiantes están involucrados en algún tipo de actividad guiada en la clase a fin de que estén haciendo algo en el aula, además de sentarse y escuchar al instructor dar una conferencia o viendo los problemas de trabajo en el pizarrón. Esta definición tiene dos consecuencias (Breslow, 1999):

1. En el aula, los alumnos no son receptores pasivos de conocimiento, sino que son aprendices activos.
2. Los profesores no son vistos como fuentes de información, sino más bien como mentores o entrenadores.

El punto medular de las actividades del AAF es que los estudiantes trabajen juntos siguiendo una secuencia didáctica específica utilizando actividades experimentales. Richard Hake (2007) ha señalado que

[...] los métodos de participación interactiva son diseñados en parte para promover la comprensión conceptual a través de la participación interactiva de los estudiantes en actividades mentales (siempre) y de manos a la obra (en general) que producen información inmediata a través de la discusión con sus compañeros y/o instructores.

Tal como se mencionó en la introducción, en los últimos años se han desarrollado, en los Estados Unidos y en otros países desarrollados, diversos estudios de investigación en física educativa que han

demostrado la eficacia del aprendizaje activo para generar un conocimiento más profundo de conceptos físicos tratando de conectar éstos con experiencias reales comprensibles para los alumnos. Las principales características de las herramientas didácticas que fundamentan el aprendizaje activo (Thornton y Sokoloff, 1990) son:

1. Las herramientas tecnológicas permiten a los alumnos dirigir su práctica sin consumir la mayor parte del tiempo en recolectar datos para su demostración.
2. Los datos son graficados en tiempo real y permiten a los alumnos una inmediata retroalimentación y poder ver los datos en forma comprensible.
3. Debido al hecho de que los datos son rápidamente obtenidos y analizados, los alumnos pueden examinar fácilmente las consecuencias de un gran número de cambios en las condiciones experimentales durante una sesión de laboratorio. Los estudiantes pasan una gran parte del tiempo observando fenómenos físicos e interpretándolos, discutiendo y analizando datos.
4. Las herramientas de hardware y software son generales, es decir, independientes de los experimentos, por lo cual los alumnos son capaces de enfocarse en la investigación de muchos fenómenos físicos sin perder tiempo usando instrumentos más complicados.
5. Las herramientas tecnológicas no determinan ni el fenómeno a investigar, los pasos de la investigación, ni el nivel o sofisticación del objetivo de aprendizaje, por lo que son útiles desde el nivel elemental hasta el universitario.

Los modelos de AAF se han desarrollado como una consecuencia de las deficiencias de la enseñanza tradicional; en la tabla 1.1 se muestran algunas de las principales diferencias entre el aprendizaje tradicional y el activo (Mazzolini, 2002; Sokoloff, 2006).

Tabla 1.1. *Comparación entre ambientes de aprendizaje tradicional y activo*

<i>Ambiente de aprendizaje pasivo</i>	<i>Ambiente de aprendizaje activo</i>
El instructor y el libro de texto son las autoridades y fuente de todo conocimiento.	Los alumnos construyen su conocimiento al poner manos a la obra y al hacer observaciones. Las observaciones reales del mundo real son la autoridad.
Las creencias de los alumnos rara vez son contrastadas.	Se utiliza el ciclo de aprendizaje en el que los alumnos son desafiados a comparar sus predicciones (basadas en sus creencias) con las observaciones de experimentos reales.
Puede ser que los alumnos nunca perciban el conflicto entre sus creencias y lo que se les enseña en clase.	Las creencias de los alumnos cambian cuando los alumnos son confrontados ante las diferencias entre sus observaciones y sus creencias.
El rol del profesor es de autoridad.	El papel del instructor es de guía en el proceso de aprendizaje.
La colaboración entre compañeros no es fomentada.	Se fomenta la colaboración entre compañeros.
Las clases de física a menudo presentan los "hechos" de la física con poca referencia a la experimentación.	Los resultados de experimentos reales son observados en formas comprensibles.
El trabajo de laboratorio, si lo hay, se usa para confirmar teorías "aprendidas" en clase.	El trabajo de laboratorio se utiliza para aprender conceptos básicos.

El AAF es un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante (SCL, por sus siglas en inglés) en donde el estudiante se encuentra en el centro de su propio proceso de aprendizaje, participa activamente en su proceso de formación, aprende a su propio ritmo usando sus propias estrategias; desarrolla habilidades tales como la solución de problemas, pensamiento crítico y reflexivo, explicar y se adapta a diferentes estilos de aprendizaje (Benítez, 2012). El SCL se distingue del centrado en el profesor porque éste se caracteriza por la exposición de información de un experto en el conocimiento (profesor) para un receptor pasivo (estudiante) o consumidor.

## Capítulo 2. Clases demostrativas interactivas

### 2.1 El ciclo PODS

El aprendizaje activo de la física (AAF) está formado por un conjunto de métodos bien definidos y pensados para mejorar el aprendizaje de la física (Mora, 2008). Esta concepción coincide con las descripciones de Thornton y Sokoloff (1998), los cuales consideran al AAF como una estrategia didáctica en donde los estudiantes son guiados a construir su conocimiento de los conceptos físicos mediante observaciones directas del mundo físico. Se requiere que los estudiantes efectúen predicciones, observaciones, discusiones y síntesis, lo cual constituye el ciclo PODS (Sokoloff *et al.*, 2006), a fin de que actúen y reporten sus propios enfoques y resoluciones a las situaciones que se les presentan. Todo esto puede realizarse con base en lo observado en las gráficas obtenidas en tiempo real o en el análisis de simulaciones por computadora o en la solución de problemas interactivos, entre otras opciones. El ciclo PODS tiene su antecedente en otra secuencia de enseñanza de las ciencias propuesto por White y Gunstone (1992), esto es, predecir, observar y explicar (POE). A continuación, detallaremos más la estrategia de enseñanza del ciclo PODS.

– **Predicción.** El profesor debe empezar proponiendo preguntas a los estudiantes, para que ellos intenten hallar la respuesta correcta. El AAF considera los conocimientos previos del estudiante alrededor de los fenómenos de la física, y ayuda a pensar con mayor profundidad en los fenómenos físicos.

– **Observación.** En esta acción los estudiantes reproducen y observan los fenómenos en estudio y logran aprender haciendo (Vázquez y Rúa, 2007), lo cual no es nada nuevo; es como siempre se ha aprendido, como se sigue aprendiendo, “pues lo que hay que hacer después de haber aprendido, lo aprendemos haciéndolo” (Aristóteles, 2015).

– **Discusión.** Posteriormente discuten los fenómenos observados en clase con sus pares en pequeños grupos de tres a cuatro participantes como máximo. La discusión sobre el material de enseñanza permite mejorar la comprensión de conceptos, apoya la autorregulación de tal forma que los estudiantes escuchan diferentes ideas, reflejan las propias y éstas les ayudan para abordar errores conceptuales. Mediante la discusión, los estudiantes pueden también llegar a familiarizarse con el lenguaje científico (Lemke, 1990). Asimismo, se promueve la discusión mediante el uso de lluvia de ideas, la utilización de mapas conceptuales, de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), entre otras características.

– **Síntesis.** Esta última parte del ciclo es sumamente importante para la correcta formación de conceptos físicos, pues los estudiantes reportan sus propios enfoques y resoluciones a las situaciones que se les presentan (Vázquez y Rúa, 2007). Los estudiantes aprenden equivocándose y reflexionando sobre cómo resolver los problemas, de preferencia con la ayuda de alguien más experimentado, realizando conexiones e incluso equivocándose, pues no hay aprendizaje sin error (Cazau, 2007).

En el AAF el estudiante se ve implicado activamente y asume el control de su propio aprendizaje, se provoca que el estudiante pueda analizar, investigar, colaborar, compartir, construir y generar conocimiento basándose en sus conocimientos previos y en su iniciativa propia. Los efectos y características tangibles de este aprendizaje en el estudiante son que:

- Los estudiantes desarrollan un mejor entendimiento conceptual de los principios de la física. Los estudiantes obtienen mayor ganancia conceptual debido al uso de las herramientas diseñadas para tal efecto al aplicar las estrategias de aprendi-

zaje basadas en los resultados de las evaluaciones aplicadas antes de la instrucción. Se utilizan las características de aprendizaje (kinestésico, auditivo o visual), capacidad mental y organización de la memoria; la ganancia obtenida en el aprendizaje activo es mayor que los resultados reportados para la instrucción por conferencia y la retención de conocimientos es duradera (Felder *et al.*, 1998).

- Los estudiantes desarrollan mejores capacidades para la solución de problemas. Los estudiantes que trabajan con el método de aprendizaje activo solucionan los problemas con más facilidad que los sometidos al tipo de conferencia magistral. Inversamente, los problemas de evaluación final usados en la clase basada en conferencia magistral son a menudo demasiado fáciles para incluirlos en el examen final para la clase con aprendizaje activo. Los estudiantes aprenden haciendo (Sokoloff *et al.*, 2007).
- Los estudiantes aprenden de ellos, de sus compañeros y del profesor. Desarrollan un mejor entrenamiento y comunicación social. Los estudiantes en un ambiente activo muestran un gran avance desde el principio hasta el fin del curso en su habilidad para explicar a detalle la solución de un problema. Al final del ciclo escolar los estudiantes mejoran su trabajo en grupo. El aprendizaje es fácil, profundo y duradero.
- Los estudiantes se entusiasman más con el curso. Los comentarios de los estudiantes sobre las evaluaciones posteriores a la instrucción indican que prefieren este tipo de instrucción a la conferencia magistral (Bonwell y Eison, 1991).
- Promueve la discusión en grupo. Mediante la tormenta o lluvia de ideas, la utilización de mapas conceptuales, de las TIC y otros. Los objetivos de los grupos de discusión son: nivelar, jerarquizar e integrar los conocimientos básicos, trabajar los temas a través de actividades prácticas, motivar a los estudiantes a estudiar con libros de texto y consultar otras fuentes, promover la búsqueda y uso de fuentes de información, fomentar la curiosidad, alentar al estudiante a exponer y defen-

- der sus ideas en público en forma clara y correcta, mejorar la expresión escrita y adoptar el lenguaje de expresión científica.
- El proceso de enseñanza es placentero. Esta característica incrementa el entendimiento conceptual del estudiante y la habilidad para resolver problemas, permitiendo disfrutar el curso.
  - Provoca la transferencia a situaciones y soluciones semejantes. El entendimiento conceptual permite que los alumnos apliquen los conceptos a situaciones parecidas.

Los resultados de investigación educativa en la física presentados en los últimos años (Stathopoulou & Vosniadou 2007) muestran la necesidad de efectuar cambios en la metodología de enseñanza (Bransford *et al.*, 2000) a fin de incrementar la calidad del aprendizaje al aprovechar las características diferentes de los estudiantes dentro de un contexto de la vida real, con materiales de bajo costo, basándose en el AAF, en un esfuerzo por motivar a los estudiantes a aplicar los principios aprendidos para la solución de problemas de la vida cotidiana y profesional.

## **2.2 Componentes de las clases demostrativas interactivas**

En los métodos activos se debe tener un facilitador para grupos pequeños (dos a cuatro estudiantes como máximo), con la finalidad de que el aprovechamiento se incremente, también se capacita a los participantes de la metodología de AAF. La actividad se monitorea con diagnósticos estandarizados que permitan evaluar la efectividad de la implementación mediante exámenes pre- test y postest diseñados para el efecto con anticipación. De acuerdo con las concepciones actuales el docente actúa como facilitador y guía entre el conocimiento y los estudiantes, logrando un proceso de interacción basado en la iniciativa y el afán de saber de los alumnos; haciendo del proceso un ciclo e individualizando la instrucción. La formación de grupos de discu-

sión permite la mezcla de estudiantes con diferentes habilidades, y los grupos pueden cambiarse periódicamente.

A continuación, se mostrará la secuencia de aplicación de una clase demostrativa interactiva (Sokoloff 1997; 2004):

1. El instructor describe la demostración y la hace para la clase, sin exhibir los resultados.
2. El facilitador pide a los estudiantes realizar y registrar sus predicciones de forma personal en una “Hoja de la Predicción Individual” diseñada para tal efecto sobre los datos esperados (serie de preguntas sobre la demostración), las hojas se recogen, pero no se califican. Se espera que los estudiantes construyan las respuestas por sí mismos con discusiones entre sus pares y con la supervisión de los facilitadores. Los facilitadores no dan una conferencia; más bien hacen preguntas diseñadas para ayudar a los estudiantes a encontrar sus propias respuestas.
3. Los estudiantes discuten sus predicciones en pequeños grupos (de dos a cuatro como máximo) para llegar a una conclusión final.
4. El facilitador solicita las respuestas dadas por los equipos de trabajo y pide que se registren en la “Hoja de Predicción por Equipos”.
5. El facilitador expone los resultados más comunes centrándose en las ideas previas más importantes y representativas y las muestra en una pantalla o en el pizarrón.
6. Se realiza la experimentación, se registran los datos obtenidos en tiempo real por medio de la computadora o de acuerdo al diseño de la práctica, se muestran los resultados para que todos los vean (por medio de un proyector o en el pizarrón).
7. El instructor pide que los estudiantes describan sus resultados y los discutan, considerando sus predicciones, y deben llegar a una conclusión final.
8. El facilitador discute junto con sus estudiantes la aplicación a situaciones físicas semejantes, basándose en los mismos conceptos.

Esta secuencia se sigue para cada actividad de aprendizaje, los estudiantes pueden realizar sus predicciones de forma individual y/o colectiva entre pares y con el facilitador, observan la demostración, reflexionan sobre lo visto y confirman o rechazan sus predicciones iniciales.

## **2.3 Cómo impartir clases demostrativas interactivas efectivas**

A continuación, se hacen las siguientes recomendaciones para la efectiva aplicación de las clases demostrativas interactivas:

- El facilitador debe observar cuidadosamente y elegir el momento adecuado para pasar al siguiente paso, debe calcular cuándo ha transcurrido el tiempo suficiente para la discusión (pasos 2, 3 y 4) y continuar con la clase en el tiempo apropiado.
- En el paso 5 el instructor puede utilizar el proyector o el pizarrón para anotar las predicciones de los estudiantes. Las predicciones incorrectas no se corrigen en esta ocasión. El facilitador puede incluir respuestas de demostraciones anteriores si ningún estudiante se ofrece voluntariamente o si las respuestas no varían.
- El propósito de los pasos 7 y 8 es que el instructor dirija a los estudiantes a la respuesta correcta. Esto no es una conferencia (clase tradicional), sino una discusión dirigida donde los datos experimentales (gráficos y/o datos) se utilizan para validar los conceptos.

El estudiante se involucra en su propio proceso de aprendizaje; lo cual, se traduce en mejor retención de lo aprendido; conoce el pensamiento entre pares, respecto al tema que se está aprendiendo, teniendo otras perspectivas o puntos de vista. Aprende a defender sus ideas con argumentos claros desarrollando su capacidad argumenta-

tiva y comunicativa. Desarrolla habilidades sociales (integración, respeto, tolerancia, comunicación, etc.) Aprende a reconocer cuándo y cuánta información necesita y se encuentra preparado para transferir lo que se ha aprendido a problemas y escenarios nuevos. No vale apoyarse en los otros. Le permite aprender a aprender para aprender a hacer y llegar a ser.

El facilitador debe elaborar materiales y secuencias de aprendizaje basados en la investigación educativa realizada (indagación de las ideas previas) con la finalidad de que el alumno construya su aprendizaje mediante la aplicación de los mismos. Facilita el aprendizaje y crea situaciones de aprendizaje de las que el educando no puede escapar sin haber aprendido. Fomenta la cooperación entre grupos de trabajo de forma positiva. Dentro de las actividades del facilitador está el prestar atención a cada equipo de trabajo y a cada estudiante de forma personal con la intención de resolver los problemas que puedan surgir. Es importante proporcionar reconocimiento y oportunidad de comprobar su propio progreso a todos los estudiantes.

Una clase demostrativa interactiva se aplica en apenas varias clases de cada semestre; sin embargo —de acuerdo con otros investigadores (Sokoloff, 1997)—, su uso es suficiente para producir beneficios sustanciales. Para cada demostración se tiene una hoja de predicción para los estudiantes, ésta puede incluir gráficos en donde éstos pueden elaborar sus predicciones de forma breve para describir lo observado, así como una serie de preguntas conceptuales.

Se puede utilizar este material para adaptarlo a las características y circunstancias de cada facilitador y de sus alumnos. Para aplicar esta demostración se formaron subgrupos de trabajo de tres a cuatro personas, se aplica la misma en aproximadamente una hora y 40 minutos con la finalidad de mejorar el aprendizaje, de obtener las gráficas de movimiento y para facilitar la elaboración del modelado matemático del fenómeno en estudio. Posteriormente, se aplica algún cuestionario de evaluación conceptual como post test para evaluar la ganancia del aprendizaje o cualquier otro análisis estadístico.

## 2.4 Evaluación de las clases demostrativas interactivas

### 2.4.1 Factor de Hake

Para lograr una medición de la ganancia conceptual primero se debe tener una medida estandarizada del entendimiento conceptual de los estudiantes alrededor del material educativo evaluando los resultados de exámenes resueltos antes y después de la instrucción, de preferencia un test debidamente validado; más adelante se valoran los resultados con la ganancia normalizada (Hake, 1998), la cual permite medir y comparar la ganancia conceptual desarrollada entre en cursos de una misma índole; o bien, comparar entre cursos desarrollados con enseñanza tradicional y los métodos de enseñanza interactivos usados en las escuelas. Los resultados de las dos evaluaciones (pre- y postest) se reportan como un número llamado ganancia normalizada que es la razón del aumento entre el pretest aplicado al inicio del curso y el postest aplicado al final del mismo, con respecto al máximo aumento posible, tiene valores que cubren el intervalo de  $[0, 1]$  (Seyed, 2013). De acuerdo a los resultados obtenidos se podrá concluir si efectivamente los documentos construidos con su metodología de trabajo, las herramientas llevadas al aula y su metodología fueron efectivas y cumplieron los objetivos trazados, la expresión matemática es (Hake, 1998):

$$g = \frac{\left\{ \begin{array}{c} \text{Calificación promedio} \\ \text{del post test} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Calificación promedio} \\ \text{del pre test} \end{array} \right\}}{100 - \left\{ \begin{array}{c} \text{Calificación promedio} \\ \text{del pre test} \end{array} \right\}}. \quad (2.1a)$$

La ganancia del aprendizaje se divide en tres categorías:

- Zona de ganancia alta si el factor de Hake cumple con  $g \geq 0.7$ ,
- Zona de ganancia media si el factor de Hake cumple con  $0.3 \leq g < 0.7$ ,
- Zona de ganancia baja si el factor de Hake cumple con  $g < 0.3$ .

Para comprender cómo aprenden los estudiantes (Becerra, 2018, pp. 80-91) primero es necesario analizar cómo funciona la memoria y cómo se procesa y almacena la información en el cerebro; según Redish (2003) esta memoria se compone de la memoria a corto y largo plazo, las cuales son complementarias en el sentido de que para acceder a la memoria de largo plazo es necesario activarla por medio de la memoria a corto plazo, la cual trabaja de manera rápida, pero tiene limitaciones, ya que sólo puede manejar grupos pequeños de paquetes de información y desaparece rápidamente, mientras que la memoria a largo plazo es capaz de manejar grandes grupos de paquetes de información, hechos o datos, entre otros, pudiendo permanecer durante periodos largos de tiempo, incluso décadas, al ser esta información productiva y asociativa en un proceso que puede ser en cadena, ya que la activación de un elemento conlleva a la activación de otro.

El hecho de que la memoria a corto plazo sea necesaria para conducir a la memoria a largo plazo orienta el desarrollo de las actividades propuestas en la investigación, ya que permite evitar el exceso de información otorgada a los estudiantes en una sesión de clases; a esta memoria se le adjudica la capacidad para resolver problemáticas, analizar información y almacenarla en nuestra conciencia, siendo ésta individualizada para cada persona, pues depende de su conocimiento y de sus estados mentales, lo que conlleva a afirmar que cuando se puede aplicar de manera fácil un pequeño conocimiento, experiencia o proceso éste está compilado (ejecutado).

Por otro lado, la memoria a largo plazo es cognitiva-experiencial al ser productiva en el contexto de ser activa extrayendo y procesando la información consolidada en la memoria a corto plazo mediante un proceso automático, además, esta memoria no sólo depende del estado mental (correspondiente al modelo físico) cuando se presenta el estímulo, sino también del contexto, pues es la respuesta cognitiva a estímulos mentales al depender de la situación externa que la propicia y de la manera en la cual se da ¿la respuesta o el estímulo?. Esta memoria también se caracteriza por ser estructurada y asociativa, ya que cuando el sujeto se ve expuesto a un estímulo, una sucesión de

elementos de conocimiento se puede activar; estas características de la memoria permiten orientar más la propuesta al procurar la creación de ambientes de trabajo que propicien la activación de conocimientos por parte de los estudiantes, lo cual dependerá de los estímulos que se provoquen en el aula en la propuesta realizada, resaltando la importancia de la aplicación del pretest al dar cuenta de las ideas y concepciones previas de los estudiantes, para luego comprender cómo se da el razonamiento en ellos y comprender así los patrones de asociación estímulo-consolidación de conocimiento; haciendo referencia a la estructura de conocimiento generado, estos patrones tienen la posibilidad de activarse no sólo en contextos particulares y propios, sino en una variedad de ellos generando un esquema, el cual, cuando es robusto y coherente, se define como modelo mental; en esta misma línea se habla de modelos científicos como modelos mentales, que se caracterizan por ser constituidos alrededor de las experiencias, propiedades e interacción con fenómenos y objetos, consolidando de esta manera la definición de modelo físico.

#### 2.4.2 Ganancia de Hake-Dellwo

Hovland *et al.* (1949) utilizaron la relación

**Demostración 1:** Realiza cinco mediciones y registra los datos.

$$g = \frac{(\%postest) - (\%pretest)}{5,0 - (\%pretest)}. \quad (2.1b)$$

para cuantificar la efectividad de las películas instructivas. Hake (1998) utilizó (2.1b) para medir la efectividad relativa de varias técnicas de instrucción empleadas en cursos de introducción a la física. Cummings *et al.* (1999) utilizó (2.1b) para evaluar las innovaciones en la física de estudio. Meltzer (2002) utilizó (2.1b) para explorar la relación entre preparación matemática y aprendizaje de conceptos en física. Estos importantes estudios se basaron en la noción intuitiva de que al comparar dos cursos “El curso con el mayor valor de cambio normalizado ( $g$ ) es el curso más eficaz”.

Desafortunadamente, como demostró Dellwo (2010), esta regla de evaluación clásica puede llevar a conclusiones contrarias a la intuición. David R. Dellwo (2010) empleó una regla de evaluación alternativa obtenida al descomponer el cambio normalizado (2.1b) en medidas componentes:

$$g = G - \gamma L. \quad (2.2)$$

Aquí  $G$  es una ganancia normalizada (a la que nos referiremos como  $D_{gain}$  o ganancia de Dellwo) que mide la probabilidad de que un error en el pre test previo a la instrucción del grupo se corrija en el post test después de la instrucción. De manera similar,  $L$  es una pérdida normalizada (a la que nos referiremos como  $D_{loss}$  o pérdida de Dellwo) que mide la probabilidad de que una respuesta correcta en la prueba previa a la instrucción del grupo resulte incorrecta en la prueba posterior a la instrucción. El parámetro no negativo  $\gamma$  es un factor de renormalización que depende del desempeño previo a la instrucción de la población. En consecuencia, (2.2) expresa el cambio normalizado (2.1b) como la diferencia entre dos índices no negativos, ganancia normalizada y pérdida renormalizada. La descomposición (2.2) da lugar a una regla de evaluación alternativa que evita las conclusiones contradictorias asociadas con el último resultado, y dice, en parte: “El curso con mayor valor de ganancia normalizada ( $G$ ) y menor valor de pérdida renormalizada ( $\gamma L$ ) es el curso más efectivo”.

El cambio normalizado (2.1b) para un grupo de  $N$  estudiantes que realizan una prueba de diagnóstico con  $M$  preguntas se puede expresar de la siguiente forma:

$$g = \frac{\theta_{post} - \theta_{pre}}{1 - \theta_{pre}}, \quad (2.3a)$$

$$\theta_{pre} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de respuestas correctas} \\ \text{de los estudiantes en el pre test} \end{array} \right\}}{NM}, \quad (2.3b)$$

$$\theta_{post} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de respuestas correctas} \\ \text{de los estudiantes en el post test} \end{array} \right\}}{NM}. \quad (2.3c)$$

La derivación de (2.2) está basada en la siguiente observación.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los} \\ \text{estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en el post test} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los} \\ \text{estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en el pre test} \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los} \\ \text{estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en el post test} \\ \text{e incorrectamente en el pre test} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los} \\ \text{estudiantes contestaron} \\ \text{incorrectamente en el post test} \\ \text{y correctamente en el pre test} \end{array} \right\}$$

Esta observación junto con las definiciones (2.3b) y (2.3c) implican que

$$\theta_{post} - \theta_{pre} = G(1 - \theta_{pre}) - L\theta_{pre}. \quad (2.4a)$$

$$G = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron correctamente} \\ \text{en el post test e incorrectamente en el pre test} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron} \\ \text{incorrectamente en el pre test} \end{array} \right\}}, \quad (2.5a)$$

$$L = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron incorrectamente} \\ \text{en el post test y correctamente en el pre test} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en el pre test} \end{array} \right\}}. \quad (2.5b)$$

El numerador en (2.5a) es el número de preguntas en las que los estudiantes demuestran una ganancia en conocimiento y el denominador es la ganancia máxima posible. En consecuencia, la relación  $G$  es una ganancia normalizada que mide la probabilidad condicional (Ross, 2004) de que un error en la prueba previa a la instrucción del grupo se corrija en la prueba posterior a la instrucción. De manera similar, el numerador en (2.5b) es el número de preguntas en las que los estudiantes demuestran una pérdida de conocimiento y el denominador es la máxima pérdida posible. En consecuencia, la razón  $L$  es una pérdida normalizada que mide la probabilidad condicional de que una respuesta correcta en la prueba previa a la instrucción del grupo resulte incorrecta en la prueba posterior a la instrucción.

En resumen, la ecuación (2.4a) expresa el cambio en la puntuación de la prueba como una diferencia entre la fracción de preguntas en las que los estudiantes demuestran una ganancia en conocimiento

y la fracción en la que demuestran una pérdida de conocimiento. Finalmente, para obtener (2.2) definimos a  $\gamma$  como la siguiente expresión

$$\gamma = \frac{\theta_{pre}}{1 - \theta_{pre}}, \quad (2.5c)$$

y dividimos (2.4a) entre  $(1 - \theta_{pre})$ . El factor de escala (2.5c) es un parámetro no negativo cuyo valor es mayor que 1 si  $\theta_{pre} > 1/2$ , igual a 1 si  $\theta_{pre} = 1/2$ , y menor que 1 si  $\theta < 1/2$ . La escala  $\gamma$  se conoce como la relación de aspecto del grupo y especifica las probabilidades de que el grupo dé una respuesta correcta en la prueba previa a la instrucción.

$$\text{i. } A \text{ es más efectiva que } B \text{ si } \begin{cases} G_A > G_B & \text{y } \gamma_A L_A \leq \gamma_B L_B \\ & \text{o} \\ G_A \geq G_B & \text{y } \gamma_A L_A < \gamma_B L_B \end{cases}, \quad (2.6a)$$

$$\text{ii. } A \text{ y } B \text{ son igualmente efectivos si } G_A = G_B \text{ y } \gamma_A L_A = \gamma_B L_B, \quad (2.6b)$$

$$\text{iii. } A \text{ y } B \text{ no son comparables si } \begin{cases} G_A > G_B & \text{y } \gamma_A L_A > \gamma_B L_B \\ & \text{o} \\ G_A < G_B & \text{y } \gamma_A L_A < \gamma_B L_B \end{cases}. \quad (2.6c)$$

Obsérvese que, (2.6a) reformula “El curso con el valor mayor de ganancia normalizada ( $G$ ) y el menor valor de pérdida renormalizada ( $\gamma L$ ) es el curso más efectivo” en forma algebraica y define un orden consistente de cursos en el sentido de que si  $A$  es más efectivo que  $B$  y  $B$  es más efectivo que  $C$ , entonces  $A$  es más efectivo que  $C$ . Además, (2.6c) ofrece una opción de evaluación no ofrecida por “El curso con el valor mayor de cambio normalizado ( $g$ ) es el curso más eficaz”, algunos cursos no son comparables.

Si  $A$  es un curso más efectivo que  $B$  en el sentido de (2.6a), entonces  $G_A - G_B$  es una medida de valor agregado de efectividad mejorada debido a mayores ganancias (Suskie, 2004). Además,  $\gamma$  es una medida de valor agregado de eficacia mejorada debido a las pérdidas renormalizadas más pequeñas que experimentan los estudiantes en el curso más efectivo. Por consiguiente,

$$g_A - g_B = (G_A - G_B) + (\gamma_B L_B - \gamma_A L_A), \quad (2.7a)$$

es una medida de valor agregado de la mejora total en la efectividad cuando se aplica (2.6a) o equivalentemente “El curso con el valor más grande de ganancia normalizada ( $G$ ) y el valor más pequeño de pérdida renormalizada ( $\gamma L$ ) es el curso más efectivo” y un curso puede reclamar tanto las mayores ganancias como las menores pérdidas renormalizadas.

Por otro lado, (2.7a) no es una medida de mejora total en la efectividad cuando se aplica (2.6c) y ninguno de los cursos puede reclamar tanto ganancias mayores como pérdidas renormalizadas menores. En este caso, uno de  $G_A - G_B$  y  $\gamma_B L_B - \gamma_A L_A$  es positivo mientras que el otro es negativo; entonces (2.7a) es la diferencia entre dos medidas de valor agregado:

$$g_A - g_B = (G_A - G_B) + (\gamma_B L_B - \gamma_A L_A) =$$

$$= \begin{cases} -(G_B - G_A) + (\gamma_B L_B - \gamma_A L_A) & \text{si } (G_A - G_B) < 0, \\ (G_A - G_B) - (\gamma_A L_A - \gamma_B L_B) & \text{si } (\gamma_B L_B - \gamma_A L_A) < 0. \end{cases} \quad (2.8a)$$

Es decir,  $g_A - g_B$  es una diferencia entre la eficacia añadida debido a ganancias mayores en un curso y la eficacia añadida debido a pérdidas renormalizadas más pequeñas en el otro curso.

Finalmente, en el esquema de (2.8a) la regla de evaluación clásica: “El curso con el valor mayor de cambio normalizado ( $g$ ) es el curso más efectivo” declara que  $A$  es más efectivo que  $B$  cuando se aplica cualquiera de los siguientes:

- La efectividad agregada debido a pérdidas renormalizadas más pequeñas en  $A$  compensa la efectividad agregada debido a ganancias más grandes en  $B$ .
- La eficacia añadida debida a mayores ganancias en  $A$  compensa la eficacia añadida debida a pérdidas renormalizadas más pequeñas en  $B$ .

### 2.4.3 Medidas del modelo mental

Como tal no es posible establecer estrategias para medir los modelos mentales de los estudiantes, pero sí es posible hacer unas observaciones de comportamientos y hacer inferencias sobre éstos, por ejemplo, acerca de los modelos mentales científicamente incorrectos Greca & Moreira (1998) comentan que los estudiantes los construyen de forma natural con su interacción con el mundo al dar una explicación del mismo:

[...] éstos son creados por la percepción, por el ambiente social o por el contexto escolar. Parte de la fuerte resistencia al cambio de esos modelos puede resultar porque son eficientes para entender el mundo antes de entrar en la escuela, y lo continúan siendo fuera de las aulas de ciencia [...].

Los modelos mentales de los estudiantes se pueden estudiar analizando sus respuestas al ponerlas en contextos físicos ante la resolución de problemáticas. La importancia de comprender las ideas, razonamientos y relaciones que los estudiantes tienen de los fenómenos físicos es:

1. Visualizar y prever los errores que comúnmente cometen, dando enfoques y aplicaciones erradas a la información abordada en el aula, siendo esta información proporcionada por el docente o los libros de texto.
2. Tener en cuenta los recursos que tienen y que son útiles para construir sus futuros conocimientos, siendo estos: la modificación, reestructuración o financiamiento de los esquemas existentes, que se convierten en el material de trabajo para ayudar a mejorar sus modelos y a acercarlos lo más cerca posible a los científicamente aceptados (modelo físico).

Ya se han mencionado los modelos mentales y su relación con los modelos físicos, siendo éstos estructuras mentales robustas y produc-

tivas en referencia a la generación de explicaciones de los fenómenos físicos, es allí donde para Sandoval (2009) surge el término dominio conceptual que “Se utiliza a menudo para referirse a ciertos temas específicos de física que involucran a cierto dominio de contextos y reglas explicativas”; un ejemplo de un correcto dominio conceptual es darse cuenta de que entre dos cargas eléctricas la fuerza de atracción o repulsión es directamente proporcional a su carga, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, los modelos escolares se caracterizan por:

1. Ser estructuras mentales productivas que pueden aplicarse a los contextos físicos específicos con el fin de obtener unos resultados puntuales.
2. Se asocian con uno y solamente un dominio conceptual físico, aclarando que varios dominios conceptuales pueden tener diferentes conjuntos de modelos.
3. Si se aplica a diferentes casos físicos contextuales relacionados con el mismo dominio conceptual, un modelo es una estructura conceptual estable, lo que conlleva que un modelo es variante ante diferentes contextos relacionados con el mismo dominio conceptual de la física.

#### **2.4.4 Factor de concentración**

El factor de concentración sirve como modelo estadístico cuantitativo que permite determinar la “concentración análisis” que da cuenta de la distribución en las respuestas de un examen de selección múltiple, esto con el objetivo de encontrar los perfiles de los modelos conceptuales de los estudiantes. Sandoval (2009) comenta que en un examen de selección múltiple las respuestas obtenidas se pueden relacionar con la aplicación de uno de sus modelos conceptuales dentro de varios contextos físicos, así mismo, comenta que entre otras cuestiones si los estudiantes tienen algún modelo físico consistente las respuestas deben tender hacia una concentración (repetición) ha-

cia una de las opciones del test y, por ende, representará al modelo en cuestión, también recalca que si los estudiantes no tienen ningún modelo, o tienen una variedad de, sus respuestas estarán distribuidas de maneras diferentes entre todas las opciones de respuesta del test. Bao & Redish (2001) plantean un ejemplo en el que se supone un examen de selección múltiple con única respuesta que cuenta con cinco opciones (de la A a la E), si este examen se aplica a 100 estudiantes es posible encontrar distintas opciones en la distribución de las respuestas mostradas a continuación:

Tabla 2.1. *Opciones en la distribución de respuestas para una pregunta*

<i>Tipo de distribución de respuestas para una pregunta del examen de selección múltiple</i>	<i>Opción de respuesta A</i>	<i>Opción de respuesta B</i>	<i>Opción de respuesta C</i>	<i>Opción de respuesta D</i>	<i>Opción de respuesta E</i>
I	20	20	20	20	20
II	50	10	30	5	5
III	100	0	0	0	0

En la tabla 2.1, el primer caso (I) representa un caso en el que las respuestas a la pregunta se distribuyen de manera equitativa en las cinco opciones de respuesta, de tal manera que se puede asumir que las respuestas fueron diligenciadas al azar, el segundo tipo (II) es un caso común con las realidades educativas en las que las respuestas son más comunes en una opción de respuesta (no necesariamente debe ser la correcta) y las otras opciones tienen también ciertas cantidades, por último, el tipo tres (III) es un caso extremo en el que todos los estudiantes marcan una opción de respuesta (no necesariamente debe ser la correcta) mostrando así 100% en la concentración en una sola opción. Definiendo así al tipo I como el de menor concentración y al tipo III como el de mayor concentración posible.

Al factor que permite determinar la medida de dicha distribución en las respuestas se define como el *Factor de concentración*, que es un factor normalizado cuyos valores pueden estar entre  $[0, 1]$ , donde 0 representa un factor de concentración extremadamente bajo y 1 representa el máximo valor de posibilidad en una respuesta de mayor concentración, sin embargo, si el valor es de 0.5 implica una buena con-

centración debido a que la correspondencia es que alrededor de 60% de los estudiantes seleccionaron una misma opción de respuesta, pero si el valor del factor de concentración oscila entre los 0.2 y 0.5 se relaciona con una situación en la que los estudiantes tienden a dos opciones de respuesta y, finalmente, un valor del factor menor a 0.2 indica una distribución concentrada entre tres o más opciones de respuesta.

Los fundamentos matemáticos para determinar el factor de concentración nacen de definir que en un examen de opción múltiple con única respuesta se tienen varias opciones de respuesta que serán representadas por una variable  $m$  con un total  $N$  de estudiantes que respondieron la prueba. La respuesta a una de las preguntas puede representarse mediante un vector con  $m$  dimensiones ( $m$ -dimensional) definido como  $(k = 1, \dots, N)$  representa a los  $N$  estudiantes, si la opción escogida fue la correspondiente a la  $k$ -ésima opción y en caso contrario. Entonces es posible sumar todas las respuestas de todos los estudiantes para una pregunta dada con este vector de la siguiente forma:

$$\vec{r} = \sum_{k=1}^N \vec{r}_k = (n_1, n_2, \dots, n_m). \quad (2.2)$$

Donde  $r_i$  representa la cantidad de estudiantes que escogieron la opción  $i$ , lo que de entrada permite analizar que la magnitud del vector  $r$  indica información sobre la concentración, por ejemplo un valor de magnitud  $r$  indica una concentración máxima correspondiente al tipo III comentada en la tabla 2.1, mientras que un valor del vector  $r$  indica la mínima concentración correspondiente al tipo I comentada en la tabla 2.2.

Para encontrar la longitud del vector  $r$  se puede definir a  $r_0$  como su valor normalizado.

$$r_0 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (n_i)^2}}{N}. \quad (2.3)$$

Por lo que se define que para encontrar el factor de concentración se puede utilizar la expresión:

$$C = \left( \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \right) \left( r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (2.4)$$

Reemplazando (2.3) en (2.4) se obtiene la expresión matemática para determinar el factor de concentración propuesto por Bao & Redish (2001):

$$C = \left( \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \right) \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (n_i)^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (2.5)$$

Vale la pena resaltar que el hecho de que el examen sea de selección múltiple restringe que el valor de  $m$  sea mínimo 2, así mismo, se puede analizar que de la ecuación anterior surge la restricción que  $N > m$  para que no se indetermina la ecuación.

Al realizar la comparación en las respuestas de los pre y post test, se puede encontrar una variación en los patrones de respuestas que sugiere hacer un análisis del factor de concentración y el *score* (puntajes de cada opción de respuesta). Para hacer dicho análisis se requiere emplear un código de dos niveles para lograr una caracterización del *score* y la concentración, este patrón de respuesta da cuenta de la medida del desempeño académico de los estudiantes y de si ellos tienen ideas previas dominantes antes de abordar cierta temática, así mismo, la variación de dicho patrón de respuesta indica si cambian o evolucionan esas ideas previas y el estado de los estudiantes con el desarrollo de las actividades. La caracterización del *score* y la concentración se puede dar en distintas combinaciones, un primer ejemplo es obtener en las respuestas a una pregunta un *score* bajo, pero una concentración alta que se denotará por medio del tipo LH (Low, Score Bajo-High, Concentración Alta) lo cual indica una fuerte tendencia a un modelo incorrecto del fenómeno analizado, por otro lado, se puede encontrar una caracterización de tipo LL que indica que la mayoría de los estudiantes no tienen un modelo dominante sobre un fenómeno y se podría considerar que las respuestas fueron tomadas al azar, la ventaja de encontrar *scores* de tipo LH en un pre test es que el docente puede identificar los modelos iniciales incorrectos y prepararse para saber cómo orientar el desarrollo de su propuesta académica; al comparar los resultados de los pre y post test en este análisis de la variación en los patrones de respuesta se pueden encontrar variaciones de tipo LH en el pre test a LH en el post test, esto impli-

ca que en el desarrollo de la actividad académica se tienen determinados problemas que llevan a los estudiantes a una dirección incorrecta; otra variación puede ser de tipo LH en el pre test a HH en el post test que indicará que el desarrollo de la actividad académica ha sido exitosa; otra posible variación del patrón puede ser de tipo LH en el pre test a MM en el post test (Medium, Score medio-Medium, Concentración media) que indica que la actividad académica todavía no es exitosa, pero va por buen camino, de acuerdo con los planteamientos de *Bao & Redish (2001)* los diferentes tipos de respuestas se pueden describir conforme a las siguientes categorías de acuerdo a los modelos.

- Un modelo si la mayoría de las respuestas están en una sola opción de respuesta.
- Dos modelos si la mayoría de las respuestas están en dos opciones, generalmente una opción correcta y otra incorrecta.
- Sin modelo si las respuestas están distribuidas en tres o más opciones de respuesta.

Para cuantificar cada uno de los modelos anteriores (Low, Medium, High) es necesario tener un esquema de tres niveles para el *score* y la concentración de acuerdo con los promedios de los porcentajes en las respuestas correctas para cada pregunta, lo cual mostrará la dominancia de la cantidad de modelos conceptuales de esa población.

Tabla 2.2. *Combinación del score y el factor de concentración.*

Estilo	Nivel	Implicaciones <i>score</i> -concentración
Un modelo	HH	Un modelo correcto
	LH	Un dominante modelo incorrecto
Dos modelos	LM	Dos posibles modelos incorrectos
	MM	Dos modelos populares, uno correcto y otro incorrecto
Sin modelo	LL	Situación aleatoria

Del factor de concentración, por ejemplo,  $C = 0$  corresponde a una selección al azar de respuestas,  $C = 1$ , corresponde a que todos los estudiantes seleccionan la misma respuesta. Si  $C = 0.5$  se tiene

concentración alta, ya que más de 60% de los estudiantes ha seleccionado la misma respuesta. Si  $C = 0.2 < 0.5$  indica que la población posee dos modelos de selección y un valor de  $C = < 0.2$  da cuenta de una distribución de por lo menos tres modelos o de tendencia al azar. Mientras que para el *score*  $S$  se tendrá un valor bajo si  $S$  está entre 0 y valores menores a 0,4. Medio si  $S$  está entre 0,4 y valores menores a 0,7 y Alto si  $S$  está entre 0,7 y 1. La información anterior se puede codificar mediante la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Codificación de tres niveles para el score y el factor de concentración.

Score (S)	Factor de concentración (C)	Nivel
<b>0 &lt; 0.4</b>	$0 < 0.2$	Low-Bajo
<b>0.4 &lt; 0.7</b>	$0.2 < 0.5$	Medium-Medio
<b>0.7 - 1</b>	$0.5 - 1$	High-Alto

De acuerdo con *Bao & Redish (2001)*, el patrón de respuestas permite medir el desempeño académico de los estudiantes y determinar si ellos también han superado los errores conceptuales, de modo que la variación en estos patrones de respuesta muestra cómo evoluciona el estado de los estudiantes con el desarrollo de la actividad académica utilizando Clases Demostrativas Interactivas.

Con las respuestas de los estudiantes se obtiene información tanto del *Score* ( $S$ ) y del factor de concentración ( $C$ ) estas respuestas y su variación se pueden representar mediante un gráfico de  $C$  vs  $S$ , en estos gráficos se pueden describir varias regiones, unas permitidas y otras no, de acuerdo con cada uno de los tipos de modelos. Estas combinaciones del *Score* y la concentración solamente pueden coexistir en una determinada región del gráfico  $C$  vs  $S$ , según *Bao & Redish (2001)* esta región tiene unas condiciones de frontera mínima y máxima que se pueden calcular matemáticamente mediante funciones ( $C$  en función de  $S$ ) en su publicación plantean un ejemplo de un análisis para una pregunta de selección múltiple con única respuesta de cinco opciones ( $m = 5$ ), de la cual se tiene la respuesta de 100 estudiantes ( $N = 100$ ), se tienen  $N-S$  respuestas libre para ser distribuidas entre las cuatro opciones de respuesta restantes, la condición de frontera mínima para  $C$  se obtiene cuando las  $N-S$  respuestas están distri-

buidas entre las cuatro respuestas, mientras que la condición de frontera máxima  $C$  se obtiene cuando las  $N-S$  están concentradas en una de las cuatro opciones; las expresiones matemáticas para determinar las curvas mínima y máxima para el ejemplo planteado son:

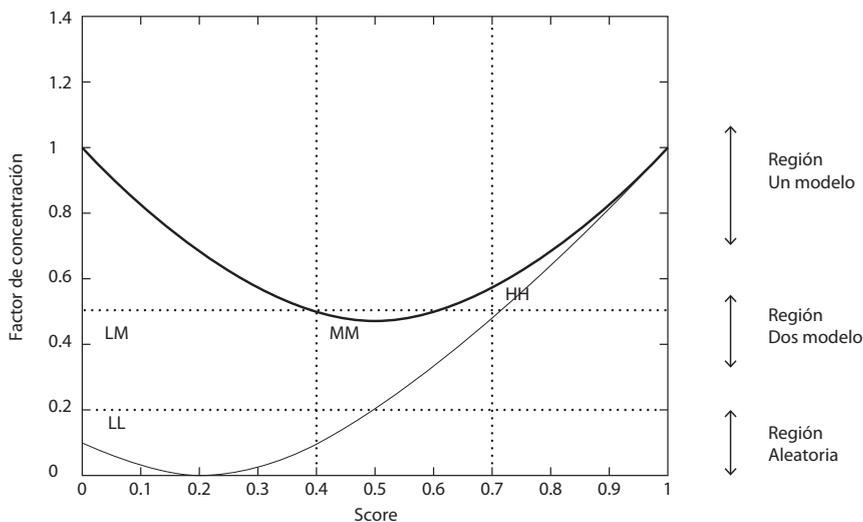
$$C_{min}(S) = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \left( \frac{\sqrt{4\left(\frac{N-S}{4}\right)^2 + S^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right), \quad (2.6)$$

$$C_{max}(S) = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}-1} \left( \frac{\sqrt{(N-S)^2 + S^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{5}} \right). \quad (2.7)$$

Las curvas de frontera se pueden observar en la figura 2.1, en la cual la línea azul representa el límite superior para las concentraciones y la línea roja el límite inferior, y ningún valor para la concentración puede estar fuera de la región permitida, así mismo, se muestran las regiones en las cuales se tienen diferentes situaciones de concentración: LL (sin modelo) MM (dos modelos) y HH un modelo asociados a tres posibles condiciones.

- I. Región aleatoria: Sin modelo dominante.
- II. Región de dos modelos: Con dos modelos populares (con posibilidad de uno correcto y otro incorrecto).
- III. Región de un modelo: Con un modelo dominante (sin ser estrictamente el correcto).

Figura 2.1 Región permitida para el factor de concentración.



De la figura anterior se puede inferir que la región I representa los modelos con menor *Score* y menos Concentración LL (Región Aleatoria) la región II muestra los modelos de *Score* y Concentración Media LM y LM (Región dos modelos) y la región III HH es la ideal para encontrar en los post tests, ya que muestra los *Score* y Concentración altos, lo cual permitiría concluir que la propuesta e intervención en el aula ha sido exitosa y aplicada de manera adecuada.

#### 2.4.5 Factor $\Gamma$ : concentración de las respuestas incorrectas

Por otro lado, está el planteamiento del análisis de la concentración de los errores, que a diferencia del factor de concentración no da cuenta de la estructura general de las respuestas de los estudiantes ni depende absolutamente del *score* de los mismos, sino que se centra en analizar la distribución de las respuestas incorrectas del grupo, para poder determinar si en un grupo existe alguna concentración de errores que permita evidenciar un patrón que lleve a la identificación de concepciones erradas generales, dicho planteamiento se sintetiza en la definición de una variable  $\Gamma$  que demuestra la concentración de las

desviaciones en las respuestas de un test de selección múltiple con única respuesta, esta variable  $\Gamma$  se puede calcular mediante la expresión:

$$\Gamma = \left( \frac{\sqrt{m-1}}{\sqrt{m-1}-1} \right) \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (n_i)^2 - S^2}}{N-S} - \frac{1}{\sqrt{m-1}} \right). \quad (2.8)$$

Donde  $m$  representa el número de opciones en las respuestas de un test,  $N$  la cantidad de estudiantes que resuelven el mismo, y  $S$  la cantidad de estudiantes que aciertan una determinada pregunta, a diferencia de la variable  $S$  utilizada para determinar límites superior e inferior en un gráfico  $C$  vs  $S$  no se obtendrá el *Score*  $S$  como:

$$S = \frac{\# \text{de respuestas correctas}}{N}. \quad (2.9)$$

Sino sólo se tomará  $S$  como el número de respuestas correctas en una pregunta. De esta forma se posibilita generar un gráfico de  $\Gamma$  vs  $S$ , dicha gráfica dará cuenta en el pre test de la incidencia en las respuestas de los estudiantes por parte de los distractores, conocimientos previos y opciones de respuesta que describen un modelo mixto. Asimismo, para el caso de las concentraciones de las respuestas erradas en el post test darán cuenta si éstas continúan, de ser así se deberá a que aun después del trabajo propuesto para cada grupo los estudiantes siguen siendo afectados por estos distractores o sus conocimientos previos continúan arraigados en sus concepciones de los fenómenos.

Es necesario tener en cuenta que para realizar el cálculo de la concentración de errores  $\Gamma$ , sus valores deben tener un rango entre  $[0$  y  $1]$  y según Bao & Redish (2001) es necesario tener en cuenta que cuando un dato de la variable  $\Gamma$  es cercano o igual a 0, la concentración de respuestas incorrectas es muy dispersa y no se podrá identificar un concepto errado general y común en el grupo de estudiantes, mientras que en los casos en la variable  $\Gamma$  tenga un valor cercano o igual a uno 1, la concentración de respuestas incorrectas se encuentra concentrada en una respuesta errónea y se podrá identificar un concepto errado general y común en el grupo de estudiantes.

Un factor de correlación bajo es el reflejo de un cambio conceptual deficiente, un factor de correlación alto significa un cambio conceptual excelente. Existen, además, otras “variables ocultas” que modifican los valores de la ganancia de Hake tales como habilidad matemática, habilidad espacial, razonamiento científico, IQ, motivación, género, grupo cultural de referencia, dominio del lenguaje, repetición, nivel de aspiraciones académicas, participación en actividades extraescolares, horas semanales dedicadas al estudio, horas semanales dedicadas a actividades extraescolares, horas semanales dedicadas a ver la televisión, etc., entre otras que ejercen un fuerte impacto en los resultados obtenidos (Hake, 1998). Se piensa que los efectos de las variables ocultas se pueden encontrar dentro de una parte de las dos desviaciones estándar promedio de las ganancias normalizadas.

#### 2.4.6 Análisis de Rasch

El análisis de Rasch es una poderosa herramienta para obtener información de cada reactivo por cada estudiante, y no sólo un promedio global como lo hace la ganancia de Hake. Para realizar el análisis de un test de selección múltiple existen diferentes formas que corresponden a distintos modelos, uno de ellos es el modelo de la teoría clásica de los tests, el cual puede ser utilizado en la validación local de los tests utilizados mediante el método de correlación de matrices (método de mitades partidas) y el coeficiente alfa de Cronbach que indica la confiabilidad en términos de la consistencia interna para un instrumento de medición (Becerra, 2018, pp. 158-161). Otro modelo utilizado para el análisis de las respuestas de un test es el modelo correspondiente a la teoría de respuesta al ítem, que según Muñiz (1997) fue planteado como un enfoque en la teoría de las pruebas que posibilita superar algunas de las limitaciones de la teoría clásica de los test, ya que este enfoque se centra más en las propiedades individuales de las preguntas de un test que en las propiedades generales del mismo y dos de sus objetivos generales son:

1. Proporcionar mediciones de las variables psicológicas y educativas que no estén en función del instrumento utilizado.
2. Disponer de instrumentos de medida cuyas propiedades no dependan de los objetos medidos, que sean invariantes respecto de las personas evaluadas.

Dentro de estos modelos de la teoría de respuesta al ítem se encuentra el modelo estadístico de Rasch, en el cual se obtienen estimaciones de los parámetros de cada respuesta que no son tan dependientes de la muestra de los grupos, para este caso experimental y de control, el modelo de Rasch, según Tristán (1998) es un modelo que establece la probabilidad de acertar una respuesta de un test por una persona ante un estímulo dado, en términos de la diferencia entre la medida del rasgo de una persona y la medida del estímulo utilizado; se resalta que este modelo es un modelo estocástico (no determinista) en el que la medida del rasgo de la persona y la medida del estímulo aplicado quedan ubicadas en una misma escala lineal con un origen común, sin embargo, Wu *et al.* (2016) comentan que existe un caso dicotómico para el modelo de Rasch, el cual se refiere al caso en el que el estudiante acierta o no una respuesta en un test de selección múltiple con única respuesta, para ello se debe codificar el acierto con un valor de 1 y el desacierto con un valor de 0, en este modelo dicotómico se determina la probabilidad de que un estudiante acierte una respuesta a una pregunta, pero esta probabilidad no está dada al azar, sino que está encadenada a la habilidad o nivel del estudiante en el manejo de dicha pregunta, que puede ser conceptual o procedimental, esta habilidad se representa mediante el símbolo  $\theta$  y se puede obtener mediante la siguiente expresión matemática:

$$\theta = \ln\left(\frac{S}{1-S}\right). \quad (2.10)$$

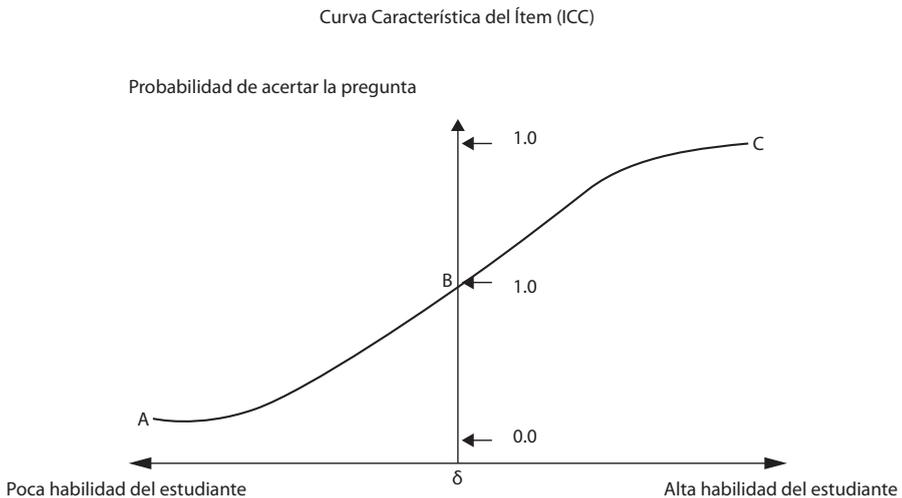
Donde  $S$  representa el *Score* o puntaje general del grupo, el cual ya se determina previamente para los análisis del factor de concentración como el cociente de la cantidad de respuestas acertadas sobre el número total de la población que presentó el test.

La relación mencionada previamente entre la probabilidad y la habilidad se puede caracterizar mediante una curva característica del ítem (ICC); la relación nombrada anteriormente se puede plasmar mediante una función de probabilidad, particularmente para el caso del modelo de Rasch (1980) dicha función para obtener la curva característica de un ítem para el modelo dicotómico es

$$\begin{aligned} P = P(X_{ij} = 1 | \theta_i, \delta_j) &= \frac{\exp(X_{ij}(\theta_i - \delta_j))}{1 + \exp(X_{ij}(\theta_i - \delta_j))} \\ &= \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \delta_j)}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Donde  $X$  es la variable aleatoria que indica los resultados de la pregunta, con  $X = 1$  se tiene una respuesta correcta y con  $X = 0$  se tiene una respuesta incorrecta,  $\theta$  representa el parámetro de la habilidad del estudiante y  $\delta$  en el parámetro de cada pregunta, generalmente se asocia este parámetro a la dificultad de la pregunta, al realizar la gráfica de  $P$  vs.  $\theta$  de acuerdo a la ecuación (2.11) se obtiene una gráfica de la siguiente forma:

Figura 2.2 Gráfica de  $P$  vs.  $\theta$  para el modelo de Rasch (caso dicotómico).



## Capítulo 3. Clases demostrativas interactivas para mecánica clásica

A continuación, mostraremos varias secuencias didácticas de clases demostrativas interactivas para enseñar diversos conceptos básicos de la mecánica clásica, nos enfocamos más al documento que debe tener el estudiante para seguir la estrategia de enseñanza Predicción, Observación, Discusión y Síntesis (PODS); más adelante, en un trabajo más completo incluiremos diferentes configuraciones y recomendaciones para el instructor. Las hojas de predicción, además de ser usadas para registrar su predicción de la actividad propuesta, también pueden ser usadas como hojas de resultados, las cuales pueden ser conservadas por el estudiante (Garduño, 2010).

### 3.1 Caída libre

#### CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 1 Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:**

Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Realiza las tres actividades que te mostrará tu profesor.**

- Antes de realizar cada experimento anota tu predicción de lo que sucederá en cada caso.
- Realiza el experimento y anota tu resultado. Compara tu predicción con tu resultado.
- Comenta con tus compañeros tu resultado y elaboren una conclusión de lo sucedido para cada caso.

**Demostración 1.** Dejar caer dos monedas que sean de diferente peso.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 2.** Dejar caer dos objetos de diferente material y diferente peso (una moneda y una hoja de papel extendida).

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_

Demostración 3. Dejar caer una moneda y una hoja de papel hecha bola.

Tu predicción:

\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_

La predicción del grupo:

\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_

CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 2
Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

Demostración 1: Visualizar el movimiento en caída libre obteniendo una foto estroboscópica del mismo.

(a) ¿Qué nos enseña la foto?

---

---

---

---

(b) ¿Qué significado tiene el que las distancias entre las bolas consecutivas vayan aumentando a medida que transcurre el tiempo de caída?

---

---

---

---

(c) Si se grafica  $s-t$ , ¿esperas que sea una recta o una curva? ¿Por qué?

---

---

---

---

### CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 3

#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

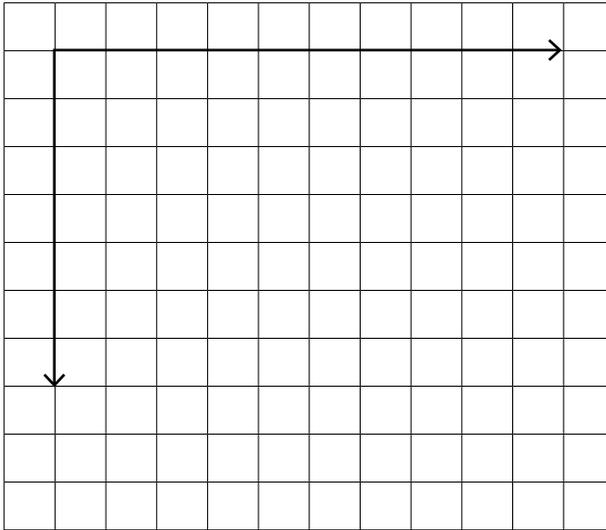
**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Demostración 1:** Realiza cinco mediciones y registra los datos.

Tabla 1

$s$ (m)	$t$ (s)	$k$ ( )	$a = \frac{2(s - v_0 t)}{t^2}$ ( )	$v = v_0 + at$ ( )
------------	------------	------------	------------------------------------	--------------------

A. Grafica desplazamiento contra tiempo (s – t)



Tipo de relación.

\_\_\_\_\_

Modelo matemático.

\_\_\_\_\_

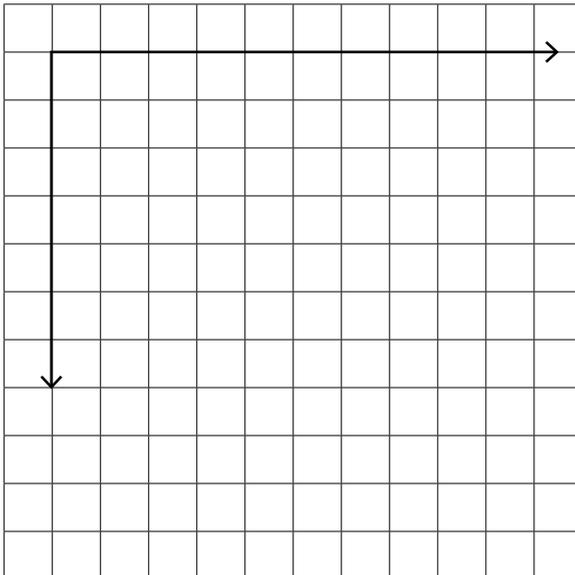
Interpretación.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

B. Ya calculada la velocidad, ahora elabora la gráfica velocidad contra tiempo (v – t).  
Analiza y concluye.



Tipo de relación.

\_\_\_\_\_

Modelo matemático.

\_\_\_\_\_

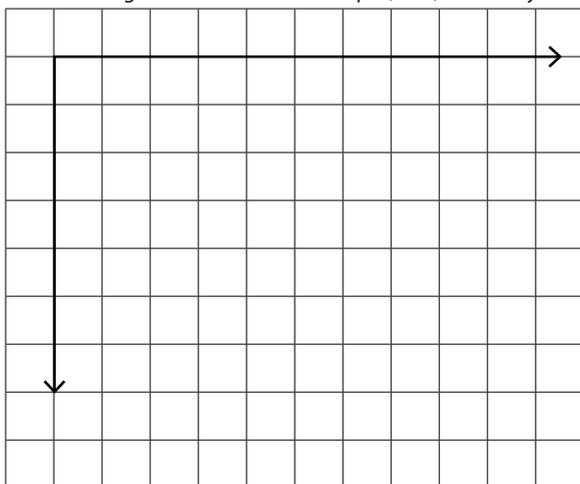
Interpretación.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

C. Realiza la gráfica aceleración-tiempo ( $a - t$ ). Analiza y concluye.



Tipo de relación.

\_\_\_\_\_

Modelo matemático.

\_\_\_\_\_

Interpretación.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Conclusión

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 4

### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

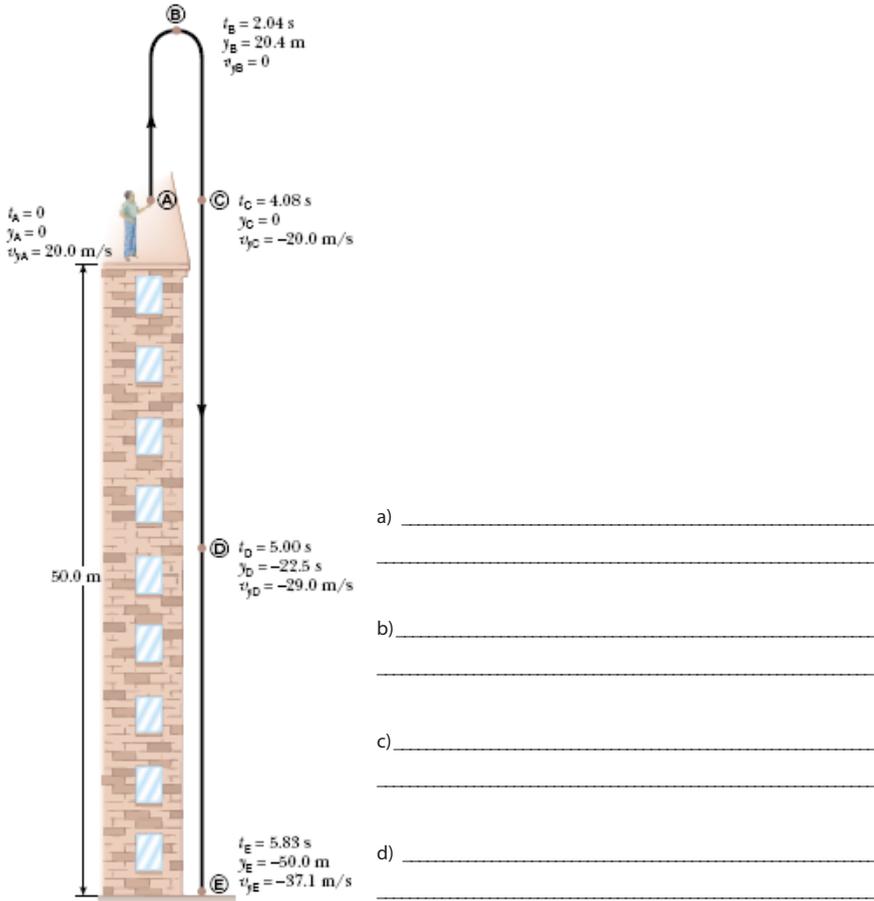
**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Demostración 1:** Una piedra es lanzada desde lo alto de un edificio con una velocidad inicial de 20 m/s verticalmente hacia arriba. El edificio tiene 50 m de alto, al alcanzar su altura máxima, la piedra baja librando el borde del techo en su camino hacia abajo, como se mues-

tra en la figura 3.1. Analiza la figura y determina lo que se te pide explicando en cada caso:

- El tiempo en que la piedra alcanza su altura máxima.
- La altura máxima.
- El tiempo en que la piedra vuelve a la altura de la que fue arrojada.
- La velocidad y la posición de la piedra en un tiempo de cinco segundos.
- La velocidad de la piedra en el instante de chocar con el piso.

Figura 3.1. Tiro vertical de una piedra desde la azotea de un edificio.



## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 5

### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Materiales:** papel, libro y cartón.

**Demostración 1.** El libro y el papel se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 2.** El papel se coloca DEBAJO del libro. Tanto el papel como el libro se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

Tu predicción:

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 3.** El papel se coloca ENCIMA del libro. Tanto el papel como el libro se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 4.** El papel ahora está ARRUGADO en una bola. Como en la demostración 1, el papel arrugado y el libro se sueltan simultáneamente desde la misma altura por separado. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 5.** Esta vez el instructor toma un cartón y arranca un pequeño trozo de un extremo. Como en la demostración 1, el cartón grande (pieza restante) y el pequeño se sueltan simultáneamente desde la misma altura por separado. Predecir lo que sucederá después de su liberación.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA 6

### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Demostración 1.** El libro y el papel se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

---

---

---

---

**Demostración 2.** El papel se coloca DEBAJO del libro. Tanto el papel como el libro se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

---

---

---

---

**Demostración 3.** El papel se coloca ENCIMA del libro. Tanto el papel como el libro se sueltan al mismo tiempo desde la misma altura. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

---

---

---

---

**Demostración 4.** El papel ahora está ARRUGADO en una bola. Como en la demostración 1, el papel arrugado y el libro se sueltan simultáneamente desde la misma altura por separado. Predecir lo que sucederá después de que sean liberados.

---

---

---

---

**Demostración 5.** Esta vez, el instructor toma un cartón y arranca un pequeño trozo de un extremo. Como en la demostración 1, el cartón grande (pieza restante) y el pequeño se sueltan simultáneamente des-

de la misma altura por separado. Predecir lo que sucederá después de su liberación.

---

---

---

---

### **Cuestionario de evaluación de la instrucción recibida con clases demostrativas interactivas**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

El siguiente cuestionario no cuenta para tu calificación, su objetivo es evaluar la implementación de las actividades realizadas y tu opinión acerca de su desarrollo, esto con el propósito de lograr una mejora en la enseñanza de la física, por lo cual te pido tu colaboración contestando de una manera breve, clara y sincera.

Marca con una X la opción de tu respuesta

1. ¿Cuál fue tu grado de satisfacción en la realización de las actividades para el tema de caída libre?

- Bajo  
 Medio  
 Alto  
 Muy alto

2. ¿Cuál de las actividades te gustó más? ¿Y por qué?

---

---

---

---

3. ¿Cómo calificarías tu nivel de comprensión en el tema de movimiento en caída libre que fue desarrollado con la metodología de clases demostrativas interactivas?

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

4. ¿Cómo calificarías tu nivel de comprensión en el tema de movimiento circular uniforme (MCU) desarrollado en una clase teórica?

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

5. Si pudieras hacer una comparación de los temas desarrollados en una clase teórica con el tema de caída libre desarrollado con la metodología de clases demostrativas interactivas, ¿en cuál crees haber obtenido un mejor nivel de comprensión del tema?

- Movimiento en caída libre
- Movimiento circular uniforme

6. ¿Cómo calificarías la frecuencia de tu participación en el desarrollo de las actividades realizadas para el tema movimiento en caída libre?

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

7. ¿Cómo es la interacción con tus compañeros en los temas caída libre y MCU?

<b>Caída Libre</b>	<input type="checkbox"/> Permanente	<b>MCU</b>	<input type="checkbox"/> Permanente
	<input type="checkbox"/> Esporádica		<input type="checkbox"/> Esporádica
	<input type="checkbox"/> Al inicio de sesión		<input type="checkbox"/> Al inicio de sesión
	<input type="checkbox"/> Nula		<input type="checkbox"/> Nula

8. ¿Cómo te gusta que sea el trabajo en tu clase: individual o en equipo? ¿Por qué?

---

---

---

---

9. ¿Cómo se comportaron tus compañeros contigo durante el trabajo en equipo?

---

---

---

---

10. Al realizar las actividades del tema movimiento en caída libre, ¿crees que sea de utilidad escribir las predicciones y tus resultados finales? ¿Por qué?

---

---

---

---

11. De acuerdo a tu experiencia, comparte por lo menos una diferencia entre una clase con la metodología de clases demostrativas interactivas y una clase tradicional.

---

---

---

---

12. Por último, te pedimos que menciones y expliques un fenómeno o suceso de tu vida diaria donde se aplican los conocimientos que aprendiste sobre el movimiento en caída libre.

---



---



---



---

### 3.2 Movimiento de proyectiles

El movimiento de un proyectil se puede descomponer en movimientos horizontales y verticales. Si la resistencia del aire es insignificante, entonces la única fuerza que actúa sobre la partícula es la fuerza gravitacional hacia abajo. Por tanto, la partícula tiene una aceleración constante hacia abajo a lo largo del eje vertical y una velocidad constante a lo largo del eje horizontal.

Las ecuaciones de movimiento están dadas por:

Horizontal:

$v_x = v_0 \sin(\theta_0)$	desplazamiento en cualquier momento $t$ .
$v_x = v_0 \sin(\theta_0)$	velocidad en cualquier momento $t$ .
$a_x = 0$	aceleración en cualquier momento $t$ .

Vertical:

$y = v_0 t \sin(\theta_0)$	desplazamiento en cualquier momento $t$ .
$v_y = v_0 \sin(\theta_0)$	velocidad en cualquier momento $t$ .
$a_y = g = -9.8 \text{ m/s}^2$	aceleración en cualquier momento $t$ .

donde  $v_0$  es la velocidad inicial, y  $\theta_0$  es el ángulo de proyección inicial. Estas ecuaciones se pueden combinar para resolver el alcance  $R$  del proyectil:

$$R = \frac{v_0^2 \sin(2\theta_0)}{g}.$$

En esta secuencia de demostraciones de conferencias, se introducirá a los estudiantes en la resolución del movimiento del proyectil en movimiento vertical y horizontal y la relación entre  $R$ ,  $\theta_0$  y  $v_0$ .

**Materiales:** Carro con varilla de caída y accesorio balístico, seguimiento del carro, lanzacohetes, electroimán y Objetivo de metal.

**Demostración 1:** Una bola es sostenida por un electroimán en una barra de caída. Permita que los estudiantes predigan dónde cae la pelota si se deja caer mientras el carro se mueve con velocidad constante.

**Resultado esperado:** La pelota aterriza en el carro.

**Demostración 2:** Una bola es sostenida por un electroimán en una barra de caída. Permita que los estudiantes predigan dónde cae la pelota si se deja caer mientras el carro se mueve con aceleración constante.

**Resultado esperado:** La pelota aterriza detrás del carro.

**Demostración 3:** El accesorio balístico proyecta la bola directamente hacia arriba mientras el carro se mueve a velocidad constante. Deje que los estudiantes predigan dónde caerá la pelota.

**Resultado esperado:** La pelota aterriza en el carro.

**Demostración 4:** El accesorio balístico proyecta la pelota directamente hacia arriba mientras el carro acelera. Deje que los estudiantes predigan dónde caerá la pelota.

**Resultado esperado:** La pelota aterriza detrás del carro.

**Demostración 5:** El accesorio balístico proyecta la pelota directamente hacia arriba mientras el carro se ralentiza. Deje que los estudiantes predigan dónde caerá la pelota.

**Resultado esperado:** La pelota aterriza frente al carro.

**Demostración 6:** El lanzador de proyectiles se coloca horizontalmente y apunta directamente a un objetivo. En el momento en que la bola sale del lanzador, ésta cae verticalmente hacia abajo desde el reposo. Deje que los estudiantes predigan si la pelota pasará sobre el objetivo, lo golpeará o pasará por debajo de él.

**Resultado esperado:** la bola golpea el objetivo.

**Demostración 7:** El lanzador de proyectiles se coloca en un cierto ángulo y apunta directamente a un objetivo. En el momento en que la bola sale del lanzador, ésta cae verticalmente hacia abajo desde el reposo. Permita que los estudiantes predigan si la pelota pasará por encima del objetivo, lo golpeará o pasará por debajo de él.

**Resultado esperado:** La pelota golpea el objetivo.

**Demostración 8:** Para una velocidad inicial de proyección dada, deje que los estudiantes predigan en qué ángulo resultará el rango más grande.

**Resultado esperado:** Si la pelota aterriza al mismo nivel que si fue proyectada, entonces el alcance máximo se alcanza en un ángulo de  $45^\circ$ .

**Demostración 9:** Para una velocidad inicial de proyección dada, deje que los estudiantes predigan a cuáles dos valores de los ángulos de proyección resultarán en el mismo rango.

**Resultado esperado:** Si la bola aterriza al mismo nivel en el que fue proyectada, entonces el mismo rango resultará para ángulos de proyección complementarios, por ejemplo,  $60^\circ$  y  $30^\circ$ .

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Movimiento de proyectiles

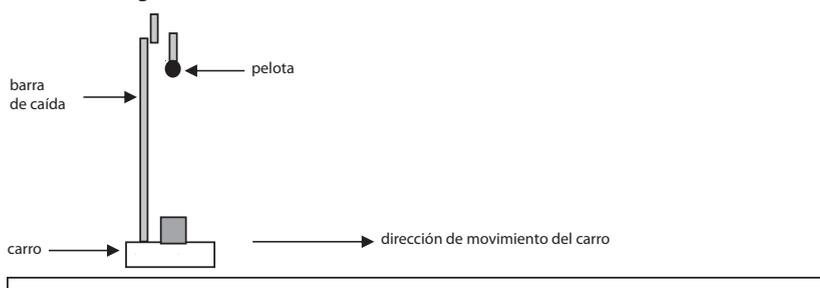
#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

Figura 3.2. Caída libre de una bola en un carro en movimiento.



**Demostración 1:** Una bola es sostenida por un electroimán en una barra de caída, como se muestra en la Figura 3.2. Predecir dónde aterrizará la bola si cae de la barra mientras el carro se mueve con velocidad constante.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

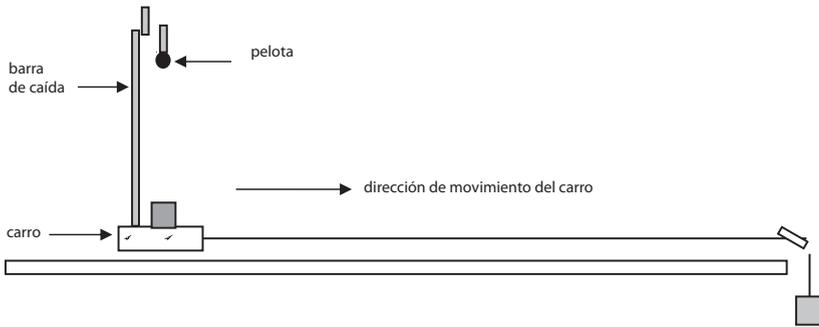
---

---

---

**Demostración 2:** Una bola es sostenida por un electroimán en una barra de caída. Prediga dónde aterrizará la pelota si cae de la varilla mientras el carro se mueve con aceleración constante.

Figura 3.3. *Caída libre de una bola en un carro en movimiento con aceleración constante.*



Tu predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



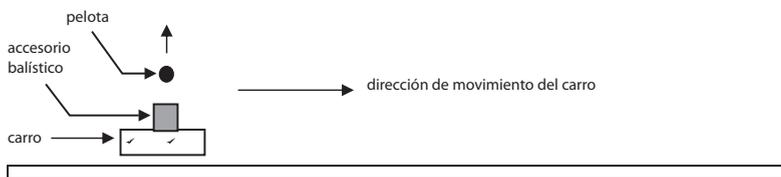
---



---

**Demostración 3:** La bola se proyecta directamente hacia arriba desde el accesorio balístico mientras el carro se mueve a velocidad constante, ver la Fig.3.4. Prediga dónde aterrizará la pelota.

Figura 3.4. *Lanzamiento vertical de una bola en un carro en movimiento.*



Tu predicción:

---



---

La predicción del grupo:

---

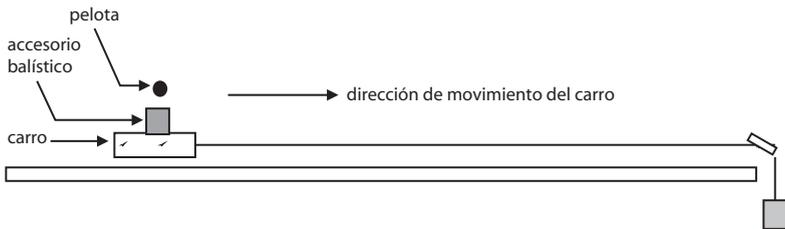
---

---

---

**Demostración 4:** El accesorio balístico proyecta la pelota directamente hacia arriba mientras el carro acelera, tal como se muestra en la Fig. 3.5. Prediga dónde aterrizará la pelota.

Figura 3.5. Lanzamiento vertical de una bola en un carro en movimiento con aceleración constante.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

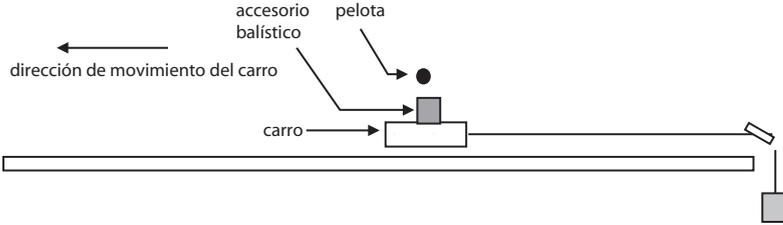
---

---

---

**Demostración 5:** El accesorio balístico proyecta la pelota directamente hacia arriba mientras el carro frena. Prediga dónde aterrizará la pelota.

Figura 3.6. Lanzamiento vertical de una bola en un carro en movimiento mientras va frenando.



Tu predicción:

---

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

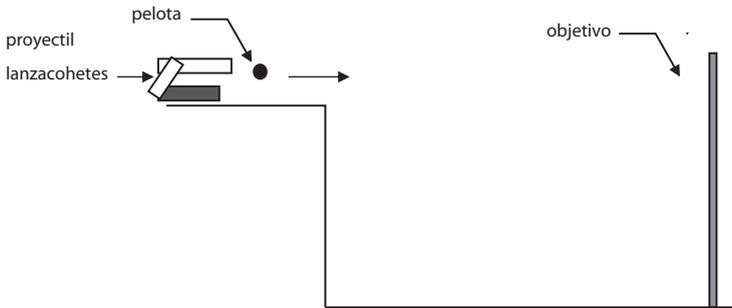
---

---

---

**Demostración 6:** El lanzador de proyectiles se coloca en una posición horizontal y apunta directamente a un objetivo. En el momento en que la bola sale del lanzador, ésta cae verticalmente hacia abajo desde el reposo tal como se muestra en la Fig. 3.7. Prediga si la pelota pasará por encima del objetivo, lo golpeará o pasará por debajo de él.

Figura 3.7. Lanzamiento horizontal de una bola.



Tu predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---

**Demostración 7:** El lanzador de proyectiles se coloca en un cierto ángulo y apunta directamente a un objetivo como se muestra en la Fig. 3.8. En el momento en que la bola sale del lanzador, ésta cae verticalmente hacia abajo desde el reposo. Prediga si la pelota pasará por encima del objetivo, lo golpeará o pasará por debajo de él.

Tu predicción:

---



---



---

La predicción de tu grupo:

---

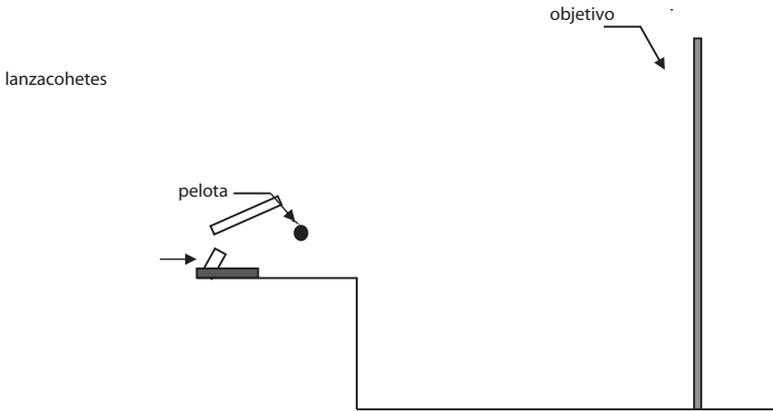
---

---

---

**Demostración 8:** Para una velocidad inicial de proyección dada, prediga en qué ángulo resultará el mayor rango.

Figura 3.8. Lanzamiento vertical de una bola.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 9:** Para una velocidad inicial de proyección dada, prediga cuáles dos ángulos de proyección resultarán en el mismo rango.

Figura 3.9. Lanzamiento vertical de una bola en diferentes ángulos.



Tu predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---

### 3.3 Conservación del momento lineal y colisiones elásticas

La fuerza externa neta  $\Sigma F_{ext}$  que actúa sobre un sistema de partículas es igual a la tasa de cambio de la cantidad de movimiento total del sistema  $p$ :

$$\Sigma \mathbf{F}_{ext} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}.$$

Si  $\Sigma F_{ext} = 0$  entonces  $dp/dt = 0$ . Esto significa que la cantidad de movimiento total del sistema permanece constante en el tiempo o que se conserva la cantidad de movimiento total del sistema. En las colisiones elásticas se conserva tanto el momento total como la energía cinética total del sistema de partículas.

En esta secuencia de experimentos de demostración de conferencias, los estudiantes predecirán el movimiento de un carro y el resultado de diferentes colisiones entre carros utilizando la conservación del momento lineal.

**Materiales:**

- 2 carros de colisión idénticos con ruedas de baja fricción e integradas a imanes para colisiones completamente elásticas.
- Pista para los carros.
- Juego de pesas.
- 2 carros de émbolo idénticos con émbolos incorporados para colisiones.
- 1 barra para acoplar los carros de colisión.

**Demostración 1:** El carro con una carga se mueve a lo largo de la pista a velocidad constante. Permita que los estudiantes predigan lo que le sucede al carro cuando su carga se retira repentinamente.

**Resultado esperado:** El carro se mueve más rápido cuando se retira la carga.

**Demostración 2:** Dos carros de igual masa están inicialmente en reposo sobre la vía. Con sus émbolos completamente bloqueados, los dos carros se colocan uno contra el otro. Deje que los estudiantes predigan las velocidades relativas de los carros cuando se suelta el émbolo.

**Resultado esperado:** Los carros se mueven en direcciones opuestas con velocidades aproximadamente iguales.

**Demostración 3:** Un carro tiene el doble de masa que el otro. Inicialmente están en reposo en medio de la pista. Con sus émbolos completamente bloqueados, los dos carros se colocan uno contra el otro. Deje que los estudiantes predigan las velocidades relativas de los carros cuando se suelta el émbolo.

**Resultado esperado:** Los dos carros se alejarán el uno del otro. El carro menos masivo tendrá el doble de velocidad que el otro.

**Demostración 4:** Uno de los carros de colisión se coloca en un extremo de la pista mientras que el otro se coloca en reposo en medio de la pista. Empuje el carro (al final de la pista) para que haga una colisión elástica con el otro carro. Deje que los estudiantes predigan lo que les pasará a los carros después de la colisión.

**Resultado esperado:** Después de la colisión, el carro que se movía inicialmente se detendrá. El carro que estaba inicialmente en reposo se moverá aproximadamente a la misma velocidad que la velocidad inicial del otro carro.

**Demostración 5:** Añada un poco de masa al carro de colisión. Coloque el carro más masivo en un extremo de la pista mientras que el otro carro de colisión se coloca en reposo en medio de la pista. Empuje el carro más grande para que haga una colisión elástica con el otro carro. Deje que los estudiantes predigan lo que les pasaría a los carros después de la colisión.

**Resultado esperado:** Ambos carros avanzan. Sin embargo, la velocidad del carro masivo es menor que su velocidad antes de la colisión.

**Demostración 6:** Intercambie la posición de los dos carros. El carro más grande está ahora en medio de la pista e inicialmente en reposo. Empuje el carro menos masivo para que haga una colisión elástica con el carro menos masivo. Deje que los estudiantes predigan lo que le pasará al carro después de la colisión.

**Resultado esperado:** El carro más masivo se mueve hacia adelante mientras que el otro carro se mueve en la dirección opuesta después de la colisión.

**Demostración 7:** Una barra acopla temporalmente los dos carros de colisión. La barra hará que los dos carros se muevan con la misma velocidad. Las pistas están provistas de topes con imanes para colisiones elásticas. Mientras los carros acoplados se mueven con velocidad constante, se retira la barra. Uno de los carros choca con el tope y se mueve en la dirección opuesta. Luego choca con el otro carro. Deje

que los estudiantes predigan lo que les sucede a los carros después de la colisión.

**Resultado esperado:** Los dos carros se detienen después de la colisión.

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Conservación del momento lineal y colisiones elásticas**  
**Hoja de predicción**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:**

Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Demostración 1:** El carro con una carga se mueve a lo largo de la vía a velocidad constante, ver Fig. 3.10. Prediga lo que le sucede al carro cuando su carga se retira repentinamente.

Figura 3.10. Carro con carga en movimiento horizontal.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---

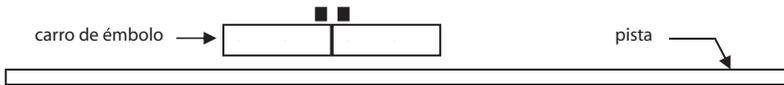
---

---

---

**Demostración 2:** Los dos carros con pistones están inicialmente en reposo sobre la vía. Los émbolos de los carros están completamente bloqueados y los dos carros se colocan uno contra el otro, ver la figura 3.11. Prediga las velocidades relativas del automóvil cuando explota el émbolo.

Figura 3.11. *Dos carros en movimiento horizontal.*



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

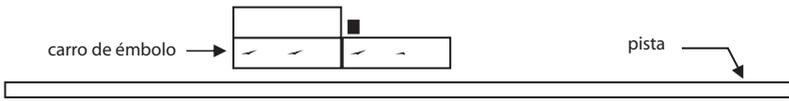
---

---

---

**Demostración 3:** Un carro tiene el doble de masa que el otro. Inicialmente están en reposo en medio de la pista. Con sus émbolos completamente bloqueados, los dos carros se colocan uno contra el otro como se muestra en la figura 3.12. Prediga las velocidades relativas de los carros cuando se suelta el émbolo.

Figura 3.12. Dos carros en movimiento horizontal, siendo uno el doble de la masa.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

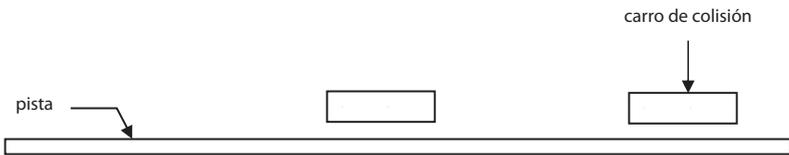
---

---

---

**Demostración 4:** Uno de los carros de colisión se coloca en un extremo de la pista mientras que el otro carro de colisión se coloca en reposo en medio de la pista. El carro al final de la vía se empuja hacia adelante de modo que haga una colisión elástica con el otro carro, ver la Fig. 3.13. Prediga lo que les sucede a los carros después de la colisión.

Figura 3.13. Colisión de dos carros estando uno en movimiento y otro en reposo. Tu predicción:



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

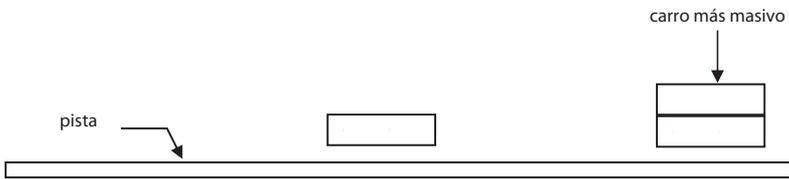
---

---

---

**Demostración 5:** Se agrega algo de masa al carro de colisión. El carro más masivo se coloca en un extremo de la pista, mientras que el otro se coloca en reposo en medio de la pista. El carro más grande se empuja hacia adelante, de modo que haga una colisión elástica con el otro carro, ver la Fig. 3.14. Prediga qué pasaría con los carros después de la colisión.

Figura 3.14. Colisión de dos carros estando el menos masivo uno en movimiento y el más masivo en reposo.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

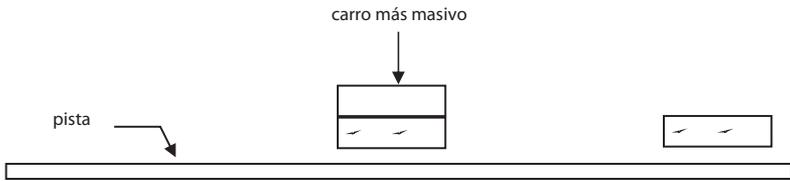
---

---

---

**Demostración 6:** Se intercambia la posición de los dos carros (ver Fig. 3.15). El carro más grande está ahora en medio de la pista e inicialmente en reposo. El carro menos masivo se empuja hacia adelante para que haga una colisión elástica con el carro más masivo. Prediga lo que le ocurrirá al carro menos masivo después de la colisión.

Figura 3.15. Colisión de dos carros estando el más masivo en movimiento y el menos masivo en reposo.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

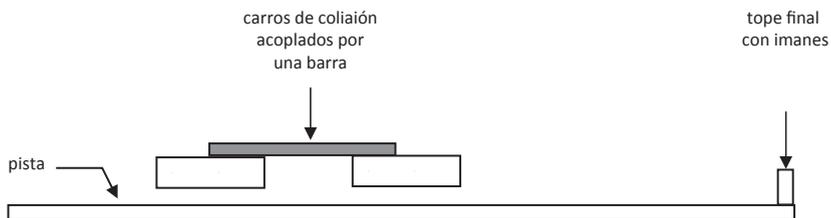
---

---

---

**Demostración 7:** Una barra acopla temporalmente los dos carros de colisión como se muestra en la Fig. 3.16. La barra hará que los dos carros se muevan con la misma velocidad. Las pistas están provistas de toques con imanes para colisiones elásticas. Mientras los carros acoplados se mueven con velocidad constante se retira la barra. Uno de los carros choca con el tope y se mueve en la dirección opuesta. Luego choca con el otro carro. Prediga lo que les sucederá a los carros después de la colisión.

Figura 3.16. Colisión de dos carros que se mueven a velocidades iguales.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---



---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Conservación del momento lineal y colisiones elásticas**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

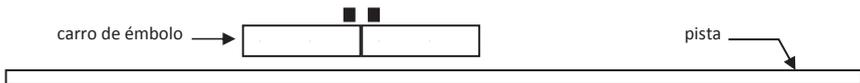
**Demostración 1:** El carro con una carga se mueve a lo largo de la vía a velocidad constante, ver la Fig. 3.17. Prediga lo que le sucede al carro cuando su carga se retira repentinamente.

Figura 3.17. Carro con carga en movimiento.



**Demostración 2:** Los dos carros con pistones están inicialmente en reposo sobre la vía. Los émbolos de los carros están completamente bloqueados y los dos carros se colocan uno contra el otro como se muestra en la figura 3.18. Prediga las velocidades relativas del carro cuando los émbolos se sueltan.

Figura 3.18. Carros de igual masa en reposo. Sus émbolos los pondrán en movimiento al soltarse al mismo tiempo.



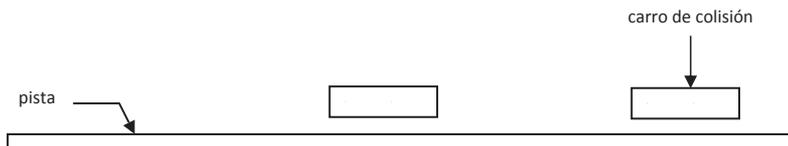
**Demostración 3:** Un carro tiene el doble de masa que el otro. Inicialmente están en reposo en medio de la pista. Con sus émbolos completamente bloqueados, los dos carros se colocan uno contra el otro, Fig. 3.19. Prediga las velocidades relativas de los carros cuando se suelta el émbolo.

Figura 3.19. Carros inicialmente en reposo siendo uno del doble de masa. Se pondrán en movimiento al soltar los émbolos al mismo tiempo.



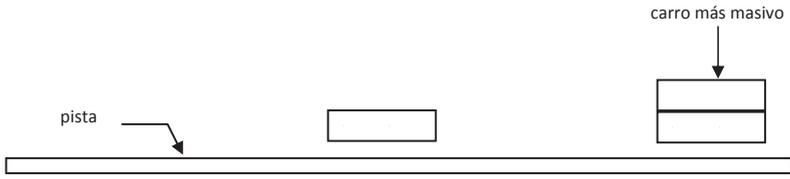
**Demostración 4:** Uno de los carros de colisión se coloca en un extremo de la pista mientras que el otro se coloca en reposo en medio de la pista. El carro al final de la vía se empuja hacia adelante de modo que haga una colisión elástica con el otro carro, ver la Fig. 3.20. Prediga lo que les sucede a los carros después de la colisión.

Figura 3.20. Colisión de dos carros de igual masa estando uno en reposo.



**Demostración 5:** Se agrega algo de masa al carro de colisión, Fig. 3.21. El carro más masivo se coloca en un extremo de la pista, mientras que el otro se coloca en reposo en medio de la pista. El carro más grande se empuja hacia adelante, de modo que haga una colisión elástica con el otro carro. Prediga qué pasaría con los carros después de la colisión.

Figura 3.21. Colisión de dos carros, estando el menos masivo en reposo y el más masivo en movimiento.



---

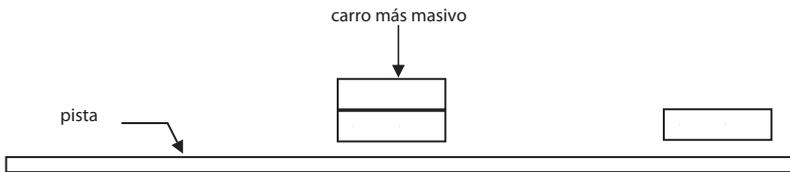
---

---

---

**Demostración 6:** Se intercambia la posición de los dos carros, Fig. 3.22. El carro más grande está ahora en medio de la pista e inicialmente en reposo. El carro menos masivo se empuja hacia adelante para que haga una colisión elástica con el carro menos masivo. Prediga lo que le ocurrirá al carro después de la colisión.

Figura 3.22. Colisión de dos carros, estando el más masivo en reposo y el menos masivo en movimiento.



---

---

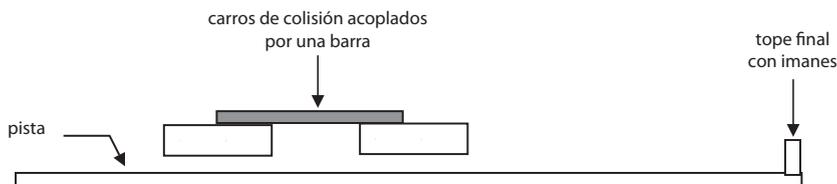
---

---

**Demostración 7:** Una barra acopla temporalmente los dos carros de colisión. La barra hará que los dos carros se muevan con la misma velocidad. Las pistas están provistas de tope con imanes para colisiones elásticas. Mientras los carros acoplados se mueven con velocidad constante, se retira la barra. Uno de los carros choca con el tope y se

mueve en la dirección opuesta. Luego choca con el otro carro tal como se muestra en la figura 3.23. Prediga lo que les sucederá a los carros después de la colisión.

Figura 3.23. Colisión de dos carros con masas iguales en movimiento al rebotar uno de ellos.



### 3.4 Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica

Si uno quiere cambiar el impulso de un sistema, entonces debe aplicar una fuerza externa neta sobre el sistema:

$$\mathbf{F}_{net} = \frac{d\mathbf{p}}{dt},$$

donde  $F_{net}$  es la fuerza externa neta, y  $dp/dt$  es el cambio en el impulso del sistema. Sin embargo, si sólo las fuerzas internas (par de fuerzas de acción-reacción) actúan sobre el sistema, entonces no habrá cambio en el momento total del sistema; es decir, se dice que se conserva el impulso total del sistema. Esto es cierto para el caso de colisiones de partículas. La colisión se considera una colisión elástica si la energía cinética total del sistema también se conserva aparte del momento total. Se dice que la colisión es inelástica si sólo se conserva el impulso total del sistema.

## Materiales

- 2.2 m de pista.
- 2 carros de baja fricción con émbolo.
- Carga para un carro.

**Demostración 1:** Instale la pista de baja fricción de 2.2 m de modo que se apoye en un solo soporte que pase por el centro de masa. Pida a los estudiantes que pongan una marca X en la ubicación aproximada del centro de masa con respecto a la base.

**Resultado Esperado:** El centro de masa está ubicado directamente sobre el punto de apoyo, es decir, está ubicado directamente sobre la base.

**Demostración 2:** Pida a los estudiantes que predigan la ubicación del centro de masa si se coloca un carro en el lado izquierdo de la pista con respecto a la base. ¿Qué pasará con la pista?

**Resultado esperado:** El centro de masa se desplazará hacia el lado izquierdo de la pista con respecto a la base debido a la concentración de una masa mayor en esa área. La pista girará en sentido contrario a las manecillas del reloj debido al par desequilibrado neto debido al peso del carro.

**Demostración 3:** Pida a los estudiantes que predigan qué pasará con la pista si se coloca un carro adicional de aproximadamente la misma masa en el lado derecho de la pista.

**Resultado esperado:** La pista estará “equilibrada”. Colocar el carro adicional en el lado derecho de la pista con respecto a la base crea un par de contraataque de igual magnitud, estableciendo un par neto cero.

**Después de la demostración:** Pregunte a los estudiantes qué pueden decir sobre el impulso total del sistema.

**Demostración 4:** Pida a los estudiantes que predigan qué pasará con la pista cuando se suelte el émbolo de un carro y los dos carros se muevan repentinamente en direcciones opuestas. ¿Qué se puede decir sobre el impulso total del sistema?

**Resultado esperado:** Se conserva el impulso total del sistema. El impulso total antes de la colisión es cero y seguirá siendo cero después de la colisión. Por lo tanto, la pista permanecerá equilibrada.

**Después de la demostración:** Haga al alumno las siguientes preguntas:

Describe las velocidades de los dos carros después de la colisión.

¿Qué dice esto sobre la energía cinética total del sistema antes y después de la colisión?

¿De dónde vino la energía cinética del sistema después de la colisión?

**Demostración 5:** Suponga que se coloca una carga adicional en uno de los carros. Con la pista aún equilibrada, pida a los estudiantes que predigan qué pasaría con la pista cuando los dos carros se muevan en la dirección opuesta.

**Resultado esperado:** La pista permanecerá equilibrada y aún se conserva el impulso total del sistema. Observamos que el carro menos masivo se moverá más rápido que el carro más pesado después de la colisión.

**Después de la demostración:** Haga al alumno las siguientes preguntas:

Describe las velocidades de los dos carros después de la colisión.

¿Qué dice esto sobre la energía cinética total del sistema antes y después de la colisión?

¿De dónde vino la energía cinética del sistema después de la colisión?

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

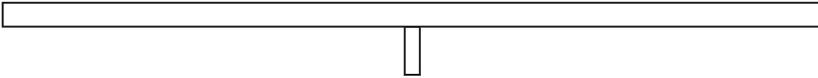
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Esta hoja se recogerá. Escriba su nombre en la parte superior para registrar su presencia y la participación en estas demostraciones. Siga las instrucciones de su instructor. Puede escribir lo que desee en la hoja de resultados adjunta y llevarla con usted.

**Demostración 1:** La pista se muestra en la siguiente figura. Marque con una X la ubicación aproximada del centro de masa de la pista.

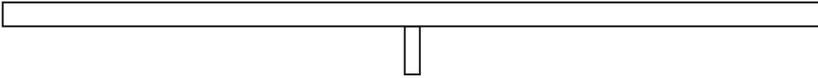
Tu predicción:

Figura 3.24. *Determinación individual del centro de masa de una pista.*



La predicción del grupo:

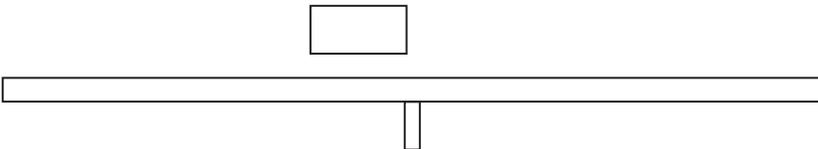
Figura 3.25. *Determinación grupal del centro de masa de una pista.*



**Demostración 2:** Primero. Suponiendo que se coloca un carro en el lado izquierdo de la pista con respecto a la base. Determina la ubicación del centro de masa para este caso colocando una marca X en su ubicación aproximada.

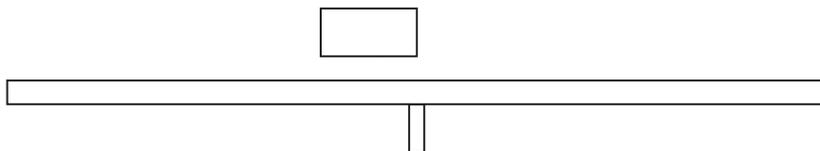
Tu predicción:

Figura 3.26. *Determinación individual del centro de masa de un carro en una pista.*



La predicción del grupo:

Figura 3.27. *Determinación grupal del centro de masa de un carro en una pista.*



Segundo. Prediga lo que sucederá con la pista:

Tu predicción:

---

---

---

La predicción del grupo:

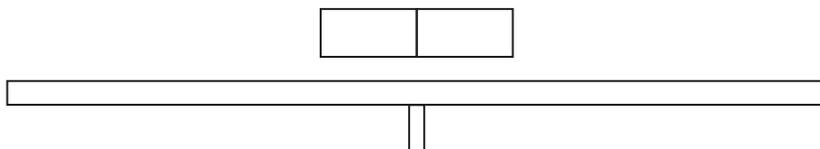
---

---

---

**Demostración 3:** Prediga lo que sucederá con la pista suponiendo que se coloca un carro adicional de aproximadamente la misma masa en el lado derecho de la pista. ¿Por qué?

Figura 3.28. *Determinación del centro de masa de dos carros en una pista.*



Tu predicción:

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 4:** Prediga lo que sucederá con la pista cuando se suelta el émbolo de un carro de manera que los dos carros se muevan en direcciones opuestas. ¿Por qué?

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 5:** Suponiendo que se coloca una carga adicional en uno de los carros. Con la pista aún equilibrada, prediga qué pasará con la pista cuando los dos carros se muevan en la dirección opuesta. ¿Por qué?

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

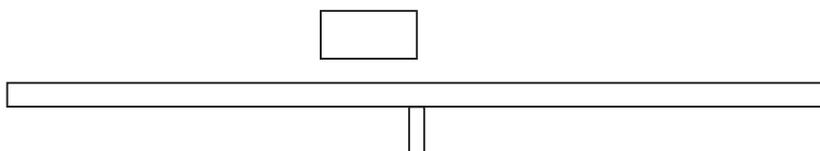
**Demostración 1:** La pista se muestra en la siguiente figura 3.29. Marca con una X la ubicación aproximada del centro de masa de la pista.

Figura 3.29. *Determinación del centro de masa de una pista.*



**Demostración 2.** Suponga que se coloca un carro en el lado izquierdo de la pista con respecto a la base. Determina la ubicación del centro de masa para este caso colocando una marca X en su ubicación aproximada.

Figura 3.30. *Determinación del centro de masa de una pista con un carro.*



Prediga lo que sucederá con la pista:

---

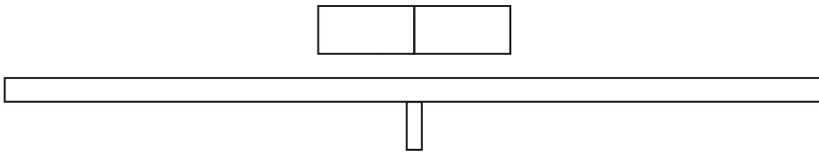
---

---

---

**Demostración 3:** Suponiendo que se coloca un carro adicional de aproximadamente la misma masa en el lado derecho de la pista. Prediga lo que sucederá con la pista. ¿Por qué?

Figura 3.31. *Determinación del centro de masa de una pista con dos carros de misma masa.*



**Demostración 4:** Cuando se suelta el émbolo de un carro de manera que los dos carros se muevan en direcciones opuestas, prediga lo que sucederá con la pista. ¿Por qué?

---

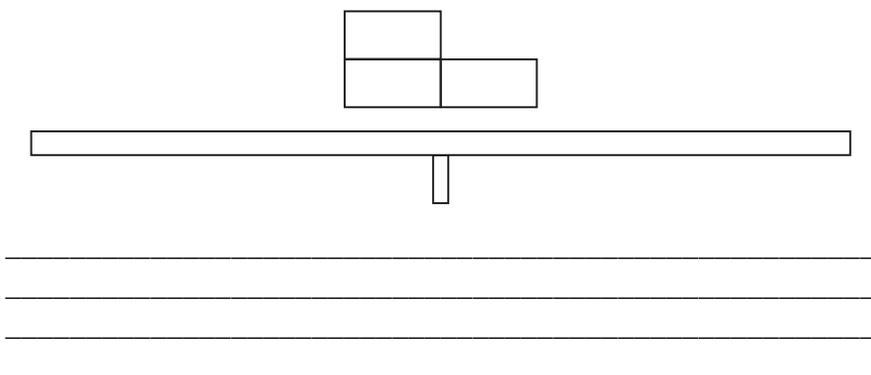
---

---

---

**Demostración 5:** Suponiendo que se coloca una carga adicional en uno de los carros, tal como muestra la Fig. 3.32. Con la pista aún equilibrada, prediga qué pasará con la pista cuando los dos carros se muevan en la dirección opuesta. ¿Por qué?

Figura 3.32. Determinación del centro de masa de una pista con dos carros de diferente masa.



### 3.5 Momento angular

El par neto  $\tau$  aplicado a un objeto es igual a la tasa de cambio del momento angular del objeto:

$$\tau = dL / dt.$$

donde  $L$  es el momento angular del objeto,  $L = I \omega$ ,  $I$  es el momento de inercia del objeto,  $\omega$  es la velocidad angular del objeto.

El momento angular  $L$  es una cantidad vectorial. Si  $\tau$  es paralelo a la dirección de  $L$ , entonces la magnitud de  $L$  cambia en el tiempo. Si no hay cambio en el momento de inercia del objeto, la magnitud de su velocidad angular aumenta o disminuye con el tiempo. Por otro lado, si  $\tau$  es perpendicular a  $L$  entonces la dirección de  $L$  cambia en el tiempo.

En esta secuencia de experimentos de demostración se guiará a los estudiantes para que aprendan la relación entre torque y momento angular.

#### Materiales

- 1 rueda de bicicleta con asas.
- 2 resortes, dinamómetro.

- 1 juego de pesas y un colgador de pesas
- 1 rollo de cuerda.

**Demostración 1:** Coloque una cuerda en cada asa. Cuelgue la rueda en posición vertical. Con la rueda en equilibrio estático, permita que los estudiantes predigan lo que le pasaría a la rueda si se corta una de las cuerdas.

**Resultado esperado:** Como se esperaba, cae.

Después de la demostración, pida a los estudiantes que determinen la dirección del torque debido a la fuerza gravitacional alrededor de un punto donde la cuerda está unida al mango.

**Demostración 2:** Ate la cuerda cortada y cuelgue la rueda nuevamente en posición vertical. Gire la rueda. Permita que los estudiantes predigan lo que le pasaría a la rueda si se corta la cuerda.

**1. Resultado esperado:** La rueda hace precesiones alrededor de la cuerda sin cortar que sostiene la rueda.

Después de la demostración, pida a los estudiantes que expliquen por qué la rueda se detiene.

**Demostración 3:** Se adjunta una cuerda en un punto cerca de la mitad de una de las asas. Se adjunta otra cuerda al final de la otra manija. Los pesos se colocan en la primera manija para que el centro de masa de la rueda se desplace a un punto donde se une la cuerda adyacente. Se gira la rueda. Permita que los estudiantes predigan lo que le pasaría a la rueda si se corta la cuerda ubicada en el otro mango.

**Resultado esperado:** La rueda permanece como está. No precesa.

**Demostración 4:** El peso de la rueda se mide con la balanza de resorte. Permita que los estudiantes predigan la lectura (en cada escala) si la rueda está suspendida con un dinamómetro en cada manija.

**Resultado esperado:** La rueda está en equilibrio estático, por lo que el valor de cada saldo es igual a la mitad del original.

**Demostración 5:** Coloque un dinamómetro en las cuerdas que sostienen la rueda. Suspenda la rueda con una cuerda en cada asa. Gire la rueda. Deje que los estudiantes pronostiquen la lectura en el dinamómetro cuando se corta la otra cuerda.

**Resultado esperado:** La lectura en el dinamómetro, es igual al peso de la rueda.

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica

#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Una rueda de bicicleta está suspendida mediante una cuerda en cada extremo, Fig. 3.33. Prediga lo que le sucede a la rueda cuando se corta una de las cuerdas.

Figura 3.33. Una rueda de bicicleta colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



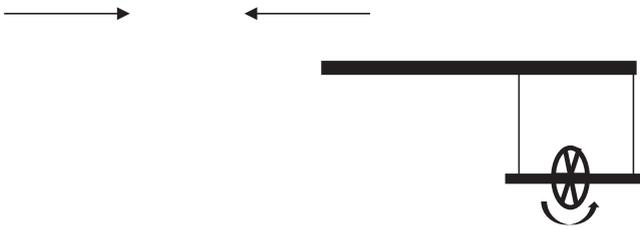
---



---

**Demostración 2:** La rueda se suspende nuevamente como se muestra a continuación. Prediga lo que sucede cuando se corta la cuerda 1 mientras la rueda gira.

Figura 3.34. Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



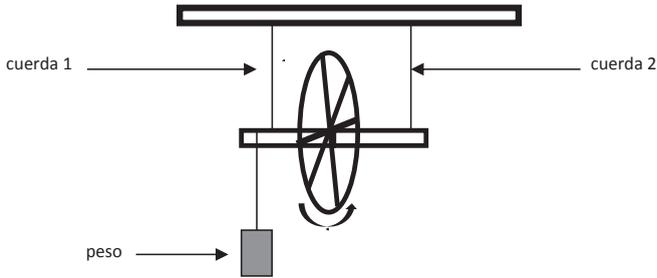
---



---

**Demostración 3:** Se adjunta un peso a una de las asas como muestra la Fig. 3.35. El centro de masa de la rueda de la bicicleta ahora se encuentra a lo largo del punto donde se encuentra la cuerda 1. Prediga lo que sucede cuando se gira la rueda y se corta la cuerda 2.

Figura 3.35. Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje y un peso adicional.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



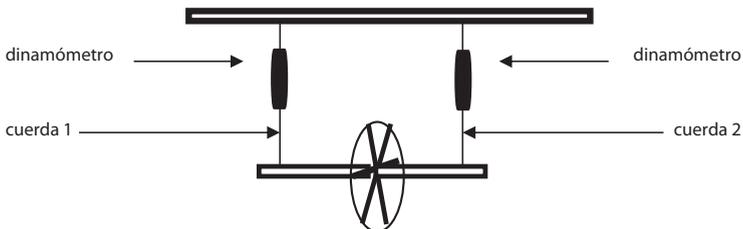
---



---

**Demostración 4:** El peso de la rueda se mide utilizando el dinamómetro. Como se muestra a continuación en la Fig. 3.36, ahora se adjunta un equilibrio de resorte a cada una de las cuerdas de soporte de la rueda. Prediga el valor de la lectura en cada escala.

Figura 3.36. Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje y a dos dinamómetros, así como un peso adicional.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

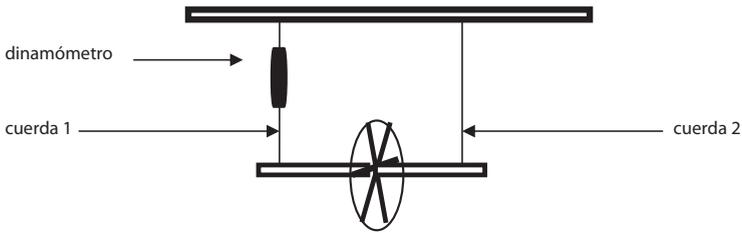
---

---

---

**Demostración 5:** Como se muestra a continuación en la Fig. 3.37, un dinamómetro está sujeto a una de las cuerdas que sostienen la rueda. Prediga la lectura en el dinamómetro cuando se corta la otra cuerda mientras la rueda está girando.

Figura 3.37. Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje y a un dinamómetro.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

---

---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja la puede conservar. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Una rueda de bicicleta está suspendida como se muestra en la siguiente figura 3.37. Prediga lo que le sucede a la rueda cuando se corta una de las cuerdas.

---

---

---

---

**Demostración 2:** La rueda se suspende nuevamente como se muestra a continuación. Prediga lo que sucede cuando se corta la cuerda 1 mientras la rueda gira.

---

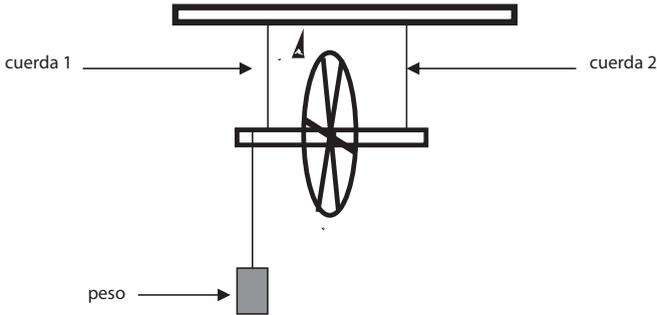
---

---

---

**Demostración 3:** Se adjunta un peso a una de las asas como se muestra en la Fig. 3.38. El centro de masa de la rueda de la bicicleta ahora se encuentra a lo largo del punto donde se encuentra la cuerda 1. Prediga lo que sucede cuando se gira la rueda y se corta la cuerda 2.

Figura 3.38. Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje y un peso adicional.



---

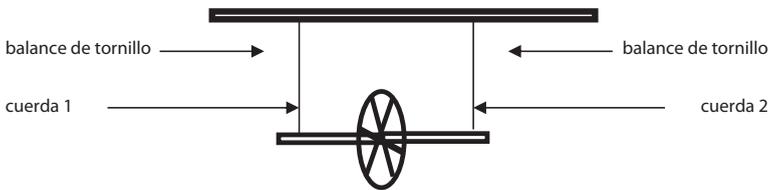
---

---

---

**Demostración 4:** El peso de la rueda se mide utilizando el dinamómetro. Como se muestra en la Fig. 3.39, ahora se adjunta un equilibrio de resorte a cada una de las cuerdas de soporte de la rueda. Prediga el valor de la lectura en cada escala.

Figura 3.39 Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos balances de tornillo unidos a su eje.



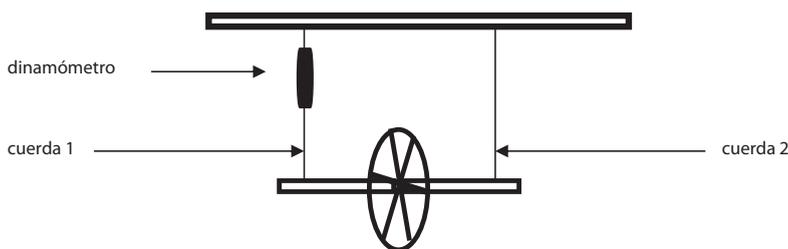
---

---

---

---

Figura 3.40 Una rueda de bicicleta girando colgando mediante dos cuerdas atadas a su eje y a un dinamómetro.



**Demostración 5:** Como se muestra en la Fig. 3.40, un dinamómetro está sujeto a una de las cuerdas que sostienen la rueda. Prediga la lectura en el dinamómetro cuando se corta la otra cuerda mientras la rueda está girando.

---



---



---



---

### 3.6 Conservación del momento angular

El par neto  $\Sigma \Gamma$  aplicado a un objeto es igual a la tasa de cambio del momento angular  $L$  del objeto:

$$\Sigma \Gamma = dL/dt,$$

donde  $L$  es el momento angular del objeto,  $L = I\omega$ ,  $I$  es el momento de inercia del objeto (y es una cantidad diádica),  $\omega$  es la velocidad angular del objeto.

Si  $\Sigma \Gamma = 0$ , entonces  $dL/dt = 0$  y  $L$  permanece constante en el tiempo o se conserva. Para un sistema de partículas, la cantidad de movimiento de las partículas individuales puede cambiar con el tiempo, pero la cantidad de movimiento total del sistema permanecería constante. Para un objeto, un cambio en  $L$  podría significar un cambio

en  $I$  y/o un cambio en  $\omega$ . Un cambio en  $I$  podría compensarse con un cambio en  $\omega$ , de modo que  $L$  permanece constante.

**Materiales:**

- 1 plataforma giratoria.
- 1 rueda de bicicleta con asas.
- 2 mancuernas.
- 1 rueda doble (dos ruedas de bicicleta conectadas con un eje común).

**Experimento de demostración 1:** Una persona se para sobre una plataforma giratoria. Gira mientras sostiene una mancuerna en cada mano con los brazos extendidos. Permita que los estudiantes predigan lo que sucede si la persona baja los brazos.

**Resultado esperado:** La velocidad angular de la persona aumenta.

**Demostración 2:** Una persona sostiene una rueda en posición vertical mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo se gira la rueda. Deje que los estudiantes predigan lo que le sucede a la persona cuando sostiene la rueda giratoria al revés.

**Resultado esperado:** El sentido de giro de la persona es opuesto al sentido de giro de la rueda invertida.

**Demostración 3:** Una persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo, las ruedas giran a velocidades aproximadamente iguales. Permita que los estudiantes predigan lo que le sucede a la persona cuando las ruedas giran en direcciones opuestas y luego se ponen boca abajo.

**Resultado esperado:** La persona permanece como está. La plataforma giratoria no gira.

**Demostración 4:** Una persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo, las ruedas giran a velocidades aproximadamente

te iguales. Luego, deje que los estudiantes predigan lo que le sucede a la persona cuando las ruedas giran en la misma dirección y luego se ponen boca abajo.

**Resultado esperado:** El sentido de giro de la persona es opuesto al sentido de giro de la rueda invertida.

**Demostración 5:** Una persona se para en la plataforma giratoria. Sostiene la rueda de la bicicleta en dirección vertical ligeramente por encima de su cabeza. Permita que los estudiantes predigan lo que sucedería si la persona comienza a girar la rueda.

**Resultado esperado:** La plataforma, junto con la persona, girará en dirección opuesta a la de la rueda.

**Demostración 6:** Una persona se para en la plataforma giratoria. La plataforma se gira lentamente mientras la persona sostiene la barra de hierro larga en posición horizontal. Permita que los estudiantes predigan lo que sucede si la varilla larga se gira a la posición vertical.

**Resultado esperado:** La velocidad de rotación de la persona aumenta.

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Conservación del momento angular

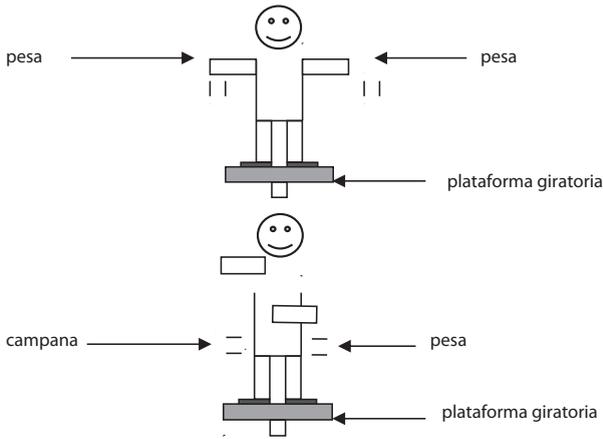
#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Una persona se para sobre una plataforma giratoria. Gira mientras sostiene una mancuerna en cada mano con los brazos extendidos como se muestra en la siguiente figura 3.41. Prediga lo que pasaría si deja caer los brazos a los costados.

Figura 3.41. Persona parada en una plataforma giratoria, para mostrar la conservación del momento angular.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

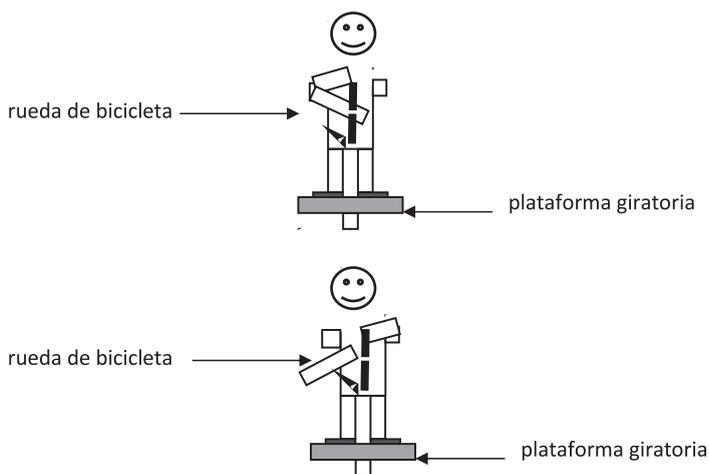
---

---

---

**Experimento de demostración 2:** Una persona sostiene una rueda en posición vertical mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo se gira la rueda. Prediga lo que le sucede a la persona cuando da vuelta la rueda giratoria.

Figura 3.42. Persona parada en una plataforma giratoria, para mostrar la conservación del momento angular usando una rueda de bicicleta.



Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



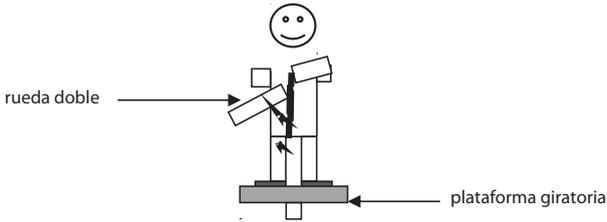
---



---

**Demostración 3:** La persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo, las ruedas giran a velocidades aproximadamente iguales, pero en direcciones opuestas. Prediga qué le sucede a la persona cuando la rueda doble se pone boca abajo.

Figura 3.43. Persona parada en una plataforma giratoria, para mostrar la conservación del momento angular usando una rueda doble de bicicleta.



Tu predicción:

---

---

---

La predicción del grupo:

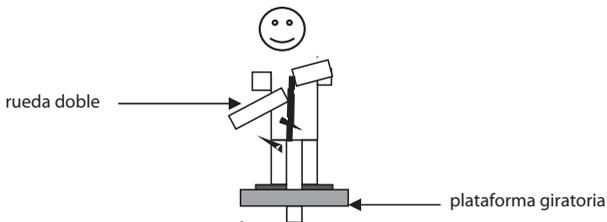
---

---

---

**Demostración 4:** Una persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo las ruedas giran a velocidades aproximadamente iguales en la misma dirección. Prediga lo que le sucede a la persona cuando las ruedas giratorias se ponen boca abajo.

Figura 3.44. Persona parada en una plataforma giratoria, para mostrar la conservación del momento angular usando una rueda doble de bicicleta en diferentes ángulos.



Tu predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



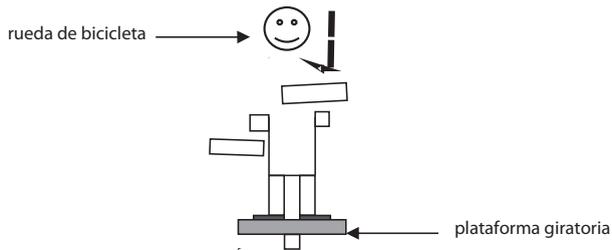
---



---

**Demostración 5:** Una persona se para en la plataforma giratoria estacionaria. Sostiene la rueda de la bicicleta en dirección vertical ligeramente por encima de su cabeza. Prediga lo que pasaría si la persona comienza a girar la rueda.

Figura 3.45. *Persona parada en una plataforma giratoria, para mostrar la conservación del momento angular hace girar una rueda de bicicleta por encima de su cabeza.*



Tu predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

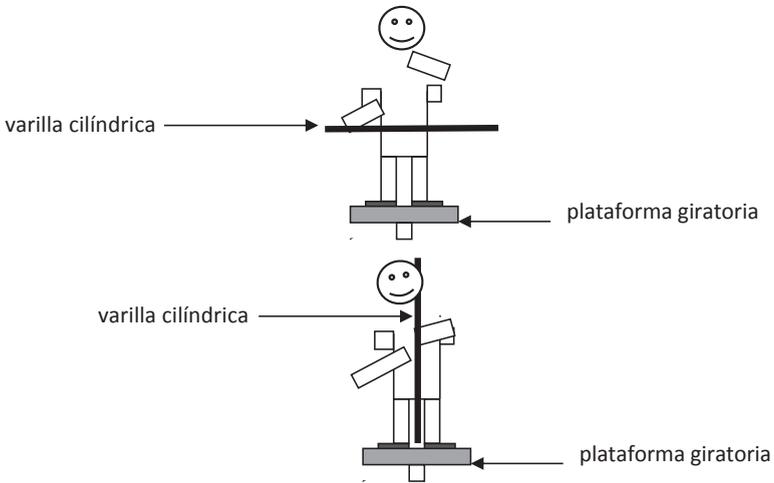
---



---

**Demostración 6:** Una persona se para en la plataforma giratoria. La plataforma se gira lentamente mientras la persona sostiene la varilla cilíndrica de hierro larga en posición horizontal. Prediga lo que sucede si la varilla se gira a la posición vertical.

Figura 3.46. Persona parada en una plataforma giratoria, con una varilla cilíndrica de hierro en posición horizontal y vertical.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica

### Hoja de resultados

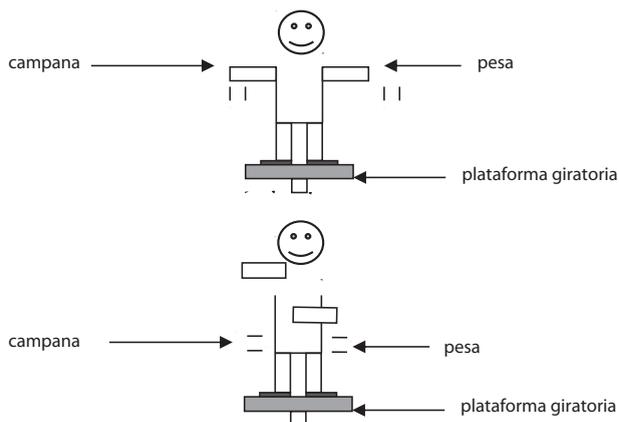
Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja la puede conservar. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Una persona se para sobre una plataforma giratoria. Gira mientras sostiene una mancuerna en cada mano con los brazos extendidos como se muestra en la siguiente figura. Prediga lo que pasaría si deja caer los brazos a los costados.

Figura 3.47. Persona parada en una plataforma giratoria, con una varilla cilíndrica de hierro en posición horizontal y vertical.




---



---



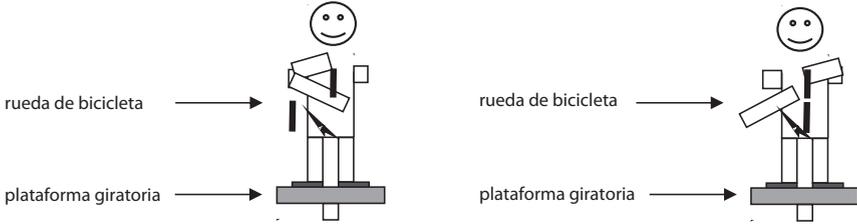
---



---

**Experimento de demostración 2:** Una persona sostiene una rueda en posición vertical mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo se gira la rueda. Prediga lo que le sucede a la persona cuando da vuelta la rueda giratoria.

Figura 3.48. Persona parada en una plataforma giratoria, con una rueda de bicicleta en posición horizontal y en diferentes ángulos.



**Demostración 3:** La persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo, las ruedas giran a velocidades aproximadamente iguales, pero en direcciones opuestas. Prediga qué le sucede a la persona cuando la rueda doble se pone boca abajo.

Figura 3.49. Persona parada en una plataforma giratoria, con una rueda doble de bicicleta girando en direcciones opuestas.

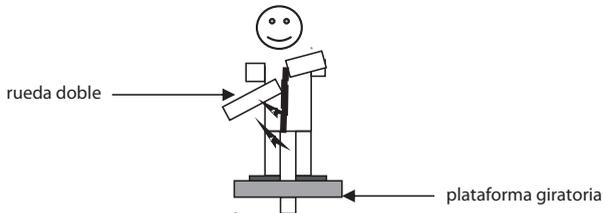
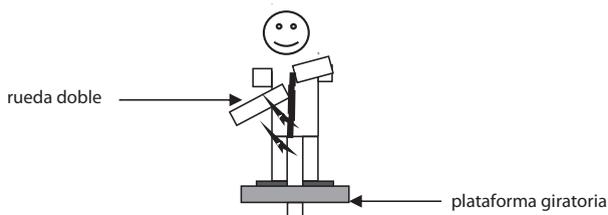


Figura 3.50. *Persona parada en una plataforma giratoria, con una rueda doble de bicicleta girando en la misma dirección.*



**Demostración 4:** Una persona sostiene una rueda doble en el eje común mientras está de pie sobre una plataforma giratoria. Con la plataforma en reposo, las ruedas giran a velocidades aproximadamente iguales en la misma dirección. Prediga lo que le sucede a la persona cuando las ruedas giratorias se ponen boca abajo.

---

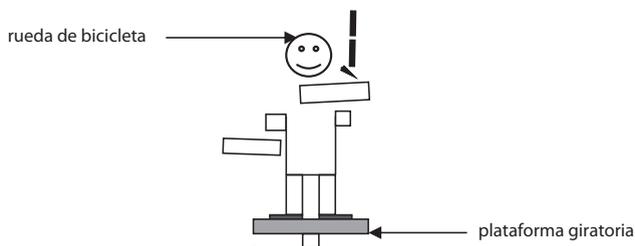
---

---

---

**Demostración 5:** Una persona se para en la plataforma giratoria estacionaria. Sostiene la rueda de la bicicleta en dirección vertical ligeramente por encima de su cabeza. Prediga lo que pasaría si la persona comienza a girar la rueda.

Figura 3.51. *Persona parada en una plataforma con una rueda de bicicleta girando encima de su cabeza.*



---

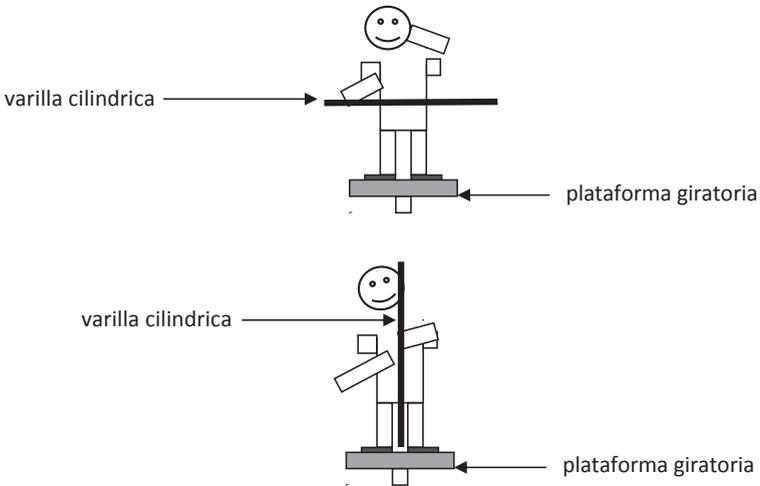
---

---

---

**Demostración 6:** Una persona se para en la plataforma giratoria. La plataforma se gira lentamente mientras la persona sostiene la barra de hierro larga en posición horizontal. Prediga lo que sucede si la varilla larga se gira hacia la posición vertical.

Figura 3.52. Persona parada en una plataforma con una rueda de bicicleta girando encima de su cabeza.



---

---

---

---

### 3.7 Centro de masa, peso y torsión

Hay diferentes formas de determinar el centro de masa de un objeto. Si el objeto es simétrico, el centro de masa está en el centro geométri-

co. También se puede determinar equilibrando el objeto. El centro de masa está a lo largo de la línea del punto de apoyo donde el objeto se balancea. Decimos que el objeto está “equilibrado” cuando no hay un par neto actuando sobre él.

Si, por otro lado, el objeto tiene una forma irregular, el centro de masa se determina suspendiendo el objeto. Si se dibuja una línea vertical desde el punto de apoyo, entonces el centro de masa se encuentra a lo largo de la línea.

Esta demostración se muestra mejor cuando el concepto de esfuerzo de torsión ha sido discutido previamente.

### **Materiales**

- Escoba con mango de madera extendido.
- Sierra para madera (o sierra de mano).
- Báscula de resorte grande para medidas de peso.

**Demostración 1:** Instale la pista de baja fricción de 2.2 m de modo que se apoye en un solo soporte que pase por el centro de masa. Pida a los estudiantes que pongan una marca X en la ubicación aproximada del centro de masa con respecto a la base.

**Resultado esperado:** El centro de masa está ubicado directamente sobre el punto de apoyo, es decir, está ubicado directamente sobre la base.

**Demostración 2:** Pida a los estudiantes que predigan la ubicación del centro de masa si se coloca un carro en el lado izquierdo de la pista con respecto a la base. ¿Qué pasará con la pista?

**Resultado esperado:** El centro de masa se desplazará hacia el lado izquierdo de la pista con respecto a la base debido a la concentración de una masa mayor en esa área. La pista girará en sentido contrario a las manecillas del reloj debido al par desequilibrado neto debido al peso del carro.

**Demostración 3:** Pida a los estudiantes que predigan qué pasará con la pista si se coloca un carro adicional de aproximadamente la misma masa en el lado derecho de la pista.

**Resultado esperado:** La pista estará “equilibrada”. Colocar el carro adicional en el lado derecho de la pista con respecto a la base crea un par de contraataque de igual magnitud, estableciendo un par neto cero.

**Después de la demostración:** Pregunte a los estudiantes qué pueden decir sobre el impulso total del sistema.

**Demostración 4:** Pida a los estudiantes que predigan qué pasará con la pista cuando se suelte el émbolo de un carro y los dos carros se muevan repentinamente en direcciones opuestas. ¿Qué se puede decir sobre el impulso total del sistema?

**Resultado esperado:** Se conserva el impulso total del sistema. El impulso total antes de la colisión es cero y seguirá siendo cero después de la colisión. Por lo tanto, la pista permanecerá equilibrada.

**Después de la demostración:** Haga al alumno las siguientes preguntas:

Describe las velocidades de los dos carros después de la colisión.  
¿Qué dice esto sobre la energía cinética total del sistema antes y después de la colisión?

¿De dónde vino la energía cinética del sistema después de la colisión?

**Demostración 5:** Suponga que se coloca una carga adicional en uno de los carros. Con la pista aún equilibrada, pida a los estudiantes que predigan qué pasaría con la pista cuando los dos carros se muevan en la dirección opuesta.

**Resultado esperado:** La pista permanecerá equilibrada y aún se conserva el impulso total del sistema. Observamos que el carro menos masivo se moverá más rápido que el carro más pesado después de la colisión.

**Después de la demostración:** Haga al alumno las siguientes preguntas:

Describe las velocidades de los dos carros después de la colisión.

¿Qué dice esto sobre la energía cinética total del sistema antes y después de la colisión?

¿De dónde vino la energía cinética del sistema después de la colisión?

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### Conservación del momento angular

#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Dibuja la escoba dentro de la caja y marca con una X la ubicación aproximada del centro de masa.

Tu predicción:

La predicción del grupo:

**Demostración 2:** Si la escoba se corta en dos piezas a través del centro de masa y las dos partes se pesan en una balanza, prediga cuál de las dos piezas es más pesada.

Tu predicción:

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**

**Centro de masa, conservación de momento y energía mecánica**

**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja la puede conservar. Siga las instrucciones del instructor.

**Demostración 1:** Dibuja la escoba dentro de la caja y marca con una X la ubicación aproximada del centro de masa.

**Demostración 2:** Si la escoba se corta en dos piezas a través del centro de masa y las dos partes se pesan en una balanza, prediga cuál de las dos piezas es más pesada.

---

---

---

---

## Capítulo 4. Clases demostrativas interactivas para electromagnetismo

### 4.1 Fuerza magnética en una carga eléctrica en movimiento

La dirección de la fuerza  $F_B$  sobre una carga eléctrica  $+q$  moviéndose a una velocidad  $v$  en un campo magnético  $B$  se puede encontrar con la regla de la mano derecha:

- Mantenga la mano derecha plana. Apunte sus dedos en la dirección del campo magnético  $B$ .
- Oriente el pulgar en la dirección de la velocidad  $v$  de la carga positiva  $+q$ .
- Luego la palma de la mano derecha apunta en la dirección de la fuerza  $F_B$  sobre la carga eléctrica  $+q$ .
- La dirección de movimiento de una carga negativa  $-q$  es opuesta a la de una carga positiva  $+q$ .

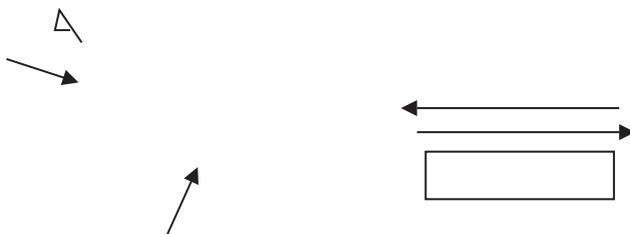
A menudo es útil notar que la línea del campo magnético  $B$  a través de la partícula y el vector de velocidad  $v$  de la partícula determinan un plano. El vector de fuerza  $F_B$  es perpendicular a este plano.

La magnitud de la fuerza magnética  $F_B = |q\mathbf{v} \times \mathbf{B}| = qvB \sin(\theta)$ , donde  $q$  es la magnitud de la carga en culombios,  $v$  es la magnitud de la velocidad de la carga en metros por segundo,  $B$  es la intensidad del campo magnético en teslas y  $\theta$  es el ángulo entre las líneas del campo magnético y la velocidad  $v$ .

## Materiales

- Tubo de rayos catódicos (TRC) conectado al osciloscopio.
- 1 barra magnética.

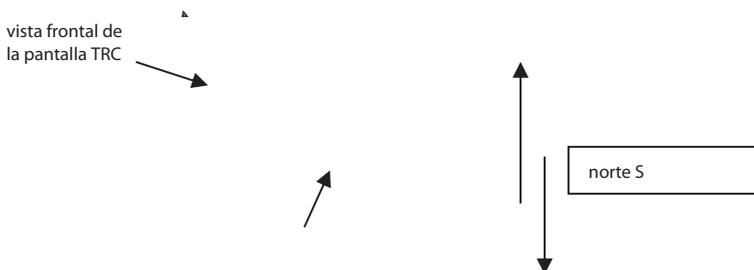
Figura 4.1. Una barra magnética interactuando con un haz de electrones de un tubo de rayos catódicos.



**Demostración 1:** Coloque el polo norte de la barra magnética en el haz de electrones del TRC como se muestra en la Fig. 4.1. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve horizontalmente.

**Resultado esperado:** El haz de electrones se mueve verticalmente.

Figura 4.2. Configuración para demostración número 2.



**Demostración 2:** Coloque el polo norte de la barra magnética cerca del haz de electrones del TRC como se muestra en la figura 4. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve verticalmente.

**Resultado esperado:** El haz de electrones se mueve horizontalmente.

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Conservación del momento angular**  
**Hoja de predicción**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Indicaciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones del instructor.

Figura 4.3. Configuración para demostración número 1.

vista frontal de la pantalla TRC



**Demostración 1:** Coloca el polo norte de la barra magnética en el haz de electrones del TRC como se muestra arriba. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve horizontalmente.

Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---

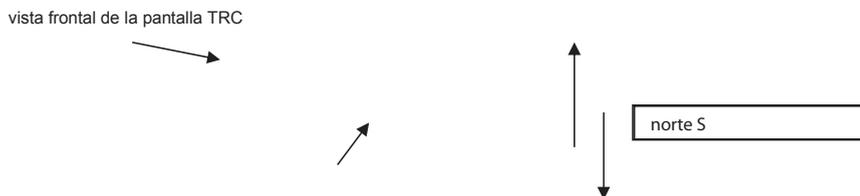


---



---

Figura 4.4. Configuración para demostración número 2.



**Demostración 2:** Coloca el polo norte de la barra magnética cerca del haz de electrones del TRC como se muestra arriba. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve verticalmente.

Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---



---

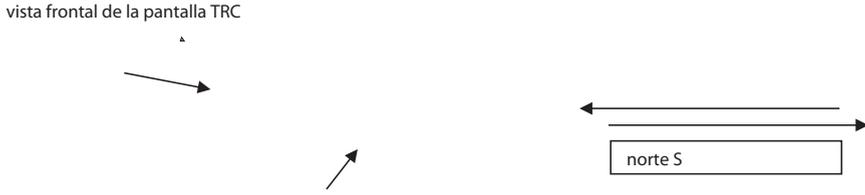
**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**fuerza magnética sobre una carga eléctrica en movimiento**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

Figura 4.5. Configuración para demostración número 1.



**Demostración 1:** Coloca el polo norte de la barra magnética en el haz de electrones del TRC como se muestra arriba. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve horizontalmente.

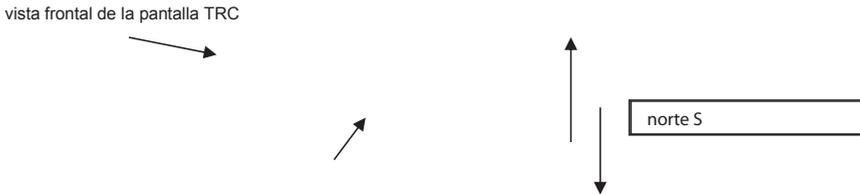
---

---

---

---

Figura 4.6. Configuración para demostración número 2.



**Demostración 2:** Coloca el polo norte de la barra magnética cerca del haz de electrones del TRC como se muestra arriba. Prediga lo que le sucede al haz de electrones cuando el imán se mueve verticalmente.

---

---

---

---

## 4.2 Fuerza sobre una corriente en un campo magnético

Dado que la corriente eléctrica puede modelarse como una corriente de cargas positivas, la corriente experimenta una fuerza debido a un campo magnético. La dirección de la fuerza se encuentra mediante la regla de la mano derecha, con la dirección de la corriente utilizada en lugar del vector de velocidad.

La magnitud  $\Delta F$  de la fuerza en una longitud pequeña  $\Delta L$  de corriente  $I$  que transporta cable viene dado por

$$\Delta F = I(\Delta L)B \sin(\theta), \quad (1)$$

donde  $\theta$  es el ángulo entre la dirección de la corriente  $I$  y la dirección del campo. Para un cable recto de longitud  $L$  en un campo magnético uniforme, esto se convierte en

$$F = ILB \sin(\theta). \quad (2)$$

Observe que la fuerza es 0 si el cable está alineado con las líneas de campo. La fuerza es máxima si las líneas de campo son perpendiculares al cable. De manera análoga al caso de una carga en movimiento, la fuerza es perpendicular al plano definido por el cable y las líneas de campo.

### Materiales

- Fuente de alimentación de baja tensión.
- Amperímetro (capacidad 5 Amp).
- Resistencia variable ( $10 \Omega$  o  $20 \Omega$ , 4 a 6 Amp).
- Imán permanente grande.
- Interruptor de botón.
- Varilla de aluminio suspendida de conectores.

**Demostración 1:** Al presionar el interruptor de botón pulsador  $S$ , se hace fluir una corriente  $i$  a través de una varilla de aluminio que se

coloca dentro del campo magnético de un imán permanente. Prediga lo que le sucede a la varilla justo después de que se cierra el interruptor. **Resultado esperado:** La varilla de aluminio gira hacia el interior del imán permanente.

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor  $S$  está cerrado. Prediga lo que le sucede a la barra.

**Resultado esperado:** La varilla de aluminio se balancea hacia afuera desde el interior del imán permanente.

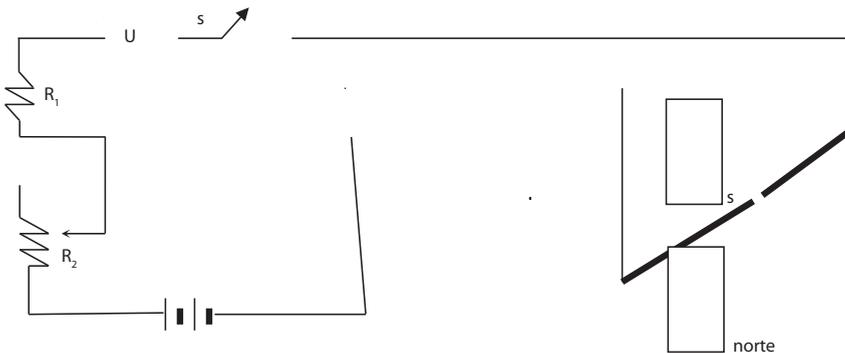
### CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

#### Fuerza sobre una corriente en un campo magnético

#### Hoja de predicción

**Direcciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones de su instructor.

Figura 4.7. Configuración para la demostración.



**Demostración 1:** Al presionar el interruptor de botón pulsador  $S$  se hace fluir una corriente  $i$  a través de una varilla de aluminio que se coloca dentro del campo magnético de un imán permanente. Prediga lo que le sucede a la varilla justo después de que se cierre el interruptor.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor S está cerrado. Prediga lo que le sucede a la barra.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

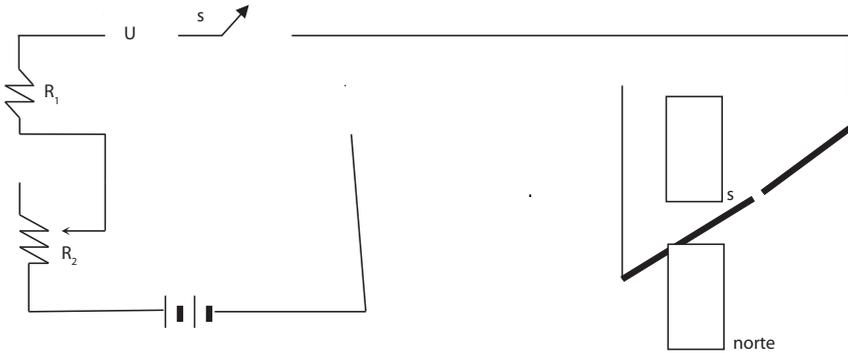
**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Fuerza sobre una corriente en un campo magnético**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

Figura 4.8. Configuración para la demostración.



**Demostración 1:** Al presionar el interruptor de botón pulsador S se hace fluir una corriente  $i$  a través de una varilla de aluminio que se coloca dentro del campo magnético de un imán permanente. Prediga lo que le sucede a la varilla justo después de que se cierre el interruptor.

---

---

---

---

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor S está cerrado. Prediga lo que le sucede a la barra.

---

---

---

---

### 4.3 El circuito RC

Un circuito que contiene una resistencia  $R$  y un capacitor  $C$  se llama circuito  $RC$ . Como en todos los circuitos de  $CC$ , la corriente en un circuito  $RC$  fluye en una sola dirección, pero la magnitud de la corriente varía con el tiempo. Un ejemplo práctico de circuito  $RC$  es el circuito en el accesorio de flash de una cámara. Antes de tomar una fotografía con flash, una batería en el accesorio de flash carga el condensador a través de una resistencia. Cuando esto se logra, el flash está listo. Cuando se toma la fotografía, el condensador se descarga a través de la bombilla del flash. A continuación, la batería recarga el condensador y, poco tiempo después, el flash está listo para otra imagen. Usando las reglas de Kirchhoff podemos obtener ecuaciones para la carga  $Q$  y la corriente  $I$  como funciones del tiempo tanto para la carga como para la descarga de un capacitor a través de una resistencia:

a) carga de un condensador:  $Q(t) = Q_f(1 - e^{-t/\tau})$  donde  $Q$  es la carga en el tiempo  $= t$ ,  $Q_f = C_\epsilon$  es la carga final,  $\tau = RC$  es la constante de tiempo capacitiva;  $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$  donde  $I_0 = \epsilon/R$  es la corriente inicial, y  $\epsilon$  es la diferencia de potencial inicial.

b) descargar un condensador:  $Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}$  donde  $Q$  es la carga en el momento  $= t$ ,  $Q_0$  es la carga en el momento  $= 0$ , y  $\tau = RC$  es la constante de tiempo capacitiva;  $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$  donde  $I$  es la corriente en el tiempo  $= t$ ,  $I_0$  es la corriente en el tiempo  $= 0$ .

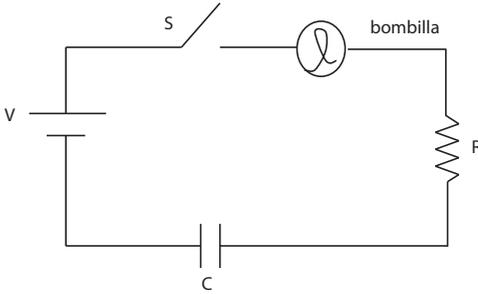
#### Materiales

- Fuente de alimentación de 15 voltios cc.
- Interruptor de bombilla de 1.5 voltios.
- Resistencia de  $15 \Omega$ .
- Capacitor de  $4700 \mu\text{F}$ .
- Cables de conexión.

**Demostración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 15

V, una bombilla de 1,5 V, una carga Q de resistencia y un capacitor de 4700  $\mu\text{F}$  descargado. El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 1.

Figura 4.9. Circuito RC. El condensador está inicialmente descargado.



V = Fuente de alimentación de 15 V  
R = 15  $\Omega$   
C = 4700  $\mu\text{F}$  capacitor

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

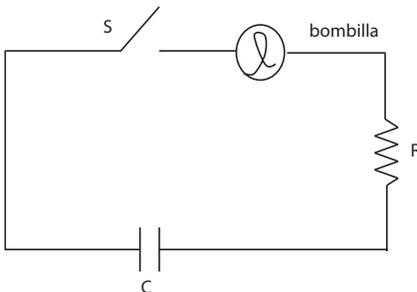
**Resultado esperado:** Al principio, la bombilla es brillante y se vuelve cada vez más tenue hasta que se apaga.

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor S esté cerrado durante mucho tiempo.

**Resultado esperado:** La bombilla ya no brilla.

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: un capacitor de 4700  $\mu\text{F}$  y una bombilla de 1.5 V. El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 2.

Figura 4.10. Circuito RC. El condensador está cargado.



R = resistencia de 15  $\Omega$   
C = capacitor 4700  $\mu\text{F}$

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

**Resultado esperado:** Al principio, la bombilla es brillante y se vuelve cada vez más tenue hasta que se apaga.

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor S esté cerrado durante mucho tiempo.

**Resultado esperado:** La bombilla ya no brilla.

### CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

#### Fuerza sobre una corriente en un campo magnético

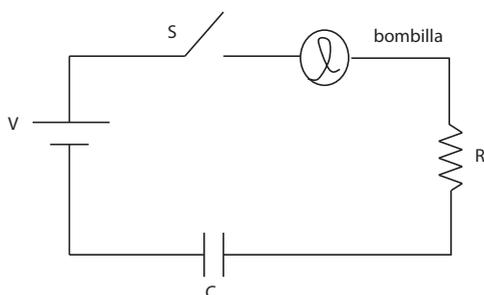
#### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Demostración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 15 V, una bombilla de 1,5 V, una carga Q de resistencia y un capacitor de 4700  $\mu\text{F}$  descargado. El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.11.

Figura 4.11. Circuito RC. El condensador está cargado.



V = Fuente de alimentación de 15 V

R = 15  $\Omega$

C = 4700  $\mu\text{F}$  capacitor

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor S esté cerrado durante mucho tiempo.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

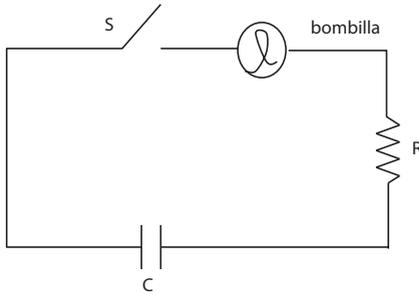
---

---

---

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: un condensador de  $4700 \mu\text{F}$  y una bombilla de 1.5 V. El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 2.

Figura 4.12. Circuito RC. El condensador está cargado.



$R =$  resistencia de  $15\Omega$

$C =$  capacitor  $4700\ \mu\text{F}$

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor  $S$ .

Su predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---



---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor  $S$  esté cerrado durante mucho tiempo.

Su predicción:

---



---



---

La predicción del grupo:

---



---



---



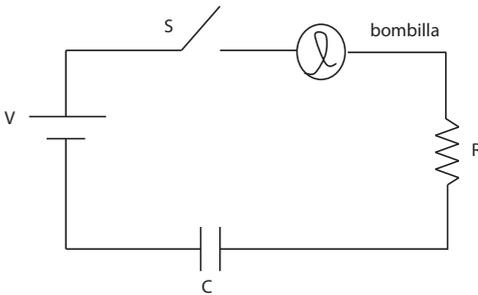
---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**CIRCUITO RC**  
**Hoja de resultados**

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

**Demostración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 15 V, una bombilla de 1.5 V, una carga de resistencia y un condensador descargado 4700  $\mu\text{F}$ . El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.13.

Figura 4.13. Circuito RC. El condensador está inicialmente descargado.



- V = Fuente de alimentación de 15 V
- R = 15  $\Omega$
- C = 4700  $\mu\text{F}$  capacitor

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

---



---



---



---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor  $S$  esté cerrado durante mucho tiempo.

---



---



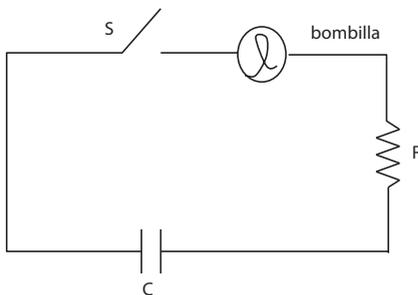
---



---

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: un condensador de  $4700 \mu\text{F}$  y una bombilla de  $1.5 \text{ V}$ . El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.14.

Figura 4.14. Circuito RC. El condensador está cargado.



$R =$  resistencia de  $15\Omega$

$C =$  capacitor  $4700 \mu\text{F}$

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor  $S$ .

---



---



---



---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor  $S$  esté cerrado durante mucho tiempo.

---



---



---



---

## 4.4 Potencia disipada en circuitos en serie y en paralelo

Cuando la corriente puede seguir sólo un camino a medida que fluye a través de dos o más resistencias conectadas en línea, las resistencias están en serie. En una combinación en serie, la corriente a través de cada resistencia es la misma que a través de todas las demás. La caída potencial en la combinación es igual a la suma de las caídas potenciales individuales. Cuando la corriente puede seguir muchos caminos a medida que fluye a través de dos o más resistencias conectadas en línea, las resistencias están en paralelo. En una combinación en paralelo, la caída de potencial en cada resistencia es la misma que la caída de potencial en cada una de las demás.

La potencia eléctrica (medida en watts) que es entregada por una fuente de energía eléctrica, y que va a realizar el trabajo de trasladar a una carga eléctrica  $q$  (medida en coulombs) a través de un aumento de potencial  $V$  (medida en voltios) en un tiempo  $t$  (en segundos), está dada por la siguiente expresión matemática:

$$\text{Energía suministrada} = V \frac{q}{t} = VI, \quad (1)$$

donde  $I$  está medida en amperios.

La pérdida de potencia en un resistor se encuentra reemplazando  $V$  en  $VI$  por  $IR$ , o reemplazando  $I$  en  $VI$  por  $V/I$ , para obtener la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de potencia en la resistencia} &= VI = \\ &= I^2 R = V^2 / R = \text{calor generado en la resistencia} \end{aligned} \quad (2)$$

La resistencia  $R$  de un cable de longitud  $L$  y área de sección transversal  $A$  está dada por la siguiente expresión matemática:

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (3)$$

donde  $\rho$  es una constante llamada *resistividad* y es una característica del material del que está hecho el alambre.

**Materiales**

- 2 bombillas de 100 W.
- 1 fuente de alimentación de 110 V.
- 2 bombillas de 50 W.

**Demostración 1:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en serie y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga cuál de las dos bombillas brilla más justo después de cerrar el interruptor S.

**Resultado esperado:** La bombilla de 50 W se ilumina con más intensidad.

**Demostración 2:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en paralelo y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga cuál de las dos bombillas brilla más justo después de cerrar el interruptor S.

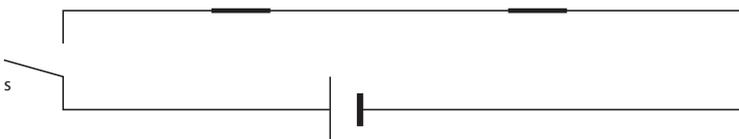
**Resultado esperado:** La bombilla de 100 W se ilumina con más intensidad.

**CLASES DEMOSTRATIVAS INTERACTIVAS**  
**Potencia disipada en circuitos en serie y en paralelo**  
**Hoja de predicción**

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones de su instructor.

**Demostración 1:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en serie y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga qué bombilla se ilumina más justo después de cerrar el interruptor.

Figura 4.15. Configuración para demostración número 1.



Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

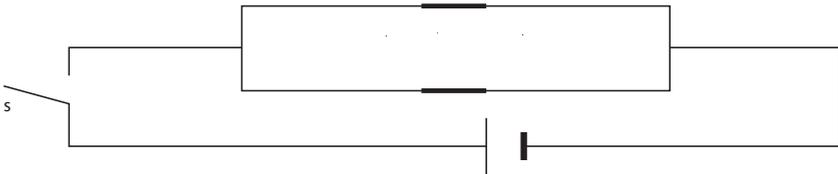
---

---

---

**Demostración 2:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en paralelo y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga qué bombilla se ilumina más justo después de cerrar el interruptor.

Figura 4.16. Configuración para demostración número 2.



Su predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**CLASES DEMOSTRATIVAS INTERACTIVAS**  
**Potencia disipada en circuitos en serie y en paralelo**  
**Hoja de resultados**

Nombre: \_\_\_\_\_  
 Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

**Demostración 1:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en serie y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga qué bombilla se ilumina más justo después de cerrar el interruptor.

Figura 4.17. Configuración para demostración número 1.




---



---



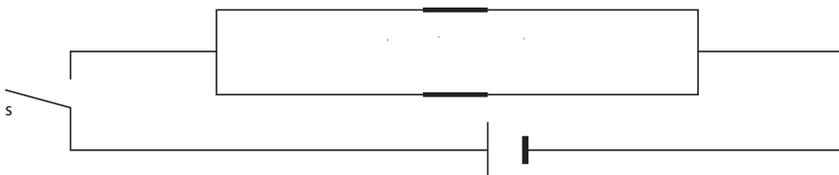
---



---

**Demostración 2:** Una bombilla de 100 W y una bombilla de 50 W están conectadas en paralelo y se aplica un voltaje de 110 V a través de la combinación. Prediga qué bombilla se ilumina más justo después de cerrar el interruptor.

Figura 4.18. Configuración para demostración número 2.



## 4.5 Circuito RL y la ley de Lenz

Un circuito que contiene una resistencia  $R$  y un inductor  $L$  se llama circuito  $RL$ . Dado que todos los circuitos tienen resistencia y autoinducción, el análisis de un circuito  $RL$  se puede aplicar hasta cierto punto a todos los circuitos. Para este circuito, por la ley de Kirchhoff, tenemos que:

$$\varepsilon_0 - IR - L \frac{dI}{dt} = 0. \quad (1)$$

Veamos algunas características generales de la corriente antes de resolver esta ecuación. Justo después de cerrar el interruptor en el circuito la corriente es 0, por lo que  $IR$  es 0, y la *fem* trasera  $LdI/dt$  es igual a la *fem* de la batería,  $\varepsilon_0$ .

Estableciendo  $I = 0$  en la ecuación (1), tenemos que

$$\left( \frac{dI}{dt} \right)_0 = \frac{\varepsilon_0}{L}. \quad (2)$$

A medida que aumenta la corriente,  $IR$  aumenta y  $dI/dt$  disminuye. Hay que tener en cuenta que la corriente no puede saltar de 0 a un valor finito como lo haría si no hubiera inductancia. Cuando hay algo de inductancia ( $L \neq 0$ ),  $dI/dt$  es finito y por tanto la corriente debe ser continua en el tiempo. Después de un corto tiempo, la corriente ha alcanzado un valor positivo  $I$ , y la tasa de cambio de la corriente es

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon_0 - IR}{L}. \quad (3)$$

En este momento, la corriente sigue aumentando, pero su tasa de aumento es menor que en  $t = 0$ . El valor final de la corriente se puede obtener configurando  $dI/dt = 0$ :  $I_f = \varepsilon_0/R$ . La corriente en el circuito

está dada por:  $I(t) = I_f(1 - e^{-t/\tau})$  donde  $\tau = L/R$  es la constante de tiempo inductiva del circuito. Cuanto mayor sea la autoinductancia  $L$  o menor la resistencia  $R$ , más tiempo tardará en acumularse la corriente.

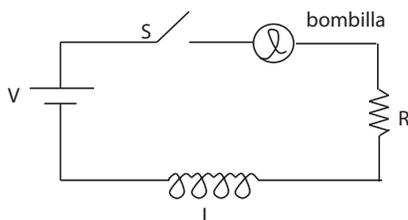
Se puede inducir corriente eléctrica en la materia cambiando los campos magnéticos. Para un solenoide portador de corriente el campo magnético dentro del solenoide viene dado por  $B = \mu_0 nI$  donde  $\mu_0$  es la permeabilidad del espacio libre,  $n =$  número de vueltas por unidad de longitud e  $I =$  la corriente en el solenoide. Si se inserta un material ferromagnético (por ejemplo, una varilla de hierro) en el solenoide, se induce una *fem* en el material, lo que induce corriente. Esta corriente inducida establece un campo magnético dirigido de manera que se oponga a cualquier cambio que lo induzca. Este fenómeno se llama inducción electromagnética y el principio que lo rige se llama ley de Lenz.

### Materiales

- 1 fuente de alimentación de CC de 12 voltios.
- 1 bombilla de 1,5 voltios.
- 1 resistencia de 47 ohmios.
- Solenoide de 4480 vueltas.
- Cables para conexión.

**Demstración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1.5 V, una carga de resistencia de  $47 \Omega$  y un inductor (solenoides de 4480 vueltas). El diagrama de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.17.

Figura 4.19. Representación de un circuito RL.



$V =$  Fuente de alimentación de 12 V

$R = 47 \Omega$  resistor

$L =$  solenoide de 4480 vueltas (inductor)

**Predicción 1:** Prediga lo que le sucede a la bombilla justo después de cerrar el interruptor  $S$ .

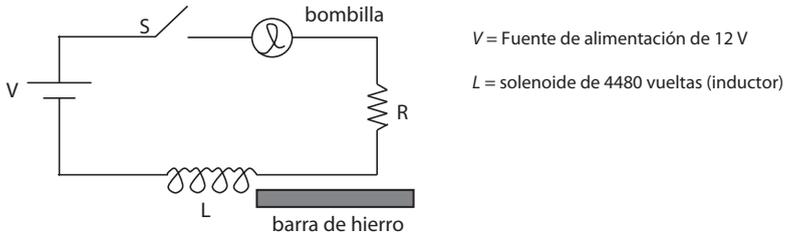
**Resultado esperado:** Al principio la bombilla es tenue y se vuelve más y más brillante hasta que su brillo se nivela.

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor  $S$  esté cerrado durante mucho tiempo.

**Resultado esperado:** La bombilla sigue brillando intensamente.

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1.5 V y un inductor (solenoides de 4480 vueltas). El esquema de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.18.

Figura 4.20. Circuito RL. Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.



$V$  = Fuente de alimentación de 12 V

$L$  = solenoide de 4480 vueltas (inductor)

Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.

**Predicción:** Prediga lo que le sucede a la bombilla cuando la barra de hierro se inserta en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.

**Resultado esperado:** La bombilla parpadea.

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

### El circuito RL y la ley de Lenz

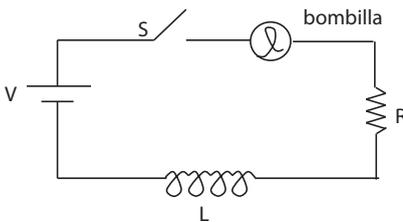
### Hoja de predicción

Nombre: \_\_\_\_\_  
 Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y sección para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones de su instructor.

**Demostración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1.5 V, una carga de resistencia de  $47 \Omega$  y un inductor (solenoides de 4480 vueltas). El diagrama del circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.19.

Figura 4.21. Elementos de un circuito RL.



$V$  = Fuente de alimentación de 12 V

$R$  =  $47 \Omega$  resistor

$L$  = solenoide de 4480 vueltas (inductor)

**Predicción 1:** Prediga lo que le ocurrirá a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

Tu predicción:

---



---



---



---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor S esté cerrado durante mucho tiempo.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

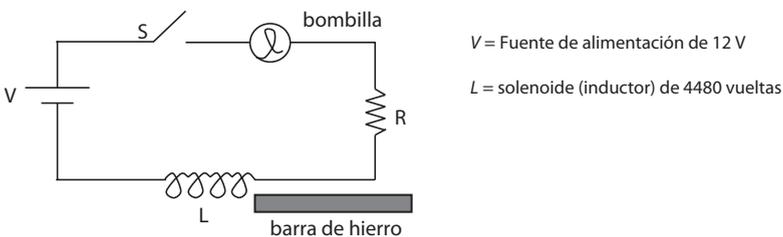
---

---

---

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1.5 V y un inductor (solenoides de 4480 vueltas). El esquema de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.22.

Figura 4.22. Circuito RL. Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.



Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.

**Predicción:** Prediga lo que le sucede a la bombilla cuando se inserta la varilla de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.

Tu predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**El circuito RL y la ley de Lenz**  
**Hoja de resultados**

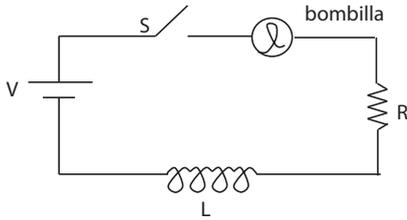
Nombre: \_\_\_\_\_

Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

**Demostración 1:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1,5 V, una carga de resistencia de  $47 \Omega$  y un inductor (solenoide de 4480 vueltas). El diagrama del circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.23.

Figura 4.23. Circuito RL.



V = Fuente de alimentación de 12 V  
 R = 47 Ω resistor  
 L = solenoide de 4480 vueltas (inductor)

**Predicción 1:** Prediga lo que le ocurrirá a la bombilla justo después de cerrar el interruptor S.

---



---



---

**Predicción 2:** Prediga lo que le sucede a la bombilla después de que el interruptor S esté cerrado durante mucho tiempo.

---



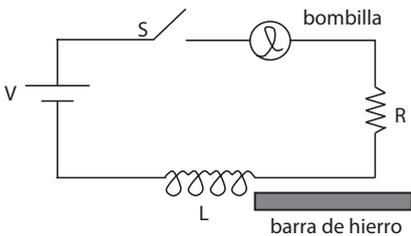
---



---

**Demostración 2:** Se construye un circuito que consta de los siguientes elementos conectados en serie: una fuente de alimentación de 12 V, una bombilla de 1.5 V y un inductor (solenoide de 4480 vueltas). El esquema de circuito que corresponde a esta situación se muestra en la figura 4.24.

Figura 4.24. Circuito RL. Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.



V = Fuente de alimentación de 12 V  
 L = solenoide (inductor) de 4480 vueltas

Se inserta una barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente varias veces.

**Predicción:** Prediga lo que le sucede a la bombilla cuando se inserta la barra de hierro en el solenoide y luego se retira rápidamente.

---

---

---

---

#### 4.6 Torca en una bobina portadora de corriente

La torca  $\tau$  en una bobina de  $N$  lazos, cada uno con una corriente  $I$ , en un campo magnético externo  $B$  viene dado por:  $\tau = NIAB \sin(\theta)$ , donde  $A$  es el área de la bobina, y  $\theta$  es el ángulo más pequeño entre las líneas del campo magnético y un vector unitario perpendicular al plano de la bobina.

Para la dirección de rotación de la bobina, tenemos la siguiente regla de la mano derecha: “Oriente el pulgar perpendicular al plano de la bobina, de modo que los dedos corran en la dirección del flujo de corriente. Entonces la torca actúa para rotar el pulgar en alineación con el campo magnético externo”.

#### Materiales

- 1 interruptor de botón de imán permanente montado.
- 1 amperímetro de fuente de alimentación de baja tensión.
- Bobina con conectores tipo banana.

**Demostración 1:** Al presionar el interruptor  $S$  la corriente fluye a través de una bobina que se coloca dentro del campo magnético de un imán permanente, como se muestra en el diagrama de la figura 4.24. Prediga qué le sucede a la bobina cuando se orienta, como se muestra, y luego se suelta justo después de que el interruptor  $S$  esté cerrado.

**Resultado esperado:** La bobina se retuerce de tal manera que se alinea perpendicularmente al campo magnético externo.

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor *S* está cerrado. Prediga lo que le sucede a la bobina cuando se orienta, como se muestra, y luego se suelta justo después de cerrar el interruptor *S*.

**Resultado esperado:** La bobina se retuerce de tal manera que se alinea perpendicularmente al campo magnético externo, pero opuesta a la dirección de giro, como en la Demostración 1.

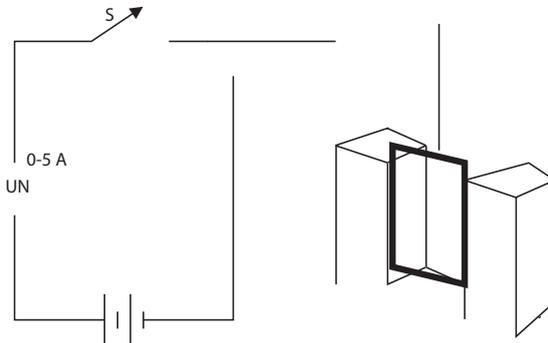
(Después de la demostración: Pregunte a los estudiantes la polaridad de los polos magnéticos)

**CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA**  
**Par en una bobina portadora de corriente**  
**Hoja de predicción**

Nombre: \_\_\_\_\_  
 Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Escriba su nombre y equipo para indicar su presencia en esta clase. Esta hoja será recogida. Siga las instrucciones de su instructor.

Figura 4.25. Configuración para la demostración.



**Demostración 1:** Al presionar el interruptor  $S$  la corriente fluye a través de una bobina que se coloca dentro el campo magnético de un imán permanente, como se muestra en la figura 4.23. Prediga qué le sucede a la bobina cuando está orientada como se muestra y luego es liberada justo después de cerrar el interruptor  $S$ .

Su predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor  $S$  está cerrado. Prediga qué le sucede a la bobina cuando está orientada como se muestra y luego es liberada justo después de que el interruptor  $S$  es cerrado.

Su predicción:

---

---

---

---

La predicción del grupo:

---

---

---

---

## CLASE DEMOSTRATIVA INTERACTIVA

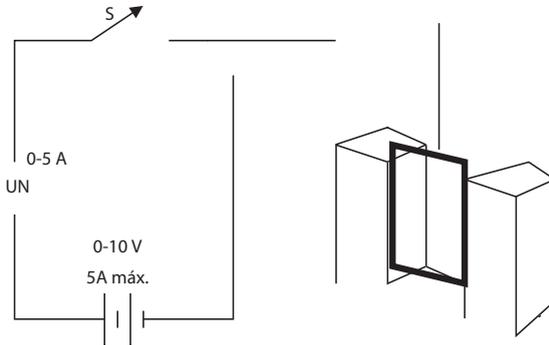
### Torca en una bobina portadora de corriente

#### Hoja de resultados

Nombre: \_\_\_\_\_  
Equipo: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Puede quedarse con esta hoja. Anote el resultado observado de la demostración simple.

Figura 4.26. Configuración para la demostración.



**Demostración 1:** Al presionar el interruptor *S* la corriente fluye a través de una bobina que se coloca dentro el campo magnético de un imán permanente, como se muestra en la figura 4.24. Prediga qué le sucede a la bobina cuando está retorcida y luego cuando se le suelta justo después de que el interruptor *S* esté cerrado.

---

---

---

---

**Demostración 2:** Los conectores de la fuente de alimentación ahora están invertidos y el interruptor *S* está cerrado. Prediga qué le sucede

a la bobina cuando está retorcida y luego de que se le suelta justo después de cerrar el interruptor S.

---

---

---

---



## Referencias

- Aristóteles (2015). *Ética* (Libro II, 1103a.33, p. 44). Madrid: Gredos.
- Bao, L., & Redish, E. (2001). Concentration Analysis: A Quantitative Assessment of Student State. *American Journal of Physics*, 69(7), S45-S53.
- Becerra, D. (2017). *Uso de simulaciones en la enseñanza de conceptos generales de electricidad y magnetismo en estudiantes de ingeniería* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Benítez, Y. (2012). *Una clase demostrativa interactiva para la enseñanza de la caída libre de los cuerpos* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Bonwell, Ch. C., & Eison, J. A. (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom* (Higher Education Report No. 1). Estados Unidos: ASHE-ERIC.
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Breslow, L. (septiembre-octubre de 1999). New Research Points to the Importance of Using Active Learning in the Classroom. *TLL Library*, 13(1). Recuperado de <http://web.mit.edu/tll/tll-library/teach-talk/new-research.html>
- Cazau, P. (2007), *Psicología del aprendizaje*. Buenos Aires: Biblioteca Red Psicología.
- Cummings, K., Marx, J., Thornton, R., & Kuhl, D. (1999). Evaluating Innovation in Studio Physics. *American Journal of Physics*, 67(7), S38.
- Dellwo, D. R. (junio de 2010). Course Assessment Using Multi-Stage Pre/Post Testing and the Components of Normalized Change. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 10(1), 55-67.

- Felder, R. M., Felder, G. N., & Dietz, E. J. (1998). A Longitudinal Study of Engineering Student Performance and Retention. V. Comparisons with Traditionally-Taught Students. *Journal of Engineering Education*, 87(4), 469-480. Recuperado de [https://www.engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1Jq9l3hhrfO2\\_cRA7Pmw-L6mrOv4oY9N/1998-Long5.pdf](https://www.engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1Jq9l3hhrfO2_cRA7Pmw-L6mrOv4oY9N/1998-Long5.pdf)
- Garduño, L. (2010). *Implementación de clases demostrativas interactivas para la enseñanza de caída libre en el bachillerato* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Greca, I., & Moreira, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.
- Hake, R. (1998). Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hake, R. (2007). Six Lessons from the Physics Education Reform Effort. *Latin-American Journal Physics Education*, 1(1), 24-31.
- Hovland, C. I., Lumsdaine, A. A., & Sheffield, F. D. (1949). The Baseline for Measurement of Percentage Change. En *Experiments on mass communication* (pp. 284-292). Nueva Jersey: Universidad de Princeton.
- ICPE, & IUPAP (octubre de 2008). Resolution on the Importance of Active Learning and Hands-on Physics Education. *International Newsletter on Physics Education*, 56.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood, Nueva Jersey: Ablex.
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: "Physics Education Research: The Key to Student Learning". *American Journal of Physics*, 69(11), 1127.
- Maloney D., O'Kuna T. L., Hieggelke C. J. & Heuvelen A. V., (2001). Conceptual Survey in Electricity. *American Journal of Physics, Education Research*, 69, 12-23.
- Mazzolini, Alexander P. (2002). Using Lecture Demonstrations and On-line Discussion Groups to Enhance Learning in a Photonics and Fibre Optics Unit (Conferencia presentada en la VII International Conference on Education and Training in Optics and Photonics). *Proceedings of SPIE*, 4588 (A. Tuan-Kay Lim, & H. Guenther, Eds.).
- Meltzer, D. E. (2002). The Relationship Between Mathematics Preparation and Conceptual Learning Gains in Physics: A Possible "Hidden Variable" in Diagnostic Pretest Scores. *American Journal of Physics*, 70(12), 1259.
- Muñiz, J. (1997). *Introducción a la teoría de respuesta a los ítems*. Madrid: Pirámide.

- Ogborn, J. (2008). A Future for Modelling in Science Education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 6(2), 103-112.
- Rasch, G. (1980). *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*. Universidad de Chicago.
- Redish, E. F. (1999). Millikan Award Lecture (1998): Building a Science of Teaching Physics. *American Journal of Physics*, 67(7), 562-573.
- Redish, E. F. (2003). *A Theoretical Framework for Physics Education Research: Modeling Student Thinking*. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/physics/0411149>.
- Redish, E. F., Scherr, R. E., & Tuminaro, J. (2006). Reverse-Engineering the Solution of a "Simple" Physics Problem: Why Learning Physics Is Harder than It Looks. *The Physics Teacher*, 44(5), 293-300.
- Ross, S. M. (2004). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. : Nueva York: Elsevier Academic.
- Sandoval, M. (2009). *Aprendizaje activo del campo eléctrico en estudiantes de ingeniería* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Seyed, A. (2013). *A Study About How Students Are Able to Analyse Mechanics Situation Using Newton's Laws* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Sokoloff, D. (2006). *Active Learning in Optics and Photonics*. París: UNESCO.
- Sokoloff, D., Thornton R., & Laws, P. (2007). Real Time Physics: Active Learning Labs Transforming the Introductory Laboratory. *European Journal of Physics*, 28(3), 583-594.
- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007). Exploring the Relationship Between Physics-Related Epistemological Beliefs and Physics Understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32(3), 255-281.
- Suskie, L. (2004). *Assessing Student Learning: A Common-Sense Guide*. Nueva York: Jossey-Bass.
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. (1990). Learning Motion Concepts Using Real-Time Microcomputer-Based Laboratory Tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858-867.
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing Students Learning of Newton's Laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-351.
- Tristan López, A. (1998). *Análisis de Rasch para todos*. México: Instituto de Evaluación e Ingeniería Avanzada.
- Vázquez, B., & Rúa, A. (2007). Actividades manipulativas para el aprendizaje de la física. *Revista Iberoamericana de Educación*, 43(7), 1-15.

- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, Massachusetts: Universidad de Harvard.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. Nueva York: The Falmer.
- Wu, M., Tam, H. P, & Jen, T.-H. (2016). *Educational Measurement for Applied Researchers: Theory into Practice*. Singapur: Springer.

## Agradecimientos

Agradecemos muy encarecidamente a los siguientes estudiantes del Programa de Posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional por sus comentarios y aportaciones a este manuscrito: Lilia Garduño Calderón, Yolanda Benítez Trejo, Azita Seyed Fadaei y Diego Fernando Becerra Rodríguez.

Asimismo, agradecemos al Instituto Politécnico Nacional el apoyo otorgado para la publicación de este manuscrito mediante los proyectos de investigación: SIP-20200825 “Pensamiento socio-ecológico expresado en lenguaje matemático: Semiótica y formación de investigadores en física educativa”, y SIP-20200435 “Aplicación de una metodología activa de aprendizaje para la enseñanza de circuitos eléctricos”.

*Aprendizaje activo de la física.*  
*Clases demostrativas interactivas* de César  
Eduardo Mora Ley, Rubén Sánchez-Sánchez  
y Ivan B. Culaba publicado por Ediciones Comuni-  
cación Científica S. A de C.V, se terminó de imprimir en  
diciembre de 2020 en los talleres de Ultradigital Press S.A. de  
C.V. Centeno 195, Col. Valle del Sur, 09819, Ciudad de México. El tiraje  
fue de 500 ejemplares impresos en cultural ahusado de 75 gr.