



**UNIVERSIDAD TECVIRTUAL
ESCUELA DE GRADUADOS EN EDUCACIÓN**

**Instrucción por Modelación: Su viabilidad y resultados de una
implementación en una universidad Mexicana**

Disertación que para obtener el grado de:

Doctor en Innovación Educativa

presenta:

Jorge Eugenio de la Garza Becerra

Asesor titular:
Dr. Hugo Alarcón

Agradecimientos

Agradezco a mi esposa por la comprensión y apoyo durante la realización de este trabajo. A mi asesor por darse el tiempo de apoyarme y retroalimentarme sin importar de la distancia que nos separa. A mis lectores por exigir solo lo mejor de mí. A mis padres por impulsarme a realizar un estudio de posgrado. Al grupo de Investigación del Tecnológico de Monterrey por apoyarme respondiendo mis dudas. Al Dr. Eric Brewe por permitirme la oportunidad de capacitarme en la metodología de Instrucción por Modelación y facilitarme su currículo para la implementación realizada. Y al Dr. Genaro Zavala y al Tecnológico de Monterrey por la oportunidad de realizar este posgrado.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de una implementación de un currículo basado en Instrucción por Modelación en una universidad privada del noreste de México. Este proceso dura aproximadamente dos años. En el primer año, se capacitó en Estados Unidos a un profesor en la universidad donde se creó el currículo a utilizar. Posteriormente, se implementó el currículo en la universidad mexicana durante un semestre en un grupo experimental. Y finalmente se realizó el análisis de los resultados obtenidos por medio de los cuatro instrumentos seleccionados. Un instrumento mide aprendizaje conceptual, otro mide las actitudes de los estudiantes, un tercero mide el razonamiento científico de los estudiantes y el cuarto es el examen final departamental de la institución donde se implementó el currículo.

El grupo experimental constó de 38 alumnos que se inscribieron en el curso sin ningún tipo de selección por parte del investigador. El curso se impartió en un salón centrado en el estudiante, así como también las sesiones equivalentes a los laboratorios que llevan los otros grupos. Los resultados se compararon contra los demás grupos de Física 1 de la institución. En esta se encuentran grupos tradicionales, semi-activos y algunos grupos honores. Con el estudio, se encontró que se mejora el aprendizaje conceptual y las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física, sin que se hayan encontrado cambios negativos en otras variables analizadas. La ganancia encontrada en el test conceptual fue de 0.2597 la cual fue superior incluso a la obtenida en dos de los cuatro grupos honores. Por medio del análisis estadístico Mann-Whitney se encontraron los

grupos comparables al inicio del semestre y al analizar si seguían siendo similares al final de éste se encontró que solamente eran similares en el examen final departamental, lo que implica que se obtuvieron mejores aprendizajes conceptuales, mientras se obtuvieron resultados similares en las pruebas que realiza la institución.

Índice de contenidos

Agradecimientos	ii
Resumen	1
Índice de contenidos	3
Lista de tablas	7
Lista de figuras	8
1. Planteamiento del Problema	9
1.1 Marco contextual.....	10
1.2 Antecedentes del problema	12
1.3 Planteamiento del problema.....	13
1.4 Objetivos de la investigación	17
1.5 Hipótesis	18
1.6 Justificación de la investigación	19
1.7 Limitaciones y delimitaciones.....	21
2. Revisión de Literatura	23
2.1 Aprendizaje de la Física	24
2.1.1 Expertos y novicios.	25
2.1.2 Preconcepciones.	28
2.1.3 Actitudes de los estudiantes.	30

2.1.4	Quehacer científico.....	32
2.1.5	Razonamiento científico.....	33
2.1.6	Solución de problemas.	35
2.1.7	Relación con el mundo real.....	39
2.2	Evaluación.....	40
2.2.1	Diagnósticos en mecánica.	41
2.2.2	Razonamiento científico.....	44
2.2.3	Actitudinal.....	46
2.3	Metodologías de enseñanza en Física.....	48
2.3.1	Aprendizaje tradicional.	48
2.3.2	Aprendizaje activo.....	50
2.3.3	Modelación.....	51
2.3.3.1	Los modelos.....	53
2.3.3.2	Construcción del modelo.	56
2.3.3.3	Resultados positivos de Instrucción por Modelación.	59
2.4	Espacios de aprendizaje.....	61
2.4.1	Evolución de los espacios de aprendizaje.	61
2.4.2	Iniciativa SCALE-UP.....	62
2.4.2.1	Tecnología.	63

2.4.2.2 Mobiliario.....	63
2.4.2.3 Currículo.....	65
2.4.2.4 Socialización.....	66
2.5 Análisis crítico de los estudios realizados.....	67
3. Metodología.....	70
3.1 Método de investigación.....	70
3.2 Población y muestra.....	74
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	76
3.4 Aplicación de instrumentos.....	78
3.5 Captura y análisis de datos.....	81
3.5.1 Índice de dificultad.....	84
3.5.2 Índice de discriminación.....	84
3.5.3 Coeficiente de correlación biserial puntual.....	86
3.5.4 Índice de confiabilidad de Kuder-Richardson.....	87
3.5.5 Delta de Ferguson.....	88
4. Análisis de Resultados.....	90
4.1 Presentación de resultados.....	90
4.1.1 Examen conceptual de Fuerza.....	90
4.1.2 Examen final departamental.....	95

4.1.2.1 Índice de dificultad.....	96
4.1.2.2 Índice de discriminación.....	98
4.1.2.3 Coeficiente de correlación biserial puntual.	100
4.1.2.4 Frecuencias e índice Kuder-Richardson.	102
4.1.3 Actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física.....	106
4.1.4 Razonamiento científico.....	108
4.2 Análisis e interpretación de los resultados	110
4.2.1 Examen conceptual de Fuerza.	110
4.2.2 Examen final departamental.	112
4.2.3 Actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física.....	114
4.2.4 Razonamiento científico.....	116
5. Conclusiones.....	120
Referencias	125
Apéndices.....	137
Apéndice A: FCI.....	137
Apéndice B: Test Lawson.....	142
Apéndice C: C-LASS.....	146
Apéndice D: Problemas tipo examen final.....	147
Apéndice E: Hoja de respuestas para el FCI.....	150

Apéndice F: Hoja de respuestas para el Lawson.....	151
Apéndice G: Hoja de respuestas para el C-LASS	152
Apéndice H: Hoja de respuestas para el examen final.....	153
Curriculum vitae	154

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Comparación de expertos y novicios.....</i>	26
Tabla 2. <i>Preguntas correspondientes a cada dimensión del FCI</i>	42
Tabla 3. <i>Clasificación de ganancias según Hake (1998).</i>	44
Tabla 4. <i>Proceso de construcción del modelo de energía (Brewer E. , 2008).....</i>	58
Tabla 5. <i>Índices de validez y confiabilidad según</i>	89
Tabla 6. <i>Resultados en el FCI para todos los grupos.....</i>	92
Tabla 7. <i>Resultados de prueba Kolmogorov-Smirnov para el grupo experim.....</i>	93
Tabla 8. <i>Resultados de la prueba Mann-Whitney para buscar grupos</i>	94
Tabla 9. <i>Resultados de la prueba Mann-Whitney para las ganancias de</i>	95
Tabla 10. <i>Resultados de las pruebas de validez y confiabilidad en el.....</i>	96
Tabla 11. <i>Resultados por grupo en el examen final departamental de</i>	104
Tabla 12. <i>Resultados de la prueba Mann-Whitney contra el grupo</i>	105
Tabla 13. <i>Resultados en la encuesta actitudinal del grupo donde se real.....</i>	108

1. Planteamiento del Problema

En esta investigación se analiza en qué forma los modelos y procesos innovadores en la enseñanza-aprendizaje afectan el aprendizaje de los estudiantes dentro de salones de clase especialmente diseñados para incentivar la interacción entre los alumnos. La investigación se lleva a cabo en una universidad privada mexicana ubicada en el noreste del país. Además, se cuenta con datos de implementaciones similares en la universidad donde se desarrolló el currículo y resultados de diferentes diagnósticos que han sido recolectados en diversas universidades con múltiples metodologías de enseñanza-aprendizaje.

El aprendizaje conceptual en estudiantes de Física es bajo cuando la enseñanza se basa en métodos tradicionales, por lo que existe la tendencia de utilizar diferentes estrategias de aprendizaje activas para promover una mejora en dicho aprendizaje. Una de las iniciativas, aunque con poca difusión en el nivel universidad, es el de Instrucción por Modelación. Esta se encuentra dentro de la teoría de Modelación pero cuenta con características especiales y fue diseñada para la enseñanza de la Física. La metodología se usa en diversas regiones en Estados Unidos para nivel secundaria, donde a lo largo de años de implementaciones se ha logrado afianzar como una forma efectiva de enseñar Física. En el año 2001, un panel de expertos del Departamento de Educación de Estados Unidos, determinó que el programa de Instrucción por Modelación era uno de los 2 programas ejemplares para nivel K-12 (preparatoria) de los 27 programas que fueron evaluados (Jackson, Dukerich, & Hestenes, 2008). Para aplicarla en el nivel universitario

se busca utilizar un currículo basado en Instrucción por Modelación para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Resultados de implementaciones para nivel universitario muestran aprendizajes conceptuales cercanos al doble de una clase tradicional.

Otra componente que se ha buscado mejorar, es el salón de clases. El cual ha cambiado poco en cientos de años. Por lo general, el alumno tiene un rol pasivo mientras el profesor demuestra, explica y realiza problemas que los alumnos solamente ven, y en ocasiones toman notas. Dicho modelo, data de épocas remotas donde los escribas realizaban copias de libros, principalmente la Biblia. Uno leía el texto original mientras el resto repetía y copiaba. Dicho modelo fue muy útil para la tarea que fue diseñado, copiar libros, pero no es tan efectivo hoy en día en la tarea de enseñar a niños y jóvenes.

En este capítulo, se presenta inicialmente el marco contextual que engloba la investigación y los antecedentes del problema. Posteriormente, se plantea el problema en forma de preguntas de investigación, se delimitan los objetivos de la investigación y se presentan las hipótesis de las que se parte. Finalmente, se justifica la investigación y se analizan las limitaciones y delimitaciones del estudio. El capítulo termina con la definición de términos usados frecuentemente durante todo el trabajo.

1.1 Marco contextual

La enseñanza de la Física ha evolucionado desde que se comenzó a hacer investigación formal al respecto, hace cerca de 40 años. Las innovaciones desarrolladas como consecuencia de estas investigaciones, son variadas. Van desde la implementación

de tutoriales, que buscan el llevar al alumno por un proceso de cuestionamiento; los problemas ricos en contexto, que buscan vincular lo visto en clase con el mundo real; salones SCALE-UP, que buscan utilizar la tecnología para facilitar la interacción entre los estudiantes; aprendizaje colaborativo, ya que al enfrentar las ideas con algún compañero la idea correcta tiende a prevalecer; y Modelación, que busca replicar el proceso de siguen los científicos en sus exploraciones en los estudiantes.

Hoy en día, cada profesor dando clases de Física en una universidad, puede utilizar una mezcla de diferentes estilos y técnicas durante el transcurso de su curso. En la universidad privada donde se realiza la investigación, se impulsó la utilización de los tutoriales para la Física introductoria, realizados por la universidad de Washington (McDermott & Shaffer, 2002), dentro del salón de clases y como apoyo en los laboratorios. Esto mejoró el aprendizaje en los estudiantes, pero no llegó al cambio esperado inicialmente, de acuerdo a los resultados obtenidos en universidades americanas. Dentro de los salones de clases los profesores utilizan en ocasiones algo de aprendizaje colaborativo y en otras algunas ideas de modelación, pero no se puede medir con exactitud la composición exacta de técnicas que utiliza cada profesor.

Durante una investigación exploratoria, se encontró que los profesores dicen utilizar algunas metodologías de enseñanza; sin embargo, no siempre se reflejan en las observaciones realizadas en el salón de clases o en los resultados en diagnósticos de aprendizaje conceptual. Además, se encontró que hay una fuerte relación, entre si el aprendizaje es pasivo o activo, y los aprendizajes obtenidos por los estudiantes.

El análisis se centra en una universidad privada al noreste de México con aproximadamente 18000 estudiantes. La mayoría de los estudiantes son clase media o alta y aproximadamente la mitad de los estudiantes cursan una carrera de ingeniería.

1.2 Antecedentes del problema

Se suponía que el obtener calificaciones aprobatorias en un curso de Física, era suficiente evidencia de que se habían obtenido aprendizajes conceptuales adecuado de los temas vistos en clase. No es hasta que profesores comenzaron a utilizar diagnósticos estandarizados que en ocasiones parecían ser demasiado sencillos para sus alumnos, que se comenzó a dar luz a la problemática existente. La sorpresa fue que, incluso en universidades tan prestigiosas como Harvard, los alumnos no tenían los conceptos que se esperaba que contestaran sin ningún problema (Mazur, 1997). El problema viene de la tradición en los procesos de aprendizaje. Los profesores actuales enseñan Física como ellos la han aprendido y esto genera un ciclo que no busca la innovación sino la repetición de las técnicas. Diversas propuestas han surgido en la comunidad de investigación en educación del Física, algunas han sido ya implementadas, algunas han creado cambios significativos y otras no tanto.

Se incrementa la dificultad debido a que, en general, las técnicas no son aplicadas correctamente, lo que atenúa sus efectos. Entre los factores que obstaculizan la implementación de nuevas propuestas, están la falta de tiempo dentro del salón de clases, desinterés del profesor, dificultades al realizar cambios a programas acreditados internacionalmente y la resistencia de los estudiantes. Lo que causa que las

implementaciones sean incompletas, y al no presentar los resultados esperados sean descartadas finalmente.

En el año 2008, se realizó una primera implementación de una clase de Física basada en Modelos, lo que se tradujo en aprendizajes conceptuales de casi el doble con respecto a los obtenidos en las clases tradicionales. El aprendizaje fue medido utilizando un instrumento estandarizado. A partir de dicha implementación, se ha buscado implementar un currículo que esté basado en una epistemología explícita. Con esto se quiere que pueda ser implementado para no solamente asegurar un mejor entendimiento de los estudiantes de los temas que deben cubrirse en clase, sino de mejorar sus capacidades de investigación, acercarlos al quehacer científico y mejorar sus actitudes hacia el aprendizaje de la Física.

Estudios previos muestran que Instrucción por Modelación logra cambios significativos en dichos aspectos (Brewer E. , 2008; Alarcón & de la Garza, 2009; de la Garza & Alarcon, 2010).

1.3 Planteamiento del problema

La diversidad de formas de enseñar una misma materia, aun dentro de la misma universidad crea también diferencias en el aprendizaje que los estudiantes obtienen. Aunque es prácticamente imposible que los diferentes profesores impartan una clase de manera idéntica, al conocer cuáles son los cambios que son los más efectivos en la instrucción, para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, es posible que sean

implementados. De igual manera, influye el factor de la resistencia al cambio, el cual es mayor cuando no se puede demostrar que se generarán beneficios significativos.

En una observación, se encontró que profesores que se consideraba que eran activos, obtuvieron peores aprendizajes que los otros profesores siendo tradicionales (clase completamente expositiva sin que el alumno forme parte de ella). En estos casos, el profesor intenta realizar una clase activa, pero los alumnos siguen siendo pasivos, lo que deriva en una instrucción tradicional. Lo anterior despierta la necesidad de conocer con mayor precisión qué actividades son necesarias y cómo es la forma en que los profesores se relacionan con sus alumnos, para entender el aprendizaje obtenido por los estudiantes para así poder replicarlos en los demás grupos.

Partiendo del currículo de Instrucción por Modelación que se ha adecuado de la Universidad Internacional de Florida para cursos de nivel universitario, es posible realizar una implementación de este en una universidad privada ubicada en el noreste de México. El propósito de dicha intervención es investigar la viabilidad de la implementación y analizar los cambios que genere en los diversos factores del aprendizaje de la Física mencionados anteriormente. La pregunta de investigación principal es:

¿Qué efecto tiene en el aprendizaje y las actitudes de los estudiantes, un currículo basado en Instrucción por Modelación, en un curso de Física a nivel universitario?

Para contestar dicha pregunta es prioritario enseñar un curso de Física utilizando un currículo basado en Instrucción por Modelación. El currículo seleccionado para esta investigación se implementó con anterioridad en una universidad pública en Estados Unidos por el mismo profesor de la implementación en la universidad en México. Esta situación, facilitó la comparación directa en el desempeño de los estudiantes, dado que se desaparecerá la incertidumbre de la variable instructor, aunque se mantiene la diferencia de que las instrucciones fueron impartidas en idiomas diferentes. Las diversas fuentes de información para contestar la pregunta de investigación fueron las pruebas conceptuales como el FCI (Force Concept Inventory), los exámenes finales que se aplicaron iguales para todos los grupos en la universidad mexicana y los diagnósticos permitieron el análisis de factores de actitud de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física y el razonamiento científico.

A partir de la pregunta principal de investigación, y con el fin de contestarla de manera exhaustiva, se desprendieron tres preguntas de investigación secundarias. Estas últimas, al ser investigadas, proporcionaron respuesta a la pregunta principal de investigación.

Una pregunta secundaria que es *¿Cómo se compara el aprendizaje conceptual del grupo que siguió el currículo de Instrucción por Modelación con respecto a los demás grupos de Física I?*

Esto necesitó la recolección de datos de los demás grupos a fin de compararlos con el grupo basado en Modelación. Como herramientas de recolección de datos, el FCI,

analizó los cambios encontrados en el diagnóstico en general y también las dimensiones que en especial son las más modificadas por la implementación.

Otra pregunta subordinada es *¿Cómo se compara el aprendizaje del grupo que siguió el currículo de Instrucción por Modelación en una universidad privada en México, con los resultados obtenidos en una universidad pública en Estados Unidos y con los ejemplos en la literatura?*

Para responder dicha pregunta se analizaron más a fondo los resultados de un examen conceptual de fuerza y se compararon ahora con los resultados de ejemplos en la literatura, además de los resultados que se obtuvieron en una universidad de Estados Unidos durante la capacitación del profesor que realizó la implementación en la universidad Mexicana.

La tercera pregunta subordinada es: *¿Cómo se modifican las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física en un grupo basado en Instrucción por Modelación? y ¿Cómo se correlacionan los aprendizajes conceptuales con el razonamiento científico?*

Para contestar esta pregunta se cuenta con las siguientes fuentes de información: datos recolectados en un piloto de Modelación realizado en la universidad privada mexicana donde se encontraron cambios positivos en las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física, los resultados de la Universidad Internacional de Florida y algunas otras publicaciones con cambios positivos en las actitudes de los

estudiantes. Al contar con múltiples fuentes de información, y al aplicar el mismo currículo por el mismo profesor en dos universidades diferentes, se puede descartar factores que no son los responsables de estos cambios. Se esperaría que los resultados fueran parecidos a los de la Universidad Internacional de Florida, lo que eliminaría factores culturales y que el tamaño de los grupos fuera pequeño, ya que se tienen resultados positivos en grupos de 5 hasta 40 alumnos. Lo único común en el análisis sería el currículo. La hipótesis es que el contenido epistemológico explícito es el que permite mejorar las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física.

1.4 Objetivos de la investigación

La investigación tiene como objetivo conocer los alcances de la implementación de un currículo basado en Instrucción por Modelación. Para esto es necesario contar inicialmente con un currículo. Este proviene de un currículo que se ha facilitado en inglés, por lo que tuvo que ser inicialmente traducido en su totalidad al español para poder ser implementado en una universidad mexicana. Una vez teniendo el currículo listo y habiendo capacitado a un instructor, se pudo llevar a cabo la implementación para responder las preguntas planteadas.

En esta investigación, se buscó conocer profundamente, los cambios que genera en el estudiante el cursar una materia de Física con un currículo basado en Instrucción por Modelación. La finalidad de dicho análisis es conocer la viabilidad de futuras implementaciones y comparar los resultados con otras metodologías de enseñanza-

aprendizaje, que son y han sido, implementadas con anterioridad en la Universidad privada del Noreste de México.

Con este objetivo en mente se comparan los resultados en el aprendizaje conceptual del grupo que cursa la materia de Física 1 siguiendo el currículo basado en Instrucción por Modelación con los demás grupos en la misma universidad. Para la comparación se cuenta con evaluaciones parciales, finales y diagnósticos que proporcionarán la información.

También se busca comparar los resultados con los resultados de la universidad donde se desarrolló originalmente el currículo. Para este análisis se usaron preguntas comunes en evaluaciones parciales y diagnósticos aceptados internacionalmente.

Finalmente, se utilizaron diagnósticos actitudinales y de razonamiento científico para conocer como fueron alterados estos factores por el llevar un currículo basado en Instrucción por Modelación.

1.5 Hipótesis

Los alumnos que cursen su clase de Física con un currículo basado en Instrucción por Modelación tendrán un aprendizaje conceptual mayor. Esto se basa, primeramente en investigaciones que muestran que los métodos que promueven el aprendizaje activo tienen aprendizajes conceptuales mayores (Hake, 1998), aunque en ese tiempo no se utilizaban currículos basados en Instrucción por Modelación. Investigaciones más

recientes han mostrado que cursos basados en Instrucción por Modelación también presentan aprendizajes conceptuales mayores (Brewer E. , 2008).

Al utilizar pruebas estandarizadas para medir el aprendizaje conceptual de los alumnos, se esperaba encontrar que aquellos alumnos que cursaron con Instrucción por Modelación obtuvieran ganancias superiores con respecto a los que cursan de manera tradicional. Además se esperaba que los alumnos fueran similares al inicio en cuestiones como conocimientos previos, razonamiento científico y actitudes hacia el aprendizaje de la Física.

La hipótesis sobre la pregunta principal de investigación es que los alumnos tendrían cambios en sus actitudes con respecto al aprendizaje de la Física y un mayor aprendizaje conceptual, por la implementación de un currículo basado en Instrucción por Modelación. Los alumnos fueran capaces de enfrentar problemas de situaciones diversas y solución desconocida ya que contarían con habilidades de modelación que los estudiantes que cursen la materia de forma tradicional no tendrán. Finalmente, se espera que los alumnos, al ser comparados con los demás alumnos dentro de la misma institución en el examen final, tuvieran calificaciones al menos iguales, si no es que superiores.

1.6 Justificación de la investigación

El aprendizaje de la Física es una de las materias con la que los alumnos suelen tener mayores complicaciones en el nivel preparatorio y en el nivel profesional. Siempre

se ha manejado que buenas bases son las que ayudarán a construir fácilmente el conocimiento con el siguiente material, pero en la forma tradicional de impartir un curso existen deficiencias profundas que han sido analizadas en los últimos años.

Investigaciones realizadas han encontrado que las concepciones que tienen los alumnos se basan en pensamientos simplistas y que suelen ser muy difíciles de eliminar (Halloun & Hestenes, 1985b; Trowbridge & McDermott, 1980).

En la universidad privada del noreste de México se ha trabajado sobre formas alternativas de enseñar estos conceptos se han realizado diversas implementaciones. Una de las estrategias más implementadas es la de los tutoriales de la Universidad de Washington (Trowbridge & McDermott, 1980) y en los últimos años, algunas actividades de Física en tiempo real (Sokoloff, Thornton, & Laws, 1998). En el 2008 y 2009, se realizaron implementaciones de cursos basados en Modelación (Hestenes, 1987). Los resultados de estos cambios han sido notables; sin embargo, dejan aun al margen el mejoramiento de la enseñanza, por lo que una investigación en el ambiente específico de la institución privada mexicana es pertinente, ya que la literatura existente no cuenta con análisis de cuestiones culturales que pudieran afectar las concepciones existentes en los estudiantes.

La Instrucción por Modelación ha mostrado tener ventajas en algunos aspectos del aprendizaje de la Física, y se cuenta con literatura que muestra que en general se obtienen aprendizajes comparables con otras metodologías de aprendizaje activas. El

analizar cuidadosamente una implementación permitirá conocer su viabilidad de implementación en universidades fuera de Estados Unidos.

1.7 Limitaciones y delimitaciones

La principal limitación que se tuvo en la implementación del currículo basado en Instrucción por Modelación fue el tiempo de dedicación que se tiene en el aula. La universidad donde se diseñó dicho currículo cuenta con cinco horas de clase presencial semanal donde se realizan laboratorios, actividades o solución de problema de manera indistinta. Mientras que en la universidad mexicana se contaba con tres horas de clase y una hora de laboratorio a la semana, los cuales se imparten por diferentes profesores. Para disminuir esa diferencia se acordó con los estudiantes el tener una sesión extra de hora y media a la semana en lugar del laboratorio institucional para tener un total de cuatro horas y media de clase con el mismo profesor. Aun con la limitación aparente de tiempo se logró cubrir el currículo de manera completa teniendo tiempo suficiente para realizar otras actividades como una actividad de ética que es requisito en la universidad privada mexicana.

Una segunda limitación fue la cantidad de equipo de laboratorio destinado al salón, ya que en la institución mexicana se contaba con recursos limitados por debajo de lo recomendado para la implementación de este currículo. La solución encontrada fue utilizar grupos más pequeños para las sesiones extra de laboratorio para contar con suficiente equipo que en el salón de clase era imposible de tener. De esta manera, los

estudiantes realizaban los experimentos en subgrupos y al momento de analizar los resultados se podía discutir con el grupo entero.

Una de las delimitaciones es el salón al cual se tiene acceso para la realización de la investigación en la universidad mexicana. El salón es uno tipo SCALE-UP y que aunque se basa en un diseño de salón activo no se encuentra diseñado para propiciar la discusión del grupo entero, sino de grupos de 9 personas a la vez. Esto contrasta con el salón donde se imparte Instrucción por Modelación en Estados Unidos donde no sólo el salón tiene una capacidad menor de estudiantes, sino que cuenta con un espacio al centro donde todos puedan reunirse a discutir los hallazgos, resultados o ideas correspondientes a la actividad recién realizada.

El currículo está definido a Física 1 por cuestiones de acceso a grupos. El currículo de ambas universidades era bastante parecido pero las pequeñas diferencias temáticas y de orden, generaron una dificultad. El currículo basado en Instrucción por Modelación, por ejemplo, cubre el tema de Energía antes que Fuerzas cuando el currículo normalmente impartido cubre Fuerzas con anterioridad. Esto además genera una dificultad al utilizar libros de apoyo ya que la mayoría suele cubrir el tema de fuerzas con anterioridad.

La población del estudio está limitada a un grupo máximo de 38 estudiantes. Se cuenta con un segundo grupo que sigue parcialmente el currículo basado en Instrucción por Modelación, pero al ser un grupo de Física y Matemáticas integrado es posible no se puedan comparar todos los aspectos de manera directa.

2. Revisión de Literatura

En este capítulo, se revisa la literatura que aborda el proceso de aprendizaje de la Física. Se analizan las bases psicológicas que desembocan en teorías o metodologías de aprendizaje. Se discuten los puntos donde la investigación ha mostrado su importancia para la Educación de la Física, y se analizan diversos factores del aprendizaje de la Física, que permite comprender el proceso de aprendizaje de manera más integral. Se aborda, además, cómo evaluar los aprendizajes basándose en diagnósticos aceptados internacionalmente.

PER es la sigla utilizada en inglés para referirse a Physics Education Research, o en español, Investigación en Educación de la Física. La comunidad de investigadores cuenta con más de treinta años de experiencia y un buen renombre dentro de la comunidad científica. Los trabajos que se analizan provienen esencialmente de revistas del área de PER.

McDermott (2001) resalta la posibilidad de ayudar a los estudiantes a lograr un estándar de aprendizaje más alto por medio de la Investigación en Educación. Las metodologías de enseñanza que convierten al alumno de Receptor a Generador de conocimiento son conocidas como Métodos Activos de Enseñanza. Estos últimos han demostrado que tienen una efectividad superior al compararla con la Instrucción Tradicional, la cual es centrada en el profesor y en un libro de texto. Los alumnos en métodos activos son capaces de desarrollar un marco conceptual coherente que les

permite predecir el comportamiento o entender el fenómeno aún antes de comenzar el proceso de solución de problemas. Los detractores del uso de estas metodologías, señalan que así solamente se cubre una cantidad reducida de material, lo que resulta en un menor aprendizaje de los estudiantes. McDermott (2001, págs. 1135-1136) sugiere que es al revés, ya que además de un entendimiento conceptual más profundo, los estudiantes aprenden a realizar predicciones cualitativas, lo que realmente enriquece la calidad del aprendizaje.

Uno de los métodos activos de enseñanza de la Física que ha obtenido resultados favorables en los últimos años es la Instrucción por Modelación (Halloun & Hestenes, 1987). Se analiza como los diferentes factores se relacionan con este modelo de instrucción y los resultados que se han obtenido en: aprendizaje conceptual, cambio de actitudes, solución de problemas y razonamiento científico.

2.1 Aprendizaje de la Física

La Física cuenta con elementos distintivos que hacen complejo el proceso aprendizaje. El material a enseñar se ha utilizado y corroborado por cientos de años, por lo que podría ser considerada una ciencia dura que no permite el dar opinión o discutir el material. La educación básica de la Física trata los temas de mecánica que se desprenden de los desarrollos teóricos de Newton y sus contemporáneos hace más de 330 años, como Principia Mathematica (Newton, 1687).

La teoría que explica el comportamiento de la naturaleza es estudiada en estos primeros cursos de Física, desde su formulación se mantiene vigente hasta nuestros días. Si bien el comportamiento de la naturaleza no ha cambiado, si lo ha hecho el entendimiento sobre cómo es que los estudiantes la perciben. Esta cualidad estática de los contenidos a enseñar, aunado a la tradición de cómo cada profesor aprendió de sus predecesores, ha originado un escenario en que los alumnos se les dificulta su aprendizaje. Los alumnos cuentan con una serie de experiencias de vida que hacen que cuando llegan a su educación formal cuenten con preconcepciones ingenuas. Además, es posible que lleguen a temer a la materia de Física ya que han escuchado que es difícil o su primer acercamiento ha sido mal guiado.

Otros factores que son inherentes a la educación pero no siempre se toman en cuenta en el diseño curricular son: las actitudes de los estudiantes, el razonamiento científico, solución de problemas, conexión con el mundo real y el quehacer científico. No se espera que todos los que estudian Física se conviertan en científicos, pero si se busca que aprendan a hacer ciencia. Por ello es importante acercar a los estudiantes en todos los aspectos posibles al experto.

2.1.1 Expertos y novicios. La separación entre expertos y novicios es en extremo importante. Se considera novicio a la persona que comienza su camino en el aprendizaje de alguna disciplina, en este caso la Física. El experto, por su parte, es aquel que no solamente ha pasado por un aprendizaje formal, sino que cuenta con un cúmulo importante de conocimiento que es capaz de aplicar. Por lo general, la transferencia de

conocimientos suele ser desde el experto hacia el novicio, pero investigaciones han demostrado que este proceso suele ser complejo ya que las estructuras mentales de ambos son muy diferentes. La interacción con los problemas, su entendimiento conceptual y las áreas de interés modifican gradualmente la mentalidad de los expertos creando una brecha que dificulta la transferencia de información. Con un experto, la Instrucción Tradicional puede funcionar, ya que cuenta con un conocimiento profundo y la capacidad de asimilar nuevos conceptos; sin embargo, con un novicio es diferente ya que aún no cuenta con las estructuras mentales necesarias para aprender de esta manera, por lo que no se encuentra apto para este tipo de enseñanza. Las principales diferencias entre expertos y novicios se muestran en la Tabla 1 (Leonard, Gerace, Dufresne, & Mestre, 1999).

Tabla 1.
Comparación de expertos y novicios.

Experto	Novicio
Gran cantidad de conocimiento en un tema.	Conocimiento segmentado
Conocimiento interconectado	Conocimiento desconectado y amorfo
Conocimiento estructurado de manera jerárquica	Conocimiento guardado de manera cronológica
Múltiples representaciones integradas	Representaciones pobres y sin relaciones
Fácil acceso a la información	Difícil acceso a la información

Larkin (1981) se dedicó a analizar las diferencias entre expertos y novicios al momento de solucionar problemas. Los libros de texto son considerados una fuente viable de información; no obstante, ningún experto afirmaría que aprendió solamente de

ellos. La práctica toma una parte central en el aprendizaje, solamente a partir de la repetición y la integración de los conceptos en sus estructuras mentales, se logra que los novicios se conviertan en expertos (Larkin, 1981).

Los estudiantes novicios suelen utilizar métodos débiles en la solución de problemas. Algunos ejemplos de estos métodos son:

- Analizar lo que se da y lo que se pide, buscando reducir las diferencias entre éstos.
- Comparar posibles caminos, eligiendo aquel que se acerque a la meta.
- Probar cualquier opción esperando encontrar la solución en ese proceso.

Cuatro diferentes pasos suelen ser utilizados al resolver problemas en Física: un Análisis Verbal del mismo, normalmente es la redacción que se da; un Dibujo de la Situación Física, que permite visualizar lo que se exige; una Analogía de lo que se pide; y finalmente, el Planteamiento de Ecuaciones que permitan resolver el problema. En su estudio, Larkin (1981) encontró que los novicios sólo utilizaban el primer y cuarto paso, intentando resolver inmediatamente el problema. Mientras el experto suele utilizar los cuatro pasos de manera casi natural. Esta diferencia de acercamiento permite a los expertos descartar principios y escoger un camino de solución correcto en el primer intento, mientras los novicios deben replantear las ecuaciones si no se logra llegar a una respuesta.

Tras observar a expertos resolver problemas, Reif (1981) establece que éstos dedican una gran cantidad de tiempo a una descripción inicial de los problemas y al final evalúan cuidadosamente. Mientras que los novicios omiten esa primera parte tratando de construir directamente una propuesta solución combinando varias fórmulas.

2.1.2 Preconcepciones. Las preconcepciones son ideas con las que los estudiantes llegan al entrar el salón de clase. En la Física, éstas son comunes ya que al interactuar con la naturaleza se generan explicaciones alternativas, no siempre científicas, de cómo se comporta la naturaleza. Las preconcepciones se forman cuando el niño o joven intenta entender lo que sucede a su alrededor, ya sea en el por qué una pelota regresa al suelo si se avienta hacia el cielo, cómo caminamos, o qué sucede en un choque entre un automóvil y un camión. Las preconcepciones suelen dificultar la instrucción ya que al crearlas no se suele analizar profundamente el problema. Una vez obtenidas, son difíciles de cambiar, ya que finalmente explican lo que el estudiante ha visto toda su vida. Estudios en PER muestran que es posible aprovecharlas en la instrucción para lograr aprendizaje significativo (McDermott & Redish, 1999). Los dos principales tipos de preconcepciones son: las Erróneas, que dificultan el aprendizaje al ser incompatible con la instrucción, y las Ancla que suelen ser aprovechadas como base de conocimiento científico.

Halloun y Hestenes (1985a) categorizan las preconcepciones sobre movimiento a partir del tipo de pensamiento que lleva a éstas. Para estos investigadores es posible entender por qué existen tales preconcepciones, y a partir de ello atacarlas de manera

efectiva. Por ejemplo, el saber que la mayoría de los estudiantes piensa que la velocidad media es igual a la velocidad instantánea puede ayudar a atacar de manera efectiva tal dificultad por medio de actividades específicas.

Las tres principales categorías de preconcepciones que ellos encontraron son:

1. La aristotélica que corresponde a un acercamiento cualitativo basado en una observación. Por ejemplo al observar que un objeto en movimiento se detiene después de un tiempo, permite concluir que el estado natural de los cuerpos es el reposo.
2. El principio de Ímpetus, que menciona que para mantener un cuerpo en movimiento, es necesario darle algo, un ímpetu.
3. La newtoniana, que implica un análisis profundo de fuerzas que actúan sobre un cuerpo.

El objetivo de la instrucción es llevar al estudiante a este último nivel.

En general, las preconcepciones dificultan el proceso de aprendizaje; sin embargo, las se encuentran en concordancia con la teoría física aceptada, pueden ser usadas para construir aprendizajes. Clement (1982) nombra a estas *preconcepciones ancla*, porque pueden usarse para construir conocimiento. Para él es importante identificarlas ya que al usarlas como apoyo el aprendizaje puede mejorar generando un sentido para el estudiante, al construir el nuevo aprendizaje a partir de concepciones con las que ya cuenta el alumno. En ocasiones, los profesores o desarrolladores de currículo, usan

ejemplos que son obvios para ellos aunque estos no son necesariamente así para los estudiantes. Es necesario investigar cuáles de los ejemplos, encontrados en los libros de textos y clases, son lógicos para los alumnos, no sólo para el profesor o diseñador del curso. Los ejemplos deben basarse en las concepciones ancla de los estudiantes para así facilitar el aprendizaje. Un ejemplo, sería la creencia de los estudiantes que un resorte comprimido ejerce fuerza sobre la mano que lo comprime. Se observó que esta concepción es más fuerte que la que menciona que la de la fuerza que ejerce un diccionario sobre una mano. Esto podría ser por el hecho que al retirar la mano el resorte crece, mientras el diccionario no cambia de forma.

2.1.3 Actitudes de los estudiantes. Según Redish, Saul y Steinberg (1998) los estudiantes no sólo llegan con conceptos físicos al salón de clase, sino que a partir de sus experiencias personales llevan consigo actitudes, creencias y suposiciones sobre qué aprenderán, qué habilidades se necesita de ellos y qué se espera que hagan. Estos factores no solamente se encuentran presentes en el estudiante, sino que alteran de manera importante la capacidad de los alumnos para aprender. Las creencias afectan incluso lo que los alumnos asimilan o ignoran del total de información que reciben durante la instrucción.

Redish, Saul y Steinberg (1998) proponen tres aspectos de los estudiantes que deben ser medidas: las actitudes, las creencias y las suposiciones. Estos tres aspectos suelen ser conocidos como expectativas de los estudiantes. En su trabajo proponen seis dimensiones, tres de las cuales fueron propuestas anteriormente por Hammer (1994) que

son: la Independencia, la Coherencia y los Conceptos; agregando tres más: el Vínculo con la Realidad, el Vínculo Matemático y el Esfuerzo. La dimensión de Independencia mide las creencias que tienen los estudiantes sobre qué es y cómo debe ser aprendida la Física. La de Coherencia, cómo se estructura el conocimiento Físico. Conceptos, el conocimiento Físico en sí. Vínculo con la Realidad, cómo la Física se relaciona con el mundo real mientras el Vínculo Matemático busca las creencias sobre el rol que tienen las Matemáticas al aprender Física. El Esfuerzo mide las actividades y trabajo necesario para darle sentido a la Física.

En el diseño de una encuesta posterior; Adams et al (2006) identifican ocho categorías a partir de un análisis factorial: Conexión con el mundo real, Interés personal, Sentido, Entendimiento conceptual, Entendimiento conceptual aplicado, Solución de problemas general, Confianza en solución de problemas y Sofisticación en solución de problemas. La dimensión de Conexión con el mundo real se centra en las creencias que tiene el estudiante sobre la aplicabilidad de la Física en el mundo natural. Interés personal se centra en las creencias sobre la importancia de la Física para el alumno. Sentido, que esfuerzos deben realizarse para darle sentido a la Física y si es importante o no. Entendimiento conceptual, en si es importante aprender Física, mientras la dimensión del aplicado se refiere a su aplicabilidad en el mundo natural. Solución de problemas general engloba las creencias sobre la utilidad de la solución de problemas mientras que la sofisticación se refiere a las capacidades que el alumno cree de sí mismo en la solución de problemas.

En el estudio se encuentra que profesores y estudiantes de doctorado en Física (Expertos) responden de manera idéntica al menos el 87% del tiempo, lo que permite suponer que sus creencias, actitudes y expectativas no cambian mayormente. Por otra parte, las respuestas de los estudiantes varían y no se comportan como las de los expertos. El segundo hallazgo que se observa es que al utilizar ciertas metodologías que promueven el aprendizaje activo, las actitudes de los estudiantes no se mueven en dirección hacia el experto.

2.1.4 Quehacer científico. Los científicos suelen contar con procedimientos que permiten asegurar la búsqueda de conocimiento verídico y real. Los alumnos pueden aprender a recorrer este proceso durante su formación, relacionándose así de manera más directa con el conocimiento y la generación de éste. En este contexto, un experto es un estudiante que cuenta con habilidades científicas.

La educación de las ciencias suele ser vista como un conjunto de conocimiento preestablecido más que como una forma de adquirir conocimiento. Es necesario disminuir esta brecha cambiando la finalidad de la educación en ciencias. Etkina (2001) se pregunta si leer quince capítulos de un libro de texto, escuchar a un expositor, seguir guías de laboratorio, contestar preguntas de algún externo y resolver problemas preestablecidos describe en alguna forma las actividades de una persona que se dedica a la ciencia en el siglo XXI. Algunas de las habilidades científicas que sí utilizan las personas de ciencias y que deberían ser desarrolladas en los estudiantes según Murthy y Etkina (2004) son: formular preguntas, diseñar y conducir experimentos, recolectar,

representar y analizar información, modelar, probar hipótesis y resolver problemas complejos y con poca información.

2.1.5 Razonamiento científico. En un trabajo clásico de Educación, Renner y Lawson (1973a) hacen una revisión de la teoría Piaget con el fin de entender la relación entre el razonamiento científico y el aprendizaje de la Física.

Durante su desarrollo, los jóvenes van adquiriendo diversas habilidades de razonamiento, que según la teoría de Piaget, corresponden a cuatro etapas o estados de razonamiento. La primera se presenta durante el primer año y medio de vida, y es normalmente conocido como *sensorial-motor*. En esta etapa, el niño obtiene conocimiento práctico como que los objetos son permanentes. La segunda etapa que suele durar hasta los siete años es conocida como *pre operacional*. En ésta, el niño suele sólo pensar en sí mismo al no tener aun la capacidad de pensar en los demás y centrarse solamente en un aspecto particular de una situación, objeto o evento. El tercer estado, conocido como operacional concreto, permite al niño hacer experimentos mentales. Este estado suele presentarse desde los siete años y durar incluso hasta los 15. Al niño no le es posible el construir hipótesis o trabajar con conceptos verbalizados, aunque puede hacer operaciones relacionadas directamente con objetos reales. Al llegar a la cuarta etapa, llamada operacional formal, se alcanza la habilidad de razonar con proposiciones sin la necesidad de algún objeto que sea la base del pensamiento. Por lo general, los jóvenes pueden ingresar a esta etapa a partir de los 15 años, aunque puede variar de persona en persona. Un pensador formal puede formular hipótesis y ponerlas a prueba.

Cada una de estas etapas depende de las capacidades logradas en la etapa anterior, por lo que no es posible encontrarse en un nivel superior de razonamiento científico sin haber pasado por los anteriores.

En general, los conceptos manejados en Física son abstractos, por lo que no pueden ser manejados por alguien en el estado operacional concreto. Sólo un pensador formal sería capaz de entender y construir conocimiento en torno a dichas proposiciones. Esta dependencia resalta la necesidad de considerar el razonamiento científico en los estudios sobre aprendizaje en la Física. Un ejemplo donde se puede visualizar la necesidad de utilizar el razonamiento científico aparece al analizar la segunda ley de Newton, representada tradicionalmente con la relación matemática $F = ma$. Renner y Lawson (1973b) mencionan que la masa es un concepto abstracto mientras que los alumnos la confunden con el peso, que es la propiedad física con la que han tenido experiencias previas; la aceleración es un concepto abstracto ya que corresponde al cambio del cambio en algo –matemáticamente corresponde a una segunda derivada; y la fuerza, que los estudiantes relacionan con empujar o jalar y lo miden normalmente en kilogramos. A los estudiantes se les pide multiplicar una variable abstracta la masa, por otra más abstracta aun, la aceleración y el resultado es una fuerza que se mide en Newtons, otra variable abstracta. Los autores mencionan que no existen elementos concretos en este proceso sino que corresponde a una abstracción en su totalidad. Un estudiante formal tal vez pueda manejar abstracciones, pero uno concreto simplemente no puede.

2.1.6 Solución de problemas. Aún y cuando la habilidad para la solución de problemas es un objetivo principal de la Educación de la Física, los medios para lograr dicho objetivo no son siempre obvios (Reif, Teaching problem solving - A scientific approach, 1981). Para Reif, el método de enseñanza de resolución de problemas más utilizado se basa en que el profesor ejemplifica problemas en el pizarrón y posteriormente los alumnos resuelven de manera individual problemas similares. Ocasionalmente, algunos profesores sugieren algunas simplificaciones, o reglas del pulgar, para facilitar la solución de problemas, mientras otros dejan esta tarea como estudio independiente a realizar por los alumnos. Ninguno de estos métodos es realmente efectivo ni eficiente para mejorar las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes (Reif, Teaching problem solving - A scientific approach, 1981).

La búsqueda de una solución a un problema se facilita al descomponerlo en problemas más sencillos. Reif (1981) propone dividir el problema en pasos de complejidad baja que vayan acercando al alumno a la solución. Aunque este acercamiento es obvio, los caminos no siempre son tan sencillos, por lo que propone una serie de cuatro pasos para la solución de un problema. Este método de refinamiento comenzaría con un paso importante como realizar una descripción de la situación. Posteriormente, se puede representar el problema como un diagrama o alguna representación simbólica, resumiendo la información proporcionada en él. En un tercer paso, se puede incluir la teoría en la descripción, introduciendo elementos conceptuales. Finalmente, ya teniendo esta versión del problema, se puede proceder a la solución

cuantitativa de éste. La Figura 1 presenta en forma esquemática el proceso de solución de problemas propuesto.

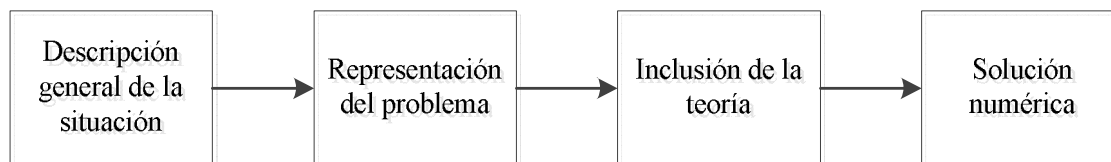


Figura 1. Proceso de solución de problemas propuesto por Reif (Reif, Teaching problem solving - A scientific approach, 1981)

Observaciones a expertos muestran que estos dedican mucho tiempo a describir el problema, mientras los novicios suelen buscar directamente cómo resolver el problema con la sustitución de valores en varias fórmulas. Otra diferencia importante entre novicios y expertos, en la resolución de problemas, es que el experto cuenta con varios métodos para resolver un problema, escogiendo el más sencillo, o el que desee en cada momento mientras el novicio cuenta solamente con un método (Leonard, Gerace, Dufresne, & Mestre, 1999).

Uno de los primeros en proponer una estrategia de solución de problemas en matemáticas y ciencias, fue Polya (1957) con su método de cuatro pasos. El primero de estos pasos consiste en identificar el problema, esta es la etapa en que se puede resumir la información que se conoce y utilizar una representación adecuada, posiblemente una figura. El segundo paso consiste en crear un plan de acción, donde se utilizan los conocimientos para planear como relacionar la información dada con el objetivo del problema. El tercer paso consiste en llevar a cabo el plan propuesto en el paso anterior,

para esto se siguen los pasos propuestos para llegar a la respuesta mientras se revisa el procedimiento. El último paso consiste en analizar el resultado, para ver que este tenga sentido y ver si había algún otro procedimiento para llegar a la respuesta. Se ha reestructurado los nombres a cada uno de los pasos presentados por Polya (1957) para facilitar su memorización. La estrategia GOAL (IDEA en español) es en si la misma sólo con una mayor facilidad al recordarla (Beichner, Deardorff, & Zhang, 1999). Los pasos de la estrategia para la solución de problemas son: Infórmate (Gather), Desarrolla un plan (Organize), Ejecuta el plan (Analyze) y Aprende de tu solución (Learn).

Rojas (2010) retoma los pasos propuestos por Polya, dividiendo dos de ellos en cuatro. En su trabajo, menciona que dicha división facilita al estudiante el seguir los pasos, ya que los vuelve más claros y explícitos de qué hay que hacer en cada uno de ellos. Los seis pasos que propone son: entender el problema, dar una descripción cualitativa del problema, planear una solución, realizar la solución, revisar la consistencia y coherencia internas de las ecuaciones utilizadas, y revisar y evaluar la solución encontrada.

Sabella y Redish (2007) exploraron la organización de conocimiento de los estudiantes observando el comportamiento de estos durante la solución de problemas. Ellos mencionan que los alumnos no sólo necesitan conocimiento conceptual para resolver problemas de Física, éstos necesitan además conocer cómo y cuándo utilizar ese conocimiento. Los estudiantes principiantes suelen tener dificultades para reconocer que

su conocimiento es aplicable en contextos diferentes al utilizado en la introducción de dicho conocimiento (Sabella & Redish, 2007).

Sabella y Redish (2007) presentan evidencia de cómo es que la redacción de un problema es capaz de alejar al estudiante de la respuesta correcta. Durante sus investigaciones encontraron que si al alumno le es requerido un análisis cualitativo previo a la solución de un problema, donde se evoca un concepto diferente al necesario para resolver dicho problema, el alumno sólo puede utilizar los conceptos relacionados a éste por lo que normalmente no incluyen el necesario para resolver el problema. Si en cambio se pide la solución sin realizar dicho análisis cualitativo, el alumno suele ser capaz de resolver el problema de manera correcta. Esta dificultad ha sido analizada por Wittmann (2006) al hablar de piezas de conocimiento, que son partes de un todo que pueden ser utilizadas en diferentes contextos. Cada pieza cuenta con conexiones que la relacionan con otras piezas y que se van realizando al ir adquiriendo nuevos conocimientos. Un ejemplo de una pieza de conocimiento en Física, es el concepto de centro de masa, que sirve para simplificar objetos y poder representar movimientos (Wittmann, 2006).

Para disminuir la aparición de las dificultades mencionadas es importante que el conocimiento sea jerárquico y coherente para facilitar su uso en la solución de problemas. Según Sabella y Redish (2007), si los alumnos no consideran importante la coherencia, éstos no pondrán atención en la integración del conocimiento, dificultando la creación de vínculos entre las piezas de conocimiento, manteniéndolos aislados. Si los

lazos necesarios para la solución de problemas no se crean durante la instrucción, el alumno será incapaz de resolver problemas.

2.1.7 Relación con el mundo real. Uno de los factores en la Educación de la Física es la conexión con el mundo real. En ocasiones los ejemplos que son proporcionados en el salón de clases no tienen realización en el mundo real. Las simplificaciones que los instructores suelen proporcionar, hacen creer a los alumnos que lo que aprenden solamente es aplicable en situaciones ideales sin relación con su día a día (Redish, Saul, & Steinberg, 1998). Dado que el propósito de la Física es modelar la realidad, es necesario mantener la conexión entre las observaciones cotidianas y lo estudiado en el proceso de aprendizaje.

Para McDermott (2001) las conexiones entre los conceptos, representaciones formales y el mundo real, son escasas o inexistentes después de una instrucción tradicional. Los estudiantes necesitan más práctica en interpretar el formalismo de la Física y relacionarlo con el mundo real (McDermott L. C., Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research - The key to student learning, 2001, p. 1133). McDermott ha encontrado en sus estudios que muchos alumnos después de la instrucción no son capaces de responder preguntas cualitativas sobre difracción en una rejilla utilizando una fórmula conocida, aun cuando ésta sea dada. Este, y otros casos, hace evidencia a como se encuentra totalmente desconectado el conocimiento formal y la aplicación del mismo en los alumnos. Mientras no se cree una conexión en el estudiante entre lo que se ve

dentro del salón de clase y lo que sucede en el mundo, no se estarán cumpliendo los objetivos ni un entendimiento conceptual adecuado en los estudiantes.

2.2 Evaluación

La evaluación de la efectividad de la instrucción no puede recaer solamente en los exámenes finales creados por los departamentos académicos o sus profesores, ni de la percepción del aprendizaje de los temas según el profesor. En el área de Educación de la Física, han surgido diagnósticos estandarizados que permiten comparar los resultados de aprendizaje conceptual y la adquisición de habilidades para la solución de problemas. Este tipo de diagnósticos se utilizan, por ejemplo, al inicio y al final del proceso de instrucción para medir el cambio conceptual del alumno. Un diagnóstico bien diseñado es aquel que cuenta con concepciones alternas como opciones de respuesta y no distractores sin sentido. La información recopilada de una aplicación permite saber qué conceptos son los que han sido más deficientes en la instrucción permitiendo una reestructuración de los contenidos para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Para utilizar los resultados de esta manera es necesario evitar lo que se conoce como *enseñar para el examen* (Popham, 2001; Korsunsky, 2006). Esto último, implica utilizar los reactivos de un examen o reactivos idénticos para preparar a alumnos para sus evaluaciones. Para Korsunsky (2006) es posible analizar las preguntas y extraer el concepto que atacan para así educar el concepto de manera más efectiva. Él basa su idea en las respuestas que proporcionaron más de 23000 alumnos de excelencia en un examen de Física a nivel nacional en Estados Unidos.

Hake (1998) propone una variable que mide la ganancia que se obtiene al aplicar un diagnóstico antes y después de la instrucción. Esta variable se encuentra normalizada por lo que permite comparar grupos que pudieran tener estados iniciales diferentes. La propuesta de Hake se centra en la información del grupo y permite una comparación entre grupos. En casos específicos donde se desea conocer el cambio o aprendizaje de cada alumno hay que agregar una corrección, ya que existe la posibilidad de que el alumno obtenga menos reactivos correctos al final de la instrucción. En dicho caso, se compara cuanto se redujo la cantidad de reactivos contra los reactivos que había obtenido correctamente en la aplicación previa. La Figura 2 muestra la versión corregida de la ganancia de Hake (Alarcón & de la Garza, 2009). La segunda parte de la ecuación permite considerar la posibilidad de tener ganancias negativas en cuyo caso es necesario comparar lo que se “desaprendió” de lo que se podía “desaprender”.

$$G = \begin{cases} \frac{FCI_{post} - FCI_{pre}}{100 - FCI_{pre}} & \text{si } pre \leq post \\ \frac{FCI_{post} - FCI_{pre}}{FCI_{pre}} & \text{si } pre > post \end{cases}$$

Figura 2. Ganancia de Hake corregida.

A continuación, se presenta información sobre diagnósticos en mecánica, actitudes y razonamiento científico junto con alguna información de los valores esperados según la literatura.

2.2.1 Diagnósticos en mecánica. Actualmente, existen dos diagnósticos ampliamente utilizados para la evaluación conceptual de temas en mecánica. Ambos

comparten algunas preguntas y en general evalúan los mismos conceptos aunque desde distintos acercamientos.

Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) crearon el *Force Concept Inventory* (FCI) que en los últimos años, ha sido el diagnóstico más utilizado en la medición de entendimiento conceptual en mecánica. Este test consiste en 30 preguntas de selección múltiple, con cinco opciones cada una, que evalúan el concepto de fuerza a través de 6 dimensiones: cinemática, primera, segunda y tercera Ley de Newton, tipos de fuerzas y principio de superposición. Las opciones incorrectas de este test corresponden a preconcepciones comunes de los estudiantes, por lo que el test no solamente permite establecer cuánto sabe el estudiante, sino también cuáles son sus concepciones alternativas. En la Tabla 2 se muestran las preguntas correspondientes a cada dimensión que se analizan en el diagnóstico.

Tabla 2.
Preguntas correspondientes a cada dimensión del FCI

Dimensión	Preguntas correspondientes
Cinemática	9, 14, 19,20,21,22
Primera ley de Newton	6, 7, 8, 10, 17, 23, 24, 25
Segunda ley de Newton	8, 9, 21, 22, 26, 27
Tercera ley de Newton	4, 15, 16, 28
Principio de superposición	11, 17, 25
Tipos de fuerzas	1, 2, 3, 11, 12, 13, 14, 17, 27, 29, 30

Las dimensiones han sido propuestas por los autores y provienen de lo que interpretan como el concepto que debe abarcar cada pregunta. Otros autores han diferido en la validez de dichas categorías, ya que al hacer análisis de factores algunas de las categorías no son tan distinguibles, pero da una idea en general a la persona que lo usa para conocer en qué temas se tiene mayor dificultad de aprendizaje.

Dependiendo del resultado obtenido en este diagnóstico se puede ubicar al alumno en un nivel de conocimiento conceptual. Un evaluado que obtenga una calificación inferior al 60% significa que no cuenta con conocimiento suficiente de los conceptos newtonianos para una resolución de problemas efectiva, mientras un alumno con un resultado mayor, podría contar con los conocimientos necesarios para solución de problemas.

Un estudio realizado por Hake (1998) compara los resultados de un total de 6542 alumnos que presentaron el FCI, de diferentes universidades y tipos de instrucción, algunas utilizaban métodos activos mientras otras instrucción tradicional. La ganancia promedio encontrada para los grupos con Instrucción tradicional fue de 0.23, $n=2084$, (aprendieron el 23% de lo que no sabían) mientras que en los activos fue de 0.48, $n=4458$, (aprendieron el 48% de lo que no sabían). Este estudio es uno de los primeros en demostrar la efectividad de los métodos activos de enseñanza de la Física al observar diferencias significativas entre el aprendizaje de los estudiantes dependiendo del tipo de

instrucción. Además, Hake define los puntos para considerar a un grupo de baja, media o alta ganancia como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 3.
Clasificación de ganancias según Hake (1998).

Rango	Valores
Ganancia baja	0 a 0.3
Ganancia media	0.3 a 0.7
Ganancia alta	0.7 a 1

Otro de los diagnósticos en mecánica que se utiliza con regularidad es el *Force and Motion Concept Evaluation* (FMCE). Este test fue diseñado por Thorton y Sokoloff (1998) para evaluar la efectividad de su estrategia de aprendizaje activo. Este incluye las *Interactive Lecture Demonstrations* (ILD) y los *Real Time Physics* (RTP). En su desarrollo se presentan varias preguntas y un cúmulo de opciones distractoras para estas. Al tener más de cuatro opciones, la posibilidad de encontrar una concepción errónea del estudiante aumenta, mientras la probabilidad de conseguir una respuesta correcta aleatoriamente disminuye. Smith y Wittmann (2008) realizaron un análisis factorial para conocer las categorías que analiza el FMCE. Las categorías encontradas son: Fuerza sobre un trineo, cambio de dirección, gráficas de fuerza, gráficas de aceleración, Tercera Ley de Newton, gráficas de velocidad y energía.

2.2.2 Razonamiento científico. Renner y Lawson (1973b) presentan cuatro situaciones para medir el nivel de razonamiento de los estudiantes, basados en

investigaciones previas de otros autores. Una de ellas se basa en que el estudiante pueda aislar variables relevantes en la velocidad de un péndulo. La segunda se basa en desplazamiento de agua por volúmenes iguales pero con densidades diferentes. La tercera analiza la lógica deductiva proporcionando información de viajes posibles entre cuatro islas y preguntando por otros que pueden inferirse de éstos. La cuarta presenta dibujos de dos personas de diferentes alturas. Se miden inicialmente ambos con clips grandes, información con la que cuenta el alumno, posteriormente tiene que decir la altura de uno de ellos en una nueva escala (clips pequeños), conociendo solamente la altura del otro clip. Partiendo de estas situaciones, Lawson (1978) genera un diagnóstico que busca medir de manera sencilla, y en papel, el nivel actual de razonamiento científico de los estudiantes.

La revisión del año 2000, cuenta con un total de 24 preguntas que se analizan en pares por lo que se considera un diagnóstico de 12 ítems. Las dos partes que constituyen cada pregunta son: la pregunta y la justificación de la respuesta. Sólo si se contesta de manera correcta en ambos, se otorga un punto al estudiante, si el razonamiento o la respuesta son erróneas, no se otorga punto a los estudiantes. La mayoría de estas preguntas son basadas en las investigaciones realizadas por otros autores como la serie *Intellectual Development Beyond Elementary School* (Karplus & Karplus, 1970).

Según Lawson (1978), los niveles de razonamiento se pueden conocer directamente de la cantidad de respuestas acertadas por los estudiantes. La escala que se utiliza para dicha medición es la de razonamiento concreto (no es posible probar

hipótesis con objetos causales), razonamiento formal (estudiantes en ocasiones pueden probar hipótesis con objetos causales) y razonamiento postformal (pueden realizar hipótesis con objetos no observables). Si el alumno obtiene de 0 a 4 aciertos, se encuentra en el nivel de razonamiento concreto, si obtiene de 5 a 9 se encuentra en un nivel formal de razonamiento y si obtiene de 10 a 13 se encuentra en un nivel postformal (Ates & Cataloglu, 2007).

2.2.3 Actitudinal. Los diagnósticos actitudinales suelen presentarse en forma de encuesta. Esta propiedad y su simpleza, permite plasmar de manera más completa la opinión de los alumnos, al poderse contestar de manera casual, permitiendo un estado calmado y una mayor sinceridad durante la aplicación de éste. Se diseñan para ser contestados en aproximadamente diez minutos y suelen realizarse sobre una escala tipo Likert de cinco niveles, que van desde completamente de acuerdo hasta completamente en desacuerdo.

Redish, Saul y Steinberg (1998) desarrollaron el *Maryland Physics Expectations* (MPEX) para medir las expectativas de los estudiantes que pasan por un curso de Física. Utilizaron un proceso de validación que incluyó a expertos, alumnos y procesos de análisis de datos. El MPEX cuenta con 34 preguntas que los creadores organizaron en seis dimensiones. Las dimensiones que lo conforman son: Independencia, Coherencia, Conceptos, Esfuerzo, Vínculo con la realidad y Vínculo matemático.

Las respuestas de los expertos en el MPEX son congruentes el 87% de las ocasiones, mientras las de los estudiantes se mantienen entre un 40 y 60% de parecido a

las opiniones de los expertos. Los estudiantes suelen llevar explícitamente posiciones contrarias a las de los expertos en un 20 a 30% del tiempo.

El *Colorado Learning Attitudes about Science Survey* (C-LASS) se construyó a partir del MPEX buscando corregir algunas debilidades que tenía. Adams et al (2006) buscaron mejorar la elaboración de las preguntas, asegurando el entendimiento por todos los grupos de control. Aunque comparten algunas preguntas, las dimensiones que evalúa son muy diferentes y la forma en que se integraron es una de las principales diferencias entre éstos enfoques. Se realizó un análisis factorial y a partir de los grupos creados por la estadística se definieron categorías. Posteriormente, se identificó lo que medía cada categoría y le asignaron un nombre. El diagnóstico cuenta con un total de 42 preguntas de las cuales 36 se encuentran divididas en ocho categorías, siendo éstas: Interés personal, Conexión con el mundo real, Solución de problemas general, Confianza en la solución de problemas, Sofisticación en la solución de problemas, Sentido de la Física, Entendimiento conceptual y Entendimiento conceptual aplicado.

Al igual que en los resultados encontrados en el MPEX, las aplicaciones posteriores son, por lo general, iguales o inferiores a las previas, mostrando que los cursos alejan las expectativas de los estudiantes de las de los expertos. Se cuenta con reportes de casos que utilizan metodologías basadas en Modelación que han conseguido lograr un acercamiento en las expectativas de los estudiantes hacia las de los expertos (Brewer, Kramer, & O'Brien, 2009; de la Garza & Alarcon, 2010).

2.3 Metodologías de enseñanza en Física

Los estudiantes pueden participar en actividades que les permitan aprender de manera más efectiva, sin reflexionar o cambiar sus creencias sobre cómo es que aprenden. Es necesario guiar a los estudiantes hacia una visión parecida a la de Albert Einstein donde la ciencia es un refinamiento del pensamiento diario. Muchos estudiantes ven el sentido común como una forma de pensar separada, que no puede ser usada o creíble, en una clase de Física. Los libros de texto normalmente comienzan un capítulo con definiciones formales y ecuaciones, y al final algunos ejemplos y aplicaciones en la vida real. Es recomendable comenzar con los ejemplos del día a día e intuiciones de sentido común, construyendo con definiciones cuidadosas para sacar de ahí las ecuaciones (Elby, 2001).

2.3.1 Aprendizaje tradicional. Los métodos de instrucción convencionales, basados en transmisión y recepción, han demostrado ser poco efectivos en el aprendizaje de la Física, incluso en universidades de gran prestigio (Powell, 2003) que reciben muy buenos estudiantes. En particular, la mecánica introductoria, la temática que se estudia en un primer curso de Física en la mayoría de las universidades, presenta esta problemática.

Después de pasar por la Instrucción tradicional se puede observar como algunos estudiantes ven los conceptos como partes aisladas de información y otros lo visualizan como una red coherente de ideas. Una parte de los alumnos relaciona aprender con recordar fórmulas, resolver problemas algorítmicamente; por el contrario, hay quien usa

conceptos fundamentales en la resolución de los problemas. Una parte de los estudiantes cree que aprender es absorber información, mientras que para otra parte es construir el entendimiento personal. Estos y distintos problemas mencionados por Elby (2001), no son corregidos por la Instrucción tradicional.

El ciclo de la Instrucción tradicional se refuerza al tener profesores que han logrado aprender de manera exitosa por medio de métodos tradicionales. Esto hace que los que aprendieron de forma tradicional, enseñen de esta misma manera, perpetuando una metodología de instrucción inadecuada (Beichner, et al., 1999). Normalmente, la instrucción se basa en los contenidos de un libro de texto y sigue el esquema presentado en la Figura 3 (Redish E. F., 2003).

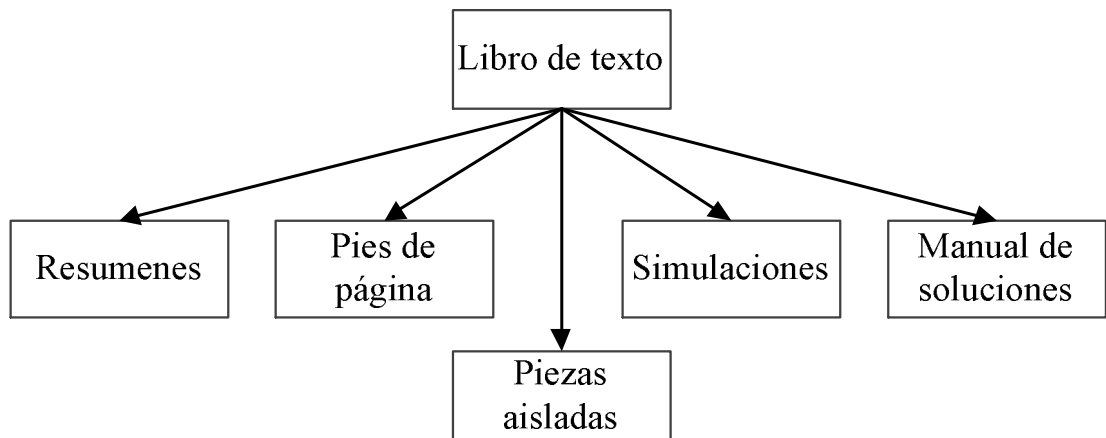


Figura 3. Mapa de los materiales de un curso tradicional.

Las principales características de la Instrucción tradicional son:

- Centrado en el contenido del curso.

- Los laboratorios constan de pasos a seguir con el fin de demostrar algo ya conocido.
- El instructor se encuentra activo en la clase mientras los estudiantes son pasivos.
- Se espera que el alumno haga actividades fuera del salón de clases como leer y resolver problemas, pero se les da poca retroalimentación a los estudiantes en sus logros fuera del salón.

2.3.2 Aprendizaje activo. Algunas de las principales características del aprendizaje activo son:

- El curso es centrado en el estudiante, lo que hacen en el salón es la base del curso.
- Los laboratorios buscan guiar el descubrimiento, se les guía a ver un fenómeno y deben construir una explicación de este.
- El curso puede incluir ejercicios explícitos para desarrollar las capacidades de razonamiento.
- Se busca que los estudiantes estén intelectualmente activos durante la clase.

Algunos de los principales métodos activos de enseñanza de la Física, según Redish (2003), son: Instrucción entre pares, clases demostrativas interactivas, resolución de problemas cooperativos, tutoriales en Física Introductoria, demostraciones interactivas, etc.

2.3.3 Modelación. Para Gilbert (2004) un modelo puede ser de un evento, una parte del comportamiento de un sistema, un proceso etc. Según Gilbert, el aprendizaje cuando se enseña en base a modelos se da cuando los alumnos tienen un entendimiento aceptable del modelo, han generado la capacidad de visualizar mentalmente modelos y cuentan con un entendimiento aceptable de la naturaleza de la metáfora y analogía de donde provienen éstos. Se trabaja de ahora en adelante con la metodología de enseñanza de la Física llamada Instrucción por Modelación desarrollada inicialmente por Hestenes (1987) y se comparara con otras líneas de Modelación.

La Instrucción por Modelación fue creada para proporcionar a los estudiantes las herramientas y recursos epistemológicos necesarios para convertir el sentido común en entendimiento científico del mundo. Los principios de su desarrollo provienen de las experiencias del profesor Malcolm Wells con sus grupos de secundaria (Wells, Hestenes, & Swackhamer, 1995). Durante años, fue mejorando su enseñanza pero al medirla con un test estandarizado se dio cuenta que faltaba algo en sus clases. Los alumnos se mantenían trabajando y en tema, tras investigar incorporó la parte de modelos a su clase. Al basar su clase en modelos hizo una comparación con otros dos profesores, donde logró resultados muy superiores. Ambos grupos de control contaban con profesores con una experiencia similar a la de él, uno con Instrucción tradicional y otro basado en trabajo en equipo. En un análisis posterior de sus clases, investigadores pudieron ver que para él no era suficiente una respuesta correcta, los alumnos llegaban a comprender el porqué de lo que hicieron y lo respaldan con la teoría trabajada en clase. La teoría formal de Instrucción por modelación fue formulada por Hestenes, Halloun y

Swackhammer (Halloun & Hestenes, 1987; Halloun, 2004; Hestenes, 1987; Wells, Hestenes, & Swackhamer, 1995) después de años trabajando juntos con Malcom Wells.

En Estados Unidos, aproximadamente un 10 % de los maestros de Física de las escuelas secundarias han recibido entrenamiento formal en Instrucción por Modelación. Esta metodología se centra en el despliegue de modelos cuantitativos y cualitativos, y su prueba en situaciones reales. Para Brewster (2008), es importante hacer explícito el proceso de la elaboración del modelo y el uso de este para los estudiantes. El modelo comienza cualitativo y llega a ser cuantitativo. El curso se basa en el desarrollo y prueba de modelos en el contexto físico. Se centra en la enseñanza del proceso científico, aunque especial énfasis es dado al aprendizaje conceptual.

Al utilizar esta metodología, al manejar un número reducido de modelos, se mantiene a los alumnos centrados en los principios básicos. Coherencia y enfoque en principios fundamentales evita el análisis de demasiados conceptos que pueden volverse confusos para los estudiantes. Se lleva a cabo el seguimiento del proceso científico auténtico, al ir creando un modelo adecuado para cada situación, ya sea partiendo desde cero o refinando alguno creado con anterioridad.

Al abordar en un curso entre 6 a 8 modelos, en lugar de 14 capítulos de un libro. Se crea un efecto psicológico que facilita el aprendizaje al no sentir la necesidad de estudiar cientos de principios. Algunos acercamientos pedagógicos y paquetes curriculares, resaltan la importancia de los modelos, pero sólo la Instrucción por modelación hace explícito su uso. La diseminación de la metodología de modelación se

hace principalmente por medio de talleres de verano para profesores. No se ha adoptado aun un proceso de capacitación formal para profesores en las universidades.

2.3.3.1 Los modelos. El término modelo cuenta con una gran cantidad de definiciones. Para Hestenes (1987), un modelo es una representación conceptual de algo real. Cada modelo debe de ser capaz de aplicarse en una amplia variedad de problemas. Un modelo proporciona información que no aparece o es confundida en la Instrucción tradicional y libros de texto. Los modelos pueden llegar a ser considerados las anclas epistemológicas para el conocimiento físico. Permiten estructurar el aprendizaje, ya que un número pequeño de modelos puede ser aplicable a una gran cantidad de situaciones.

Etkina, Warren y Gentile (2006) por su parte, definen cuatro ideas de los modelos, generalizadas entre los profesionales de la Física, como:

- Un modelo es una versión simplificada de un proceso u objeto a estudiar. El científico que crea el modelo decide qué características incluir o descartar.
- Un modelo puede ser descriptivo o explicativo, los modelos explicativos se basan en analogías, relacionando el objeto o proceso con objetos o procesos más familiares.
- Un modelo necesita tener capacidad de predecir.
- El poder predictivo de un modelo tiene límites.

Para Hestenes (1987), un modelo matemático cuenta con cuatro componentes. El primero consta de nombres para los objetos y agentes que interactúan con estos, además

de cualquier parte específica del objeto que es representada en el modelo. El segundo, un grupo de descriptores, que representan ciertas propiedades de los objetos. Estos pueden ser variables del objeto, que representan propiedades intrínsecas de este, variables de estado, que representan propiedades intrínsecas que pueden cambiar en el tiempo, y variables de interacción, que representan la interacción con algún objeto externo o agente. El tercer componente son las ecuaciones del modelo, que describen la estructura y cómo evoluciona con el paso del tiempo. El cuarto componente es la interpretación, relacionando así los descriptores con propiedades de un objeto que representa el modelo.

Físicos y matemáticos suelen identificar las ecuaciones de un modelo directamente de éste. Por el conocimiento del área no suelen centrarse en la interpretación. Los estudiantes deben centrarse en la interpretación ya que es un componente crítico de la creación de modelos. Sin una interpretación, las ecuaciones del modelo no representan nada, son simplemente relaciones matemáticas entre variables abstractas. Para Hestenes (1987), esta es la razón por la cual las ecuaciones en Física son tan difíciles para los estudiantes, ya que no cuentan con la capacidad de interpretación del instructor, y este último no dedica tiempo especial donde se permita una interpretación por parte de los alumnos.

Gilbert (2004) por su parte categoriza los modelos en ocho tipos:

1. *Modelo mental*. Este es el modelo privado o personal que cada individuo crea.

2. *Modelo externo o expresado*. Es la versión del modelo mental que se expresa públicamente.
3. *Modelo de consenso*. Es el modelo con el cual un grupo concuerda.
4. *Modelo científico*. Es el modelo desarrollado por los científicos, el más completo y avanzado.
5. *Modelo histórico*. Fue en algún tiempo el modelo científico, pero fue reemplazado por un modelo más robusto.
6. *Modelo curricular*. Es un modelo creado con fines de enseñanza, puede ser basado en un modelo científico o uno histórico.
7. *Modelo de enseñanza*. Son modelos secundarios que ayudan el aprendizaje de los modelos curriculares.
8. *Modelo híbrido*. Es un modelo que cuenta con características de varios modelos históricos, puede ser útil en algunas situaciones de enseñanza.

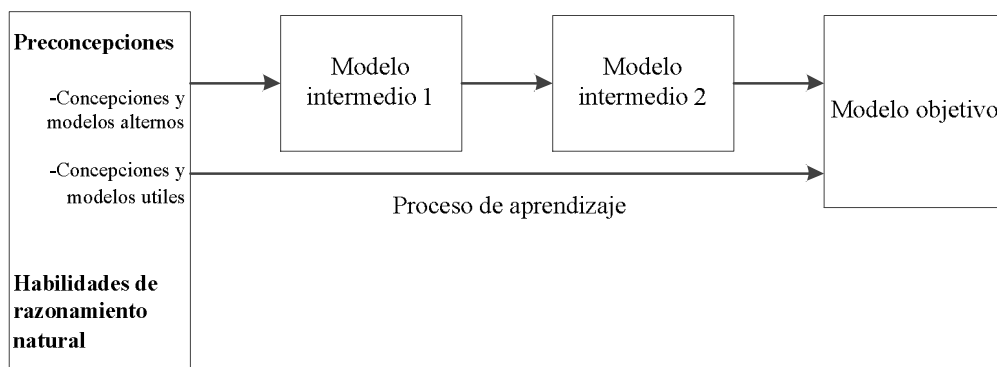


Figura 4. Proceso de aprendizaje basado en modelación (Clement, 2000)

Clement (2000) caracteriza el proceso de desarrollo de modelo en los estudiantes en el esquema que se presenta en la Figura 4. Para él, la enseñanza parte de las

preconcepciones de los estudiantes y su razonamiento, construyendo con ellas modelos intermedios hasta llegar al modelo objetivo. Éste suele ser un modelo menos robusto que el modelo de consenso de los expertos pero es el modelo que cubre el material que se desarrolla en el salón de clases. Clement por su parte nombra al modelo curricular de Gilbert (2004) Modelo Objetivo y al Modelo Científico, el Modelo de Consenso entre los Expertos. Los modelos intermedios serían los modelos de enseñanza de Gilbert, por lo que con diferentes nombres, ambos autores se refieren a los mismos.

Además de los diferentes modelos, cada modelo se compone de diferentes representaciones, cada una de estas representaciones pertenece a uno de los siguientes cinco modos según Gilbert (2004). Las representaciones concretas son tridimensionales y hechas a partir de materiales sólidos, como el modelo en metal de un avión. Las representaciones verbales consisten en descripciones de las entidades y las relaciones entre ellas. Las representaciones simbólicas son las que consisten en símbolos o fórmulas. Las representaciones visuales pueden ser gráficas, diagramas o animaciones y las representaciones gestuales, son las que usan el cuerpo o partes de éste.

2.3.3.2 Construcción del modelo. La construcción de un modelo comienza con el uso de gráficas, tablas, diagramas o ecuaciones para representar una situación Física. El uso continuo de estas representaciones permite identificar características generales, de las que surgen patrones e interpretaciones. Entonces, es posible juntar las representaciones en un modelo que aplican a una gran cantidad de situaciones diversas.

Hestenes (1987) presenta cuatro pasos que conlleva el crear un modelo: Descripción, Formulación, Ramificación y Validación. En el primero, se buscan los nombres y variables descriptivas del modelo junto con la interpretación física (o matemática) de cada una de éstas. En este paso, se decide además el tipo de modelo que se realizará, para tomar o descartar aquellas características que no sean importantes en este caso específico. El paso de Formulación es donde las leyes que rigen el comportamiento de los componentes del modelo son aplicadas. El resultado de esta etapa es la creación de ecuaciones que describen el comportamiento de los componentes del modelo. El tercer paso, llamado Ramificación, es donde las propiedades especiales y las implicaciones del modelo son desarrolladas. El cuarto paso es el de la Validación. En esta etapa se evalúa el resultado del análisis y se ve si el resultado es posible, o no, dentro del conocimiento que se tiene de la situación en estudio.

Brewe (2008) presenta un ciclo de generación de modelos parecido al de Hestenes. En este presenta cinco pasos que son: Introducción y representaciones, Coordinación de las representaciones, Aplicación, Abstracción y generalización, y Refinamiento. En este caso se separan algunos pasos para hacerlos más explícitos y facilitar así el seguimiento de éstos. El cambio entre modelos se da cuando un modelo llega a su límite. Para Brewe (2008) este momento llega cuando el modelo actual es incapaz de tomar en cuenta todas las restricciones o características de un problema.

El proceso de modelación dentro del salón de clases, partiendo de lo presentado anteriormente, puede dividirse en dos partes (Jackson, Dukerich, & Hestenes, 2008),

desarrollo del modelo y el despliegue del modelo. Durante el desarrollo del modelo se realiza inicialmente una discusión inicial, posteriormente se realiza una investigación en laboratorio y finalmente se realiza una discusión de lo realizado en el laboratorio. Por su parte en el despliegue del modelo, se trabaja en actividades en papel, se realizan exámenes rápidos, se despliega el modelo en situaciones reales y se realizan los exámenes de unidad.

Un ejemplo de este proceso utilizando el currículo desarrollado por la Universidad Internacional de Florida sería el que se presenta en la Tabla 4. Este proceso describe la creación del modelo de energías a partir de las diversas actividades que forman parte del currículo (Brewer E. , 2008).

Tabla 4.
Proceso de construcción del modelo de energía (Brewer E. , 2008)

Día	Actividad	Propósito	Tópico
1	Rebote de una pelota	<ul style="list-style-type: none"> • Ramificación de Modelo • Introducción de herramientas 	Introducción de conservación de energía (cualitativo)
2	Laboratorio cuantitativo de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión del modelo • Adaptación del modelo 	Introducción de conservación de energía (cuantitativo)
3 y 4	Modelar situaciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación del modelo • Adaptación del modelo 	Solución de problemas de energía
5	Modelando una situación estática	<ul style="list-style-type: none"> • Extensión del modelo 	Introducción a fuerzas

2.3.3.3 Resultados positivos de Instrucción por Modelación. En la literatura se reporta que cursos basados en Instrucción por Modelación logran ganancias de al menos el doble que grupos tradicionales. Las ganancias van de un 0.30 para modeladores novicios a 0.50 para modeladores expertos. En comunicaciones privadas con profesores modeladores e instructores de los talleres mencionan ganancias de hasta 0.80.

Diversas relaciones se han encontrado entre la Instrucción por modelación y algunos de los factores del aprendizaje de la Física. Algunos de los hallazgos en solución de problemas, razonamiento científico y actitudes hacia el aprendizaje se presentan a continuación.

Hestenes (1987) propone el utilizar modelación como forma de resolución de problemas. Propone dos pasos para dicha solución, siendo estos: la creación de un modelo viable y la ramificación para conseguir la información solicitada. Las tácticas que propone para la solución de problemas son:

1. Conseguir información sobre los objetos y sus propiedades.
2. Encontrar el objetivo en relación con la información de los objetos o procesos a ser adquirida.
3. Encontrar la teoría científica relevante y seleccionar los modelos que podrían servir a llegar a la meta.
4. Revisar el modelo para ver si la información de este es suficiente para conseguir la información deseada.

5. Es normalmente más sencillo derivar primero las ecuaciones y finalmente intentar resolverlas sustituyendo números en ellas.

En cuanto al razonamiento científico, Ates y Cataloglu (2007) han recomendado el uso del razonamiento científico para categorizar a los estudiantes. Alarcón y de la Garza (2009) encontraron que la Instrucción por modelación beneficia más a los alumnos que cuentan con mayor razonamiento científico. Al correlacionar el razonamiento científico con el aprendizaje conceptual medido con el FCI se obtiene una correlación de $.349$ ($p < .05$) para la Instrucción tradicional mientras que para el grupo de modelación esta es de $.526$ ($p < .05$). En si un mejor aprovechamiento de las capacidades de razonamiento de los estudiantes en grupos instruidos por medio de modelación.

Brewe, Kramer y O'Brien (2009) analizaron el comportamiento de grupos basados en modelación en una universidad. Durante su investigación encontraron un resultado que se opone a lo observado anteriormente con otras metodologías educativas. En un curso impartido con modelación en la Universidad Internacional de Florida, se logró encontrar cambios positivos en el C-LASS. Las categorías de Interés personal y General cuentan con un cambio positivo estadísticamente significativo. La construcción de modelos sobre pizarrones trasciende al salón de clases, los alumnos siguen trabajando con los modelos fuera del aula gracias al enfoque colaborativo y centrado en modelos. Este es el primer cambio actitudinal significativo observado en Educación de la Física.

De la Garza y Alarcón (2010) encontraron igualmente cambios positivos en varias dimensiones que mide el C-LASS. Esta segunda aportación en un ambiente totalmente

diferente confirma la posibilidad de mejorar las expectativas de los alumnos en un curso basado en la metodología de modelación.

2.4 Espacios de aprendizaje

Las diferencias en la forma de pensar y aprender no son las únicas dificultades con las que se encuentran los alumnos durante su paso por los salones de clases.

Investigaciones han encontrado que hay aspectos importantes que permiten mejorar o mantener igual el proceso de instrucción. Uno de estos factores es el espacio donde se realiza este proceso.

2.4.1 Evolución de los espacios de aprendizaje. Los salones de clases no siempre han sido como los conocemos hoy en día. Éstos han ido cambiando en las últimas décadas aunque paulatinamente. En Estados Unidos los salones han evolucionado desde espacios con bancos individuales a auditorios con grandes mesas donde muchos alumnos pueden presenciar la clase de un profesor. Lo importante para las instituciones educativas es el aprovechar los espacios y el tiempo de los profesores para educar la mayor cantidad de alumnos (Beichner, et al., 2007).

Actualmente, la Instrucción tradicional se basa en la transmisión de conocimientos de una persona a otra, o de un libro a una persona. Algunas universidades buscan la masificación de la enseñanza por lo que se crean auditorios de gran capacidad donde los alumnos pueden recibir la instrucción de un muy buen profesor. Esto resulta en no aprovechar la capacidad de los alumnos, y limitarlos a ser un escucha. Además que la

estructura de estos salones impide la aplicación de metodologías activas. Sólo algunas metodologías como: Instrucción entre pares y Demostraciones interactivas, funcionan adecuadamente en estas distribuciones.

2.4.2 Iniciativa SCALE-UP. Beichner et al (1999) investigaron por cuatro años el impacto de la experiencia en una universidad para estudiantes de primer año. La finalidad de dicha investigación era la de combinar los esfuerzos de las diferentes disciplinas para mejorar el entendimiento y las actitudes de los estudiantes hacia los materiales que se cubren durante el primer año en una escuela de ingeniería. Se unieron esfuerzos en diferentes disciplinas con el fin de disminuir el agotamiento o desgaste que sufren los alumnos de nuevo ingreso en el proceso de aprendizaje. Los cursos involucrados en este proyecto fueron: Matemáticas, Química, Física e Introducción a la Ingeniería. El resultado de dichas investigaciones fue el diseño de un salón de clases centrado en el alumno en lugar del profesor, esto permite a los alumnos generar conocimiento de manera individual y colaborativa mientras que el profesor guía el aprendizaje. Otro de los elementos encontrados en esta investigación fue que la socialización es un aspecto de gran importancia en el aprendizaje de los estudiantes (Gaffney, Richards, Kustusch, Ding, & Beichner, 2008). La implementación de un salón con dichas características se ha encontrado que mejora significativamente el entendimiento conceptual. Además se ha demostrado que mejora el nivel de retención de los conocimientos. A continuación, se describirán varios aspectos de un salón tipo SCALE-UP.

2.4.2.1 Tecnología. Los alumnos actuales de las universidades han tenido acceso a la tecnología y el internet durante toda su vida. El salón de clases debe de contar no sólo con la tecnología que los alumnos tienen en su casa, sino con aquella que se espera sepan utilizar de manera efectiva en su vida. Cada tres alumnos forman un grupo que cuenta con una computadora con Internet y software especializado que le permite utilizarla para obtener información, resolver problemas o socializar con sus amigos. El acceso a computadoras dentro del salón de clases, más que distraer, enriquece la experiencia de los estudiantes, permite mejorar el proceso de aprendizaje; es posible hacer modelaciones de la realidad o simulaciones. Se ha observado que cuando el alumno intenta que la tecnología haga lo que él quiere, se mantiene concentrado por más tiempo (Gaffney, Richards, Kustusch, Ding, & Beichner, 2008). Desde luego es importante que el profesor tenga la posibilidad de monitorear y controlar las computadoras de los alumnos en caso que sea necesario, como para bloquear software, limitar internet o apagar equipos.

Además de las computadoras, el acceso a material para la realización de experimentos es en extremo importante. Deben existir suficientes recursos para que los alumnos puedan trabajar con el material requerido (Beichner, et al., 2007).

2.4.2.2 Mobiliario. De acuerdo a los autores, la pieza de tecnología más importante de un salón tipo SCALE-UP son las mesas. Gaffney, Richards, Kustusch, Ding y Beichner (2008) encontraron que las mesas rectangulares no son adecuadas para trabajo en grupo, y después de varias iteraciones encontraron que las circulares son las

más adecuadas para un salón de clases. El diámetro de las mesas también es importante, ya que al ser éstas de dos metros, permiten que nueve alumnos puedan estar cómodos permitiendo tener tres equipos de tres personas por mesa. El diseño busca parecerse a un restaurant para así ayudar a que los alumnos se sientan cómodos y relajados mientras pueden relacionarse con los demás integrantes de la mesa. Con este acomodo el profesor puede llegar hasta donde se encuentre cada alumno ya que no existen lugares inaccesibles, y realizar preguntas o ayudar a guiar a los estudiantes. Un ejemplo de esta implementación se encuentra en el salón ACE, por sus siglas aprendizaje centrado en el estudiante, en el Tecnológico de Monterrey, esto se puede observar en la Figura 5.

Debe haber una cantidad suficiente de pizarrones en las paredes e individuales, ambos para el uso de los alumnos. La idea detrás de pizarras individuales o grupales, es permitir la exposición del trabajo al resto de los alumnos (Gaffney, Richards, Kustusch, Ding, & Beichner, 2008).



Figura 5. Salón tipo SCALE-UP en el Tecnológico de Monterrey.

2.4.2.3 Currículo. El cambio en la estructura general del salón de clases y la facilidad de interacción entre los estudiantes elimina la posibilidad de dar una clase expositiva de manera óptima. Para mantener trabajando a los estudiantes de manera efectiva utilizando las características del salón de clases, es necesario el diseño de actividades adecuadas, haciendo énfasis en el trabajo en equipo y el uso natural de la tecnología. Los dos principales tipos de actividades realizadas en este salón son las llamadas: Tangibles y los Ponderables (Beichner, et al., 2007).

Las primeras, junto con experimentos de laboratorio, requieren la utilización de equipo científico y del día a día en un entorno socrático, donde el maestro interactúa con los estudiantes por medio de preguntas. A través de estos, los alumnos pueden mejorar

sus capacidades de estimación y entendimiento conceptual, además de conexión con el mundo real y uso del método científico.

Las actividades ponderables, son problemas que los estudiantes pueden discutir y resolver, normalmente en pizarras. Éstos pueden ser desde cálculos sencillos, hasta problemas complejos y paradójicos. Dentro de éstos, se pueden incluir modelación por computadora o simulaciones para ayudar a los alumnos a visualizar problemas complejos. Normalmente, existen pequeñas sesiones de exposición, no más de 15 minutos, con el fin de unir las actividades de forma cohesiva y poder pasar a la siguiente mientras se asegura de que se haya entendido el objetivo de la actividad.

Los estudiantes en un salón tipo SCALE-UP hacen ejercicios de laboratorios dentro del salón de clases, lo que permite vincular de mejor manera los materiales. Además, al tener una computadora y poder realizar reportes, mejoran sus habilidades científicas (Gaffney, Richards, Kustusch, Ding, & Beichner, 2008). Estos experimentos permiten también introducir temas, crear conexión con el mundo real, discutir conceptos anteriores y generar una base para la discusión e investigación.

2.4.2.4 Socialización. Uno de los aspectos que busca explotar el diseño de un salón tipo SCALE-UP es la interacción entre los alumnos. Existe extensa literatura sobre las ventajas del trabajo colaborativo en la Educación de la Física, el diseño del salón permite dichas interacciones (Heller & Hollabaugh, 1992; Heller, Keith, & Anderson, 1992). Un ejemplo de cómo la interacción entre los alumnos mejora el desempeño, se encontró cuando al avanzar el curso, los estudiantes comenzaban a retarse entre ellos y

al profesor, realizando preguntas relacionadas con los contenidos o llevando las soluciones de los problemas más allá de lo estipulado en el curso. La socialización resulta ser un factor importante en el aprendizaje de los estudiantes (Beichner, et al., 2007). Investigaciones muestran que, los alumnos simplemente aprenden mejor cuando trabajan juntos. Además los empleadores expresan que las habilidades de trabajo en equipo en los futuros profesionistas es una de las cualidades más importantes.

Una investigación muy importante hecha en Estados Unidos por Alexander Astin (1997) concluyó que la interacción entre pares y la interacción profesor-estudiante son los factores que más importan en la retención del conocimiento por parte de los alumnos y de su aprendizaje en general. El estudio se basó en aproximadamente 1300 escuelas, contando con aproximadamente medio millón de alumnos. El estudio se realizó de manera longitudinal y se intentó aislar todos los factores para buscar los más importantes. Algunos de estos factores fueron edad, sexo, raza, nivel socioeconómico etc.

2.5 Análisis crítico de los estudios realizados

Colleta, Phillips y Steinert (2007) proponen utilizar el razonamiento científico de los estudiantes como punto base para la comparación entre diferentes poblaciones. En un estudio previo encontraron que la correlación entre el razonamiento científico y el aprendizaje conceptual es mayor al encontrado entre el aprendizaje conceptual y los conocimientos previos del estudiante (Coletta & Phillips, 2005). Más importante, se

encontró que al utilizar metodologías de aprendizaje activo se presenta una correlación mayor entre el razonamiento científico y el aprendizaje conceptual.

Ates y Cataloglu (2007) buscaron correlaciones entre razonamiento científico, entendimiento conceptual y habilidades de solución de problemas en cursos de mecánica introductoria. El estudio se centró fuera de los Estados Unidos de América y los cursos analizados se impartieron de forma tradicional. En este estudio no se encontró correlación significativa entre razonamiento científico y entendimiento conceptual, se encontró exclusivamente una correlación positiva entre solución de problemas y razonamiento científico. En un análisis más profundo se determinó que la diferencia se aprecia solamente entre los alumnos en nivel concreto y los en nivel formal. Por su parte Alarcón y de la Garza (2009) replicaron esos estudios en grupos impartidos con una metodología de Instrucción por modelación. Los resultados mostraron que aquellos estudiantes que se encuentran en un estado más alto de razonamiento científico, aprendían más que aquellos que se encuentran en un estado inferior.

En ambos estudios, se concluye que los métodos activos para la enseñanza de la Física aprovechan de mejor manera la capacidad de razonamiento de los estudiantes, además de promoverla.

Gilbert menciona que es importante que en cualquier currículo basado en modelos y modelación, los estudiantes deben tener la oportunidad de desarrollar la capacidad de producir y probar modelos (Gilbert, 2004). Clement menciona que la principal dificultad para crear un currículo basado puramente en Modelación es que existen pocos temas en

los que se conozca suficiente en las preconcepciones de los estudiantes y en una cantidad adecuada de modelos a utilizar. Física es una de las disciplinas donde más se conocen las preconcepciones de los estudiantes, y basándose en la teoría de Modelación de Hestenes, es posible contar con las bases necesarias para dar una clase completa basada en Instrucción por Modelación.

El acercamiento de Instrucción por Modelación busca utilizar el sentido común de los estudiantes en entendimiento científico del mundo que los rodea. Se utiliza un esquema que guía a los alumnos por el proceso de descubrimiento y análisis de situaciones reales que permite un alcance coherente, conocimiento tanto de procedimiento como factual y un método integral para lograr estos objetivos.

3. Metodología

Este capítulo contiene la metodología utilizada para la realización del estudio. Este se basa, principalmente, en métodos de investigación cuantitativos. Teniendo como fuentes de información pruebas escritas realizadas por los estudiantes, exámenes y diagnósticos estandarizados que se utilizan a nivel internacional.

Se presenta el método de investigación seleccionado, la población y la muestra elegidas, el tema, las categorías e indicadores para este estudio, qué fuentes de información fueron utilizadas para medir estos últimos, qué técnicas se utilizaron para la recolección de datos, cómo se aplicaron los instrumentos y finalmente se describe el proceso de captura y análisis de datos.

3.1 Método de investigación

Se seleccionó el paradigma Positivista con un método cuantitativo de investigación, ya que las fuentes de información que se usaron son de carácter numérico con el fin de comparar entre diversos grupos. El diseño es cuasi experimental ya que no se puede modificar nada en los grupos no experimentales, y el control que se tiene dentro del grupo experimental no es suficiente para considerar el diseño experimental (Hernández, Fernández-Collado, & Baptista, 2006).

El fin de la comparación era contestar la pregunta principal de investigación: *¿Qué efecto tiene en el aprendizaje y las actitudes de los estudiantes, un currículo basado en Instrucción por Modelación, en un curso de Física a nivel universitario?*

Ya que el objetivo era conocer cómo son diferentes los estudiantes después de un semestre, se utilizaron cuestionarios, encuestas y exámenes como fuentes de información. Se analizaron por medio de pruebas estadísticas para encontrar patrones en el comportamiento por medio de análisis estadístico.

Para contestar las preguntas subordinadas se necesitó recolectar datos de los estudiantes y compararlos con los demás grupos con que se contaba. Para contestar la primera pregunta subordinada: *¿Cómo se compara el aprendizaje conceptual del grupo que siguió el currículo de Instrucción por Modelación con los demás grupos de Física 1?* Fue necesario comparar los 23 grupos de Física 1, con el grupo que siguió la metodología de Instrucción por Modelación. Ya que el total de la población ha presentado al menos un diagnóstico idéntico y examen final idéntico, fue posible comparar directamente los grupos de manera cuantitativa. También, fue posible analizar las diversas categorías que mide el diagnóstico para encontrar diferencias puntuales. Fue necesario además, comprobar que los diversos grupos no fueran significativamente diferentes al inicio, para poder realizar una comparación válida.

La segunda pregunta de investigación: *¿Cómo se compara el aprendizaje del grupo que siguió el currículo de Instrucción por Modelación en una universidad privada Mexicana con los resultados obtenidos en una universidad pública en Estados*

Unidos y la literatura? Se encuentra igualmente limitada a la información que se recolecta de manera recurrente en otras universidades, lo que limita a análisis de test. Un análisis estadístico ayudó a comparar los resultados obtenidos por la metodología en una universidad privada mexicana con la universidad donde se desarrolló el currículo.

Para dar respuesta a la tercera pregunta subordinada: *¿Cómo se modifican las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física en un grupo basado en Instrucción por Modelación?* y *¿Cómo se correlacionan los aprendizajes conceptuales con el razonamiento científico?* Se utilizaron diversos test aceptados ampliamente por diversos grupos de PER, con el fin de comparar los resultados de los alumnos que llevaron el currículo de Instrucción por Modelación en México con los encontrados en la literatura. Nuevamente, la comparación se debió realizar de manera cuantitativa, ya que la capacidad de utilizar métodos cualitativos es limitada por el acceso a alumnos que se tiene.

Por la naturaleza de la investigación, se seleccionó un diseño no experimental. Dentro de los diseños no experimentales, se trabaja en un diseño transversal, ya que se analizan y comparan diversos grupos de manera simultánea, en lugar de seguir a un grupo por un largo periodo de tiempo. Como se estaba buscando en la investigación las diferencias entre los grupos, se podía delimitar la investigación a correlacional-causal.

La investigación consistió en tres partes: la etapa de diseño, la etapa de recolección de datos y la etapa de análisis de resultados. La primera etapa era la preparación del curso a impartir y la preparación de los instrumentos que se utilizarán. Durante esta

etapa, se realizó la traducción de todo el currículo de Instrucción por Modelación al español y la capacitación de un profesor en dicha metodología. Para la capacitación, se visitó un año a una universidad en Estados Unidos, donde junto con otra profesora, se impartió el currículo en inglés. La universidad cuenta con una población mayoritariamente de habla hispana y atiende principalmente a minorías. Cuenta con estudiantes provenientes de diversas partes del mundo. Estas características permiten reducir las diferencias culturales que pudieran existir con la universidad mexicana.

Una vez realizado esto, se procedió a la preparación de los instrumentos a utilizar. La mayoría de ellos ya se encontraban en español y han sido utilizados con anterioridad, otros tuvieron que ser traducidos, como las preguntas comunes en exámenes parciales.

La recolección de datos se realizó a lo largo de la implementación del currículo. La forma de recolectar datos fue en forma de exámenes, algunos aplicados al inicio y final del semestre para medir cambio, otros a mediados del semestre para medir y comparar con otras universidades, y un examen final departamental que permite la comparación con los demás grupos dentro de la misma institución.

Una vez teniendo todos los datos recolectados, se procede al análisis de los datos, y se comparan con la literatura en el área y con resultados de otros grupos dentro y fuera de la institución donde se utilizó el currículo de Instrucción por Modelación.

3.2 Población y muestra

La población que se seleccionó para esta investigación es de alumnos que toman un curso de Física básica en una universidad mexicana. La universidad cuenta con un aproximado de 18000 alumnos provenientes de todos los estados del país. La mayoría de los alumnos que cursan una ingeniería toman al menos tres cursos de Física durante los primeros semestres de su estancia en la universidad. Los tres cursos que llevan son: 1) Física 1, donde el tema de interés es mecánica básica, 2) Física 2, donde se estudian fluidos, termodinámica, ondas y lentes, y 3) Electricidad y Magnetismo, donde se analizan las interacciones eléctricas y magnéticas y su efecto en otros objetos. El total de alumnos que cursan cada semestre agosto-diciembre dichas materias es de: 830 para Física 1, 327 para Física 2 y 545 para Electricidad y Magnetismo, aproximadamente. Se mencionan los datos de semestres agosto-diciembre ya que es el semestre donde se contó con la posibilidad de realizar la implementación. Es importante señalar que dicho semestre es el que cuenta con un mayor alumnado en la materia de Física 1 y que la mayoría de los alumnos son de primer ingreso. Otra razón para la selección de dicha población es la existencia de un currículo basado en Instrucción por Modelación para los cursos de Física 1 y Electricidad y Magnetismo en inglés lo que permite una implementación después de una traducción en lugar de tener que crear el currículo completamente.

De la población que se tiene de alumnos que cursan las materias de Física 1 y Electricidad y Magnetismo, se seleccionó un grupo para formar parte del estudio. La

decisión de tener un grupo viene del hecho que debe impartirse el curso completo con la metodología y es necesario recolectar datos a lo largo de todo el semestre. El contar con más grupos hubiera requerido la participación de más profesores, lo que hubiera afectado significativamente los tiempos de preparación. La muestra total inicial es de 38 alumnos. Estos factores mencionados en la selección del grupo hacen que ésta sea no probabilística.

Los alumnos inscritos en el grupo de Instrucción por Modelación se inscribieron de manera libre a la clase, al seleccionarlo de entre otros 24 cursos sin ninguna preferencia. Los alumnos fueron informados de la metodología que se utilizaría hasta el primer día de clases, lo que ayuda a proporcionar una población aleatoria. Un segundo grupo que puede ser considerado dentro de la muestra es el grupo que lleva Física 1 y Matemáticas 1 como una sola materia. Dicho grupo cuenta con 20 estudiantes y aunque sigue en lo general la metodología de Instrucción por Modelación, no la sigue al pie de la letra por lo que se utilizará en este estudio pero no es la muestra principal.

La muestra seleccionada en la universidad de Estados Unidos consta de 30 alumnos que cursaron la materia durante la capacitación al profesor que se realizó en esa universidad. Estos alumnos son parte de una población de 90 alumnos que llevan el curso de Física 1 siguiendo el currículo de Instrucción por Modelación cada semestre. Aproximadamente, el 20% de los alumnos que cursan la materia de Física 1 en la universidad norteamericana utiliza dicho currículo, por lo que la población total aproximada de alumnos que cursan la materia de Física 1 es de 450 alumnos.

Además de las muestras tomadas para esta investigación, se tiene acceso a muestras pasadas. Se cuenta con información de poblaciones enteras de años anteriores en cuanto a datos de los diagnósticos FCI, LAWSON y C-LASS. Algunos de los alumnos de la muestra inicial dieron de baja la materia o dejaron de asistir a las sesiones de clase de manera recurrente por lo que dichos alumnos fueron eliminados del estudio, dejando un total de 34 alumnos. Los alumnos eliminados del estudio son aquellos que no asistieron al menos a 10 de las sesiones que se tuvieron en el semestre ya sean clases o sesiones extra. Esto es acorde a la política de la institución de que si un alumno se excede de faltas no tiene derecho a examen final y por lo tanto reprueba el semestre.

Finalmente, existen grupos de honores en la materia de Física 1. Se presentarán los resultados de dichos grupos pero es de esperar que sean significativamente diferentes desde el inicio y que los aprendizajes de dichos grupos sean superiores ya que son grupos especiales.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Se cuenta con una gran variedad de fuentes de información, se enumerará cada una y se dará una breve descripción de ella. Las fuentes de información se clasifican en exámenes diagnósticos encontrados en la literatura y exámenes finales desarrollados por el departamento de la institución. A continuación se describe cada uno de los instrumentos utilizados en el estudio, junto con una justificación de la elección de dicho instrumento.

1. Diagnóstico de conceptos (FCI). Se aplicó el FCI a los alumnos para tener una herramienta de medición que nos permita compararlos con otros cursos dentro de la misma institución y contra la gran mayoría de universidades que realizan dicho diagnóstico estandarizado. Es un instrumento diagnóstico realizado por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) para medir con un examen de opción múltiple la comprensión de los estudiantes de los temas que se cubren en un curso de Física introductoria. Se centra en cinemática y fuerzas. El instrumento se encuentra en el Apéndice A.
2. Diagnóstico de razonamiento científico (LAWSON). Se aplica el diagnóstico de razonamiento científico a los estudiantes para conocer su estado actual. Recientes investigaciones proponen utilizar el razonamiento científico de los estudiantes para conocer su estado inicial, ya que ha evidenciado una alta correlación con el aprendizaje conceptual (Coletta & Phillips, 2005). Aunado a esto se busca saber si el curso impartido por medio de Instrucción por Modelación se ve afectado de alguna manera por el nivel de razonamiento que tenga el estudiante. El instrumento se encuentra en el Apéndice B.
3. Encuesta de actitudes hacia la Física y su aprendizaje (C-LASS). Este diagnóstico proporciona información sobre la actitud de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física. Se relaciona las respuestas de los estudiantes con aquellas que proporcionan los expertos, cuya variación en dicha encuesta es menor al 5%. Por lo general, los cursos tienden a alejar a los estudiantes de las actitudes que tiene un experto. Se busca conocer qué influencia tuvo el curso en las actitudes de los estudiantes. El instrumento se encuentra en el Apéndice C.

4. Examen final departamental. Todos los alumnos de la materia de Física 1 presentan un examen final realizado por profesores del departamento de Física. Un examen final departamental permite comparar el aprendizaje del curso con el aprendizaje de los demás cursos de la misma universidad. Se utilizarán los resultados de dicho examen para comparar el grupo que utilizó el currículo de Instrucción basada en Modelación con los demás grupos, además de permitir una evaluación interna de diferencias que se pudieran encontrar en problemas específicos y que pudiera ser resultado de la metodología. No se permitió por parte del departamento de Física copiar las preguntas que vienen en el examen final departamental, por cuestiones de seguridad y evitar copias. Se tuvo acceso a cómo respondieron los estudiantes solamente. En el Apéndice D, se encuentran los problemas tipo examen final que se les proporcionaron a los alumnos durante el curso y que son de acceso libre.

3.4 Aplicación de instrumentos

Cuatro de los cinco instrumentos utilizados se aplicaron por medio del uso de dos hojas: la que contiene las preguntas que conforman el examen y la hoja de respuestas. La hoja de respuestas del FCI se encuentra en el Apéndice E, la del LAWSON en el Apéndice F, la del C-LASS en el Apéndice G y la del examen final en el Apéndice H. Tres de los diagnósticos realizados se contestan por medio de opción múltiple, con cinco opciones de respuesta alfabética. Sólo el test C-LASS se realiza utilizando una escala

tipo Likert de cinco puntos, siendo el 1 completamente en acuerdo y el 5 completamente en desacuerdo.

El primer instrumento en ser utilizado fue el FCI. Dicho diagnóstico se aplicó en dos ocasiones, una al inicio y otra al final del semestre. La aplicación del inicio del semestre se realizó durante la última hora de la primera sesión de clase, después de platicar sobre cómo se llevaría a cabo el curso. La aplicación del final del semestre, se realizó el penúltimo día de clases, en los primeros cincuenta minutos de la sesión. Los otros 23 grupos de Física 1 también presentaron el diagnóstico con metodología similar. Dicho instrumento también se aplicó de manera similar en la universidad de Estados Unidos con la cual se hace la comparación de los resultados de la implementación.

El test de razonamiento LAWSON se aplicó una sola vez durante el semestre. Según estudios, los cambios en este diagnóstico son lentos y suelen tomar años en ver resultados, por lo que no fue aplicado al inicio sino a mediados del semestre. Durante la aplicación, se les pidió a los alumnos contestar dicho diagnóstico en un total de 35 minutos. La asistencia ese día fue de un 85% de la clase por lo que no se cuenta con los datos de todos los alumnos, aunque se cuenta con suficientes para comparar el grupo como un todo contra otros grupos en cuanto a nivel de razonamiento científico. Dicho instrumento sólo se aplicó en el grupo de control, aunque se cuenta con aplicaciones realizadas en años pasados como punto de referencia.

La prueba actitudinal C-LASS se aplicó también en dos ocasiones, una al inicio y otra al final del semestre. La aplicación inicial fue el segundo día de clases al final de la

sesión, separando la última media hora para dicho diagnóstico. La aplicación al final del semestre se realizó en la última sesión de clases. Dicho instrumento, se aplicó de manera similar en la universidad de Estados Unidos con la cual se comparan los resultados de la implementación. No se aplicó el instrumento a los demás grupos de Física 1, pero se cuenta con un archivo de varios años con los resultados de dichas implementaciones.

El examen final realizado por el departamento de Física se utiliza también como fuente de información. Este se aplicó semana y media después de terminadas las clases, y es común para todos los alumnos que cursaron la materia de Física 1, sin importar la metodología de enseñanza aprendizaje utilizada. En la aplicación de dicho examen, se contó con apoyo de un profesor externo que asegurara que la aplicación fuera objetiva y no hubiera apoyo a los alumnos por parte del profesor y desincentivar casos de deshonestidad académica. Los alumnos solamente pueden utilizar una calculadora científica básica y lápiz o pluma para contestar. Todos los procedimientos que realizaron se recogieron y sólo pueden utilizar el formulario proporcionado por los profesores. Se contó con un máximo de dos horas para la realización de dicho examen.

El resumen de los tiempos cuando se aplicaron los instrumentos se encuentra en la Figura 6. En esta se presentan los tiempos relativos en que se aplicaron los exámenes conceptuales de fuerza al inicio y al final del semestre y el examen final departamental, ambos para todos los grupos. Mientras que la encuesta actitudinal tanto al inicio como al final del semestre y el test de razonamiento científico solamente se aplicaron al grupo experimental.

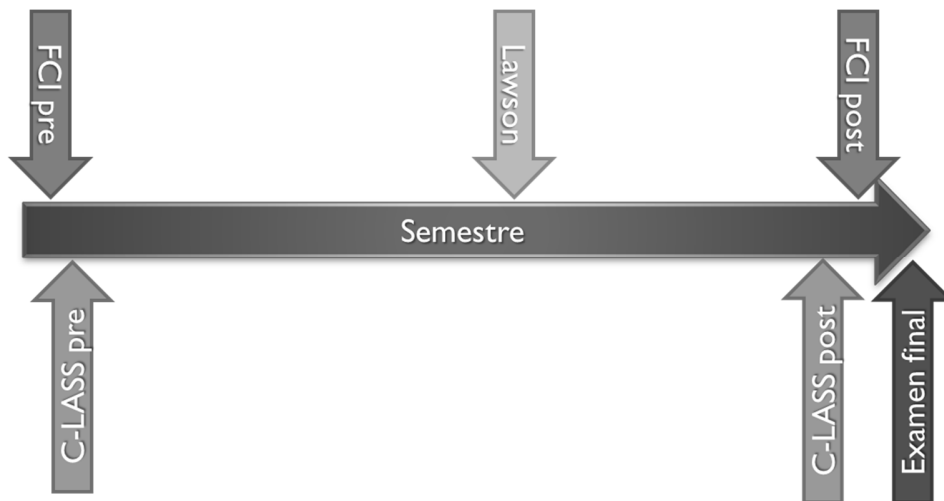


Figura 6. Aplicación de los instrumentos a lo largo del semestre

3.5 Captura y análisis de datos

La captura de los datos de los cuatro instrumentos seleccionados se realizó por medio de hojas de opción múltiple. Las hojas de respuesta que se les proporciono a los alumnos cuentan con alvéolos que ellos deben rellenar y posteriormente se utilizó un scanner de alta velocidad para realizar la captura. Los datos se analizaron de forma grupal, es decir son los resultados de cada grupo los que son comparados contra los demás grupos y la literatura.

Para el análisis del examen conceptual de Fuerzas (FCI), se realizó una hoja de Excel que ayuda a filtrar a aquellos alumnos que hubieran presentado tanto el diagnóstico inicial como el final. Además dicha aplicación calcula de manera automática la calificación global del examen y las calificaciones en cada una de las dimensiones

para cada uno de los alumnos. Posteriormente, se obtienen los datos de ganancia y cambios a partir de ambas aplicaciones presentando todos los datos en forma comparativa con los valores al inicio, final y los errores de dichas mediciones.

Se utilizaron primero una prueba de normalidad para conocer si el resultado en el FCI se comporta de manera normal o no dentro de cada grupo a analizar.

Posteriormente, dependiendo del resultado de esta prueba se procedió a comparar si los grupos son similares al inicio del semestre. Sólo aquellos grupos que se encuentren similares al inicio del semestre serán comparados las ganancias al final de este. La prueba que se utilizó para conocer si las distribuciones eran normales fue la Komolgorov-Smirnov y las que se utilizó en caso de que si eran paramétricas fue una prueba de medias t, mientras que si no lo son, se utilizó el análisis estadístico análogo para pruebas no paramétricas, Mann-Whitney.

Para corroborar que la hoja de Excel evaluara correctamente los resultados de los instrumentos utilizados, se compararon los resultados obtenidos con la nueva hoja contra 62 datos pre y 428 datos post, analizados en el año 2009 con una aplicación diferente cuya confiabilidad había sido ya confirmada. Al no encontrarse diferencia entre ambos programas se procede a decir que la aplicación es confiable.

Los resultados del examen final se compararon para encontrar diferencias entre los grupos seleccionados después de la instrucción. Para ello se utilizó un análisis de medias t o uno Mann-Whitney dependiendo si la muestra es paramétrica o no.

Los datos recolectados de la encuesta de actitudes hacia el aprendizaje de la Física fueron analizados en búsqueda de cambios. Se analizó por lo tanto la diferencia entre la nota obtenida al inicio y la obtenida al final, y se comparó si esta se aleja o acerca a lo que los expertos contestan en la encuesta. Con esto se permite conocer el efecto que tuvo el curso en las actitudes de los estudiantes.

Los resultados obtenidos del test de razonamiento científico se correlacionaron con los resultados obtenidos de aprendizaje conceptual. Y finalmente, todos los resultados se analizaron contra los encontrados en la literatura.

Al examen final se le realizaron algunas pruebas de validez y confiabilidad: las de índice de dificultad, índice de discriminación, coeficiente de correlación biserial puntual, índice de confiabilidad Kuder-Richardson y delta de Ferguson basándose en el análisis de un examen diagnóstico de electricidad y magnetismo (Ding, Chabay, Sherwood, & Beichner, 2006). Los autores señalan que para poder utilizar las ecuaciones proporcionadas para algunas de las pruebas es necesario que el examen de opción múltiple cuente con al menos 20 preguntas. Ya que el examen final departamental cuenta con 20 preguntas es posible realizar las cinco pruebas.

Las primeras tres de las pruebas se realizaron a cada pregunta y se reportan de manera individual, mientras las últimas dos se realizaron para la totalidad del examen. Por otra parte, las primeras dos pruebas pueden categorizarse como pruebas de validez, las otras tres se consideran pruebas de confiabilidad. A continuación, se explican de manera breve cada una de las pruebas que se realizaron al examen final departamental.

3.5.1 Índice de dificultad. El índice de dificultad es una medida que se aplica a cada reactivo de un test para conocer qué tan fácil o difícil fue contestarlo por la población que presentó dicho test. Suele ser indicado por la letra (P) y se obtiene dividiendo las respuestas correctas obtenidas en un ítem sobre la cantidad de personas (N) que realizaron dicho ítem. Ding et al. (2006) mencionan que los rangos recomendados para este índice son entre 0.3 y 0.9. Un valor menor a 0.3 significa que un ítem es muy difícil ya que menos del 30% de quienes lo presentaron lo contestaron correctamente, mientras un valor mayor a 0.9 significa que prácticamente todos los que presentaron el test obtuvieron correcta dicha pregunta. Los autores señalan además que se puede calcular un valor promedio de dificultad del examen al dividir la suma de las dificultades de cada ítem entre la cantidad de ítems. Los valores recomendados para la el promedio de dificultad son los mismos que los recomendados para ítems individuales, valores entre 0.3 y 0.9.

La utilidad del índice de dificultad de cada ítem es el hecho de poder modificar cada pregunta para conseguir una prueba con una cierta dificultad deseada. Es normal tener algunas preguntas más difíciles que otras, pero no es recomendable tener algunas que nadie pueda contestar mientras existan otras que todos contesten correctamente. Dicho índice permite generar exámenes más robustos y es por ello que es una prueba de validez del test.

3.5.2 Índice de discriminación. El índice de discriminación es una medida que se aplica a cada reactivo de un test para conocer si aquellos alumnos que contestan

correctamente un reactivo son aquellos con mejor o peor desempeño total en el test. Es decir, se calcula el poder de discriminación de cada ítem del test. El índice de discriminación (D) se puede calcular según Ding et al. (2006) por el método de 50% que implica dividir al 50% de los alumnos con mayor cantidad de reactivos correctos del 50% con la menor cantidad de reactivos correctos en el test. Posteriormente, se procede a calcular la cantidad de alumnos que contestaron correctamente el ítem del 50% superior (N_H) y la cantidad de alumnos que contestaron correctamente el ítem del 50% inferior (N_L). El índice de dificultad es luego calculado con la fórmula $D = \frac{N_H - N_L}{N/2}$.

Los valores que Ding et al. (2006) recomiendan para el índice de discriminación son aquellos superiores a 0.3. Un valor mayor implica que el ítem es contestado por alumnos que contestan más preguntas correctamente en el test, un valor menor significa que no importa el resultado en general en el test para dicho ítem. Es posible obtener valores negativos lo que implica que el ítem es malo ya que los alumnos que obtienen mejor puntaje lo contestan equivocadamente mientras los que obtienen puntajes bajos lo contestan correctamente. Los autores recomiendan ampliamente modificar o eliminar cualquier ítem que obtenga valores negativos. Finalmente, al igual que con el índice de dificultad es posible calcular el índice para el test en general. El índice del test se obtiene sumando los índices de dificultad de cada ítem y dividiéndolo entre la cantidad de ítems con que cuenta el test. El rango recomendado para el índice de discriminación del test es, al igual que el del ítem individual, mayor a 0.3.

3.5.3 Coeficiente de correlación biserial puntual. El coeficiente de correlación biserial puntual es una medida que nos permite saber que tan consistente es un ítem con el resto del test, es decir, nos relaciona las calificaciones que obtienen los alumnos en un ítem con las calificaciones que los alumnos obtienen en todo el test. La utilidad de dicha medida es que permite saber si los ítems miden lo mismo que se espera el test en general. Ding et al. (2006) aseguran que para calcular el coeficiente de correlación biserial (r_{pbs}) puede utilizarse la fórmula $r_{pbs} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}}{\sigma_X} \sqrt{\frac{P}{1-P}}$. Donde \bar{X}_1 es la calificación promedio en el test de aquellos alumnos que contestan correctamente dicho ítem del test, \bar{X} es el promedio de la calificación de todos los alumnos que contestaron el test, σ_X es la desviación estándar de las calificaciones de todos los alumnos que contestaron el test y P es el índice de dificultad del ítem en cuestión.

Los valores que Ding et al. (2006) recomiendan para el coeficiente de correlación biserial puntual son aquellos superiores o iguales a 0.2. Un valor mayor implica que el ítem en cuestión refleja de mejor manera el resultado general del test. Un valor cercano a 1 significaría que con sólo revisar dicho ítem se podría conocer la calificación del test, aunque ello implicaría que las calificaciones serían muy sesgadas, ya que cada pregunta solamente puede ser correcta o incorrecta. Valores menores significan que el ítem no tiene una relación real con el resultado del test, y aunque pudiera tener interés para el creador del test dicho ítem, este no mide lo mismo que el resto del test. Al igual que con las pruebas anteriores los autores recomiendan calcular el valor promedio al sumar los

coeficientes de correlación biserial puntual de cada ítem y dividirlo entre la cantidad de ítems. Los valores recomendados para el promedio son aquellos mayores o iguales a 0.2.

3.5.4 Índice de confiabilidad de Kuder-Richardson. El índice de confiabilidad de Kuder-Richardson es una medida de la consistencia de un examen. Dicho índice permite conocer que tan confiable es un examen al calcular las intercorrelaciones entre los ítems que lo componen. Ding et al. (2006) mencionan que para calcular el índice de confiabilidad de Kuder-Richardson (r_{test}) puede calcularse con la fórmula $r_{test} = \frac{K}{1-K} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^K P_i(1-P_i)}{\sigma_X^2} \right)$. Donde K es el número de ítems con que cuenta el examen, P_i es el índice de dificultad del ítem en cuestión y σ_X es la desviación estándar de las calificaciones de todos los alumnos que contestaron el test.

Los valores que Ding et al. (2006) recomiendan son aquellos superiores a 0.7 para medidas de grupo e iguales o superiores a 0.8 para medidas individuales. Es decir, con un índice mayor o igual a 0.7 se puede decir que el test es confiable para análisis que tomen a toda la muestra mientras que valores mayores a 0.8 implican que los resultados son también confiables para análisis que se realicen para casos individuales.

Para este trabajo se utilizó el índice de confiabilidad de Kuder-Rickardson conocido como K-R 20. La diferencia entre el K-R 20 y el K-R 21 es que el segundo no toma en cuenta la dificultad de cada ítem, suponiendo que todos cuentan con una dificultad idéntica, lo que es falso en los exámenes a analizar. Pudo utilizarse el alfa de Cronbach pero ya que al aplicarse a valores dicotómicos se reduce al K-R 20, se decidió

usar desde el principio el segundo método ya que las respuestas proporcionadas por los alumnos solamente pueden ser correctas o incorrectas.

3.5.5 Delta de Ferguson. La delta de Ferguson es una medida de las características discriminatorias que tiene un examen al analizar cómo se distribuyen las calificaciones en el rango posible. Es decir, nos ayuda a conocer que tan distribuidas se encuentran las calificaciones. Puede ser considerada una prueba de confiabilidad ya que un examen confiable debería tener una distribución entre todas las calificaciones posibles. La delta de Ferguson (δ) puede calcularse según Ding et al. (2006) con la

formula $\delta = \frac{N^2 - \sum_{i=1}^K f_i^2}{N^2 - \frac{N^2}{K+1}}$. Donde N es la cantidad de personas que contestaron el examen,

K es el número de ítems con que cuenta el examen y F_i es la cantidad de veces que se encontró cada una de las calificaciones.

Los valores que Ding et al. (2006) proponen para la delta de Ferguson son aquellos mayores a 0.9. Valores significativamente menores significan que la distribución de respuestas se aleja de una distribución normal, mientras valores iguales a 1 implica una distribución normal perfecta. Además la delta de Ferguson nos indica el poder de discriminación del examen, ya que si la cantidad de respuestas correctas no se comporta de manera normal implica que hay acumulaciones de cantidad de respuestas correctas.

A continuación, en la Tabla 5, se muestra un resumen de los valores esperados para las pruebas de validez y confiabilidad que se presentan.

Tabla 5.
Índices de validez y confiabilidad según Ding, Chabay, Sherwood y Beichner (2006)

Índices	Valores posibles	Valores deseados
Dificultad promedio (P)	{0,1}	≥ 0.3 y <0.9
Discriminación promedio (D)	{-1,1}	≥ 0.3
Coefficiente de correlación biserial puntual	{-1,1}	≥ 0.2
Índice de confiabilidad de Kuder-Richardson	{0,1}	≥ 0.7 Grupal ≥ 0.8 Individual
Ferguson`s delta	{0,1}	>0.9

4. Análisis de Resultados

En este capítulo se presentan los resultados que se recolectaron con los cuatro instrumentos utilizados durante la implementación del currículo de Instrucción por Modelación. Los resultados se presentan en dos partes: la presentación de los resultados y el análisis de estos comparada con los datos de la literatura que se analizó con anterioridad. En cada sección se tratan primero los resultados del examen conceptual FCI, luego los resultados del examen final departamental, seguido de los resultados de la encuesta de actitudes hacia el aprendizaje de la Física C-LASS y finalmente los resultados del análisis del razonamiento científico.

4.1 Presentación de resultados

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos en la investigación realizada. Los resultados provienen de: Examen Conceptual de Fuerza, Examen Final Departamental y exámenes de indicadores que son relevantes para el aprendizaje de la Física.

4.1.1 Examen conceptual de Fuerza. En la Tabla 6, se muestran los resultados obtenidos en el examen conceptual de Fuerza (FCI) durante el semestre agosto-diciembre 2012. La cantidad de alumnos son aquellos que presentaron el examen al inicio del semestre y los que lo presentaron también al final de este periodo. Esto reduce la cantidad de alumnos con que se contaba al inicio de manera considerable. En la segunda columna se presenta el resultado obtenido al inicio del semestre para cada uno

de los grupos. La tercera columna contiene el resultado de cada uno de los grupos al final del semestre. La ganancia de cada grupo se presenta en la última columna. Cada uno de estos valores presentados es el promedio de los valores obtenidos por los alumnos en cada grupo. Un total de 789 alumnos presentaron el examen al inicio del semestre y 643 lo presentaron al final. Al filtrar los alumnos que presentaron ambos exámenes se cuenta con un total de 604 alumnos. Los resultados totales se calcularon al promediar a todos los alumnos de manera individual.

Tabla 6.
Resultados en el FCI para todos los grupos.

Grupo	n	Pre (err)	Post (err)	Ganancia
1	25	55.33	76.40	0.4716
2	24	44.58	64.17	0.3534
3	28	44.29	53.21	0.1602
4	29	40.92	54.71	0.2334
5	20	36.83	50.83	0.2216
6	25	36.27	46.27	0.1569
7	26	35.13	44.74	0.1482
8	22	34.70	49.09	0.2204
9	26	36.54	48.08	0.1818
10	22	32.58	43.33	0.1596
11	32	36.98	46.98	0.1587
12	29	34.48	43.68	0.1404
14	33	32.02	45.15	0.1932
15	14	32.14	47.62	0.2280
16	30	37.67	47.67	0.1604
17	31	36.77	45.81	0.1429
18	31	35.27	41.40	0.0947
19	33	38.69	48.79	0.1647
20	30	31.11	41.78	0.1548
21	26	32.44	46.41	0.2068
22	24	33.89	51.25	0.2626
24	28	38.57	54.52	0.2597
25	16	35.42	41.46	0.0935
Total	604	37.14	49.17	

Para seleccionar los grupos a comparar contra el grupo experimental, se realiza inicialmente una prueba Kolmogorov-Smirnov que nos permite conocer si los grupos se

comportan de manera normal. Si los grupos se comportan de manera normal, se aplica un Análisis de Medias t; si no lo son, la prueba equivalente no paramétrica Mann-Whitney. Se encontró que varios de los grupos no eran paramétricos en el FCI al inicio del semestre y se encontró que el grupo experimental no era paramétrico en ninguno de los factores a analizar, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.
Resultados de prueba Kolmogorov-Smirnov para el grupo experimental.

Examen	D	Significancia
Pre FCI	0.129	p>0.200
Post FCI	0.133	p>0.200
Ganancia	0.094	p>0.200

En base a los resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov, se parte a analizar por medio de la prueba no paramétrica Mann-Whitney cada uno de los grupos de Física 1 contra el grupo experimental. En la Tabla 8 se muestran los resultados de dicha prueba.

Tabla 8.
Resultados de la prueba Mann-Whitney para buscar grupos comparables al inicio.

Grupo	U	Significancia
1	197	0.006
2	267.5	0.208
3	315.5	0.207
4	373.5	0.603
5	294	0.769
6	379	0.604
7	382.5	0.748
8	340	0.530
9	386.5	0.696
10	364	0.272
11	461	0.847
12	461	0.379
14	546	0.222
15	222.5	0.478
16	427	0.913
17	445.5	0.861
18	463	0.659
19	443.5	0.788
20	501.5	0.203
21	431	0.244
22	374.5	0.479
25	210	0.732

A partir de los resultados de la prueba realizada se puede ver que no todos los grupos son comparables al inicio del semestre. Se decidió tomar como comparables aquellos con una significancia mayor o igual a 0.6 para fines de este trabajo. Es importante mencionar que esto elimina de entrada tres de los cuatro grupos honores, aunque queda dentro del análisis uno de ellos y el grupo donde se impartieron las clases

de Física y Matemáticas juntos. Los grupos que se utilizan para las comparaciones de aquí en adelante son: 4, 5, 6, 7, 9, 11, 16, 17, 18, 19 y 25.

Conociendo los grupos comparables, se procede con una prueba Mann-Whitney a las ganancias obtenidas después de la segunda aplicación del examen conceptual de fuerzas. Esto último para conocer si los grupos siguen o no, siendo similares después de la instrucción. Los resultados de esta prueba se encuentran en la Tabla 9.

Tabla 9.
Resultados de la prueba Mann-Whitney para las ganancias de los grupos comparables al experimental.

Grupo	U	Significancia
4	447.5	0.508
5	319	0.414
6	440	0.109
7	473.5	0.058
9	445.5	0.158
11	571	0.068
16	516.5	0.133
17	563	0.050
18	613.5	0.006
19	576	0.099
25	128	0.019

4.1.2 Examen final departamental. Los primeros resultados provienen del análisis de validez y confiabilidad realizado al examen. Se aplicaron 5 pruebas: índice de dificultad, índice de discriminación, coeficiente de correlación biserial puntual, índice de confiabilidad Kuder-Richardson y Delta de Ferguson (Ding, Chabay, Sherwood, &

Beichner, 2006). El total de alumnos que presentaron cada versión del examen se incluye en la tabla con un total de 746 alumnos que presentaron el examen final.

En la Tabla 10 se muestra el resumen de las pruebas de validez y confiabilidad. Posteriormente, se presentan de manera más detallada cada uno de los resultados para cada versión del examen final.

Tabla 10.
Resultados de las pruebas de validez y confiabilidad en el examen final

Índices	Valores posibles	Valores deseados	Versión 1	Versión 2	Versión 3	Versión 4
Dificultad promedio (P)	{0,1}	≥ 0.3	0.635	0.678	0.645	0.551
Discriminación promedio (D)	{-1,1}	≥ 0.3	0.310	0.317	0.327	0.342
Coefficiente de correlación biserial puntual	{-1,1}	≥ 0.2	0.419	0.428	0.447	0.437
Índice de confiabilidad de Kuder-Richardson	{0,1}	≥ 0.7	0.762	0.772	0.800	0.779
Ferguson's delta	{0,1}	0.9	0.972	0.971	0.968	0.979
N			187	186	184	189

4.1.2.1 Índice de dificultad. A continuación, se presenta en la Figura 7, el índice de dificultad de las cuatro versiones del examen final. Se grafica el índice de dificultad de cada una de las 20 preguntas que tiene cada versión del examen.

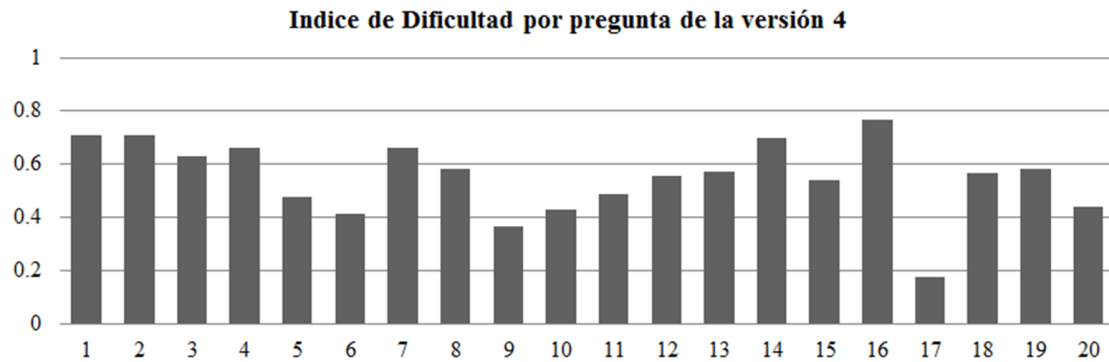
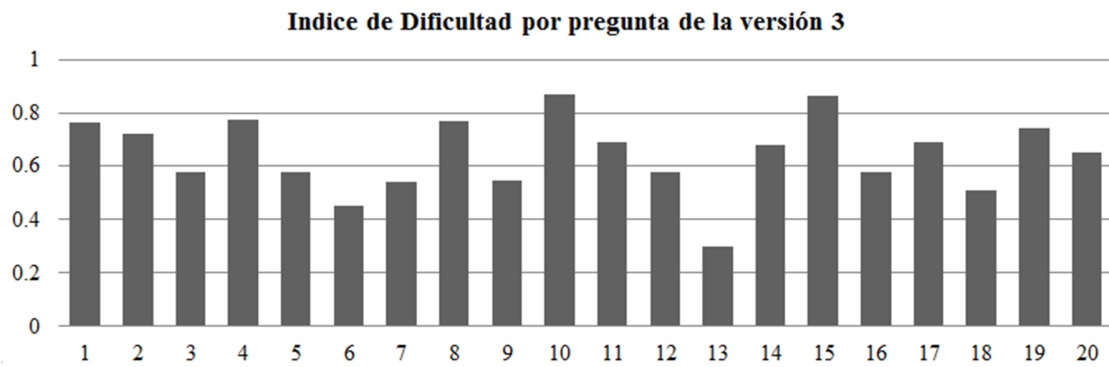
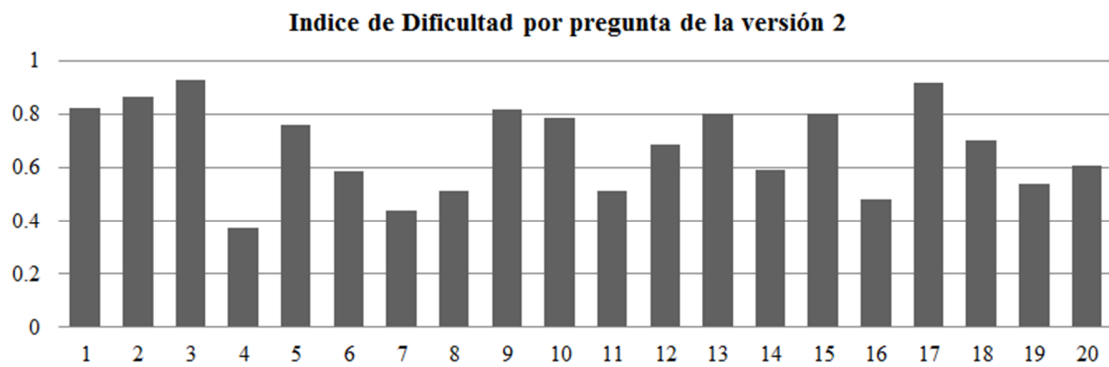
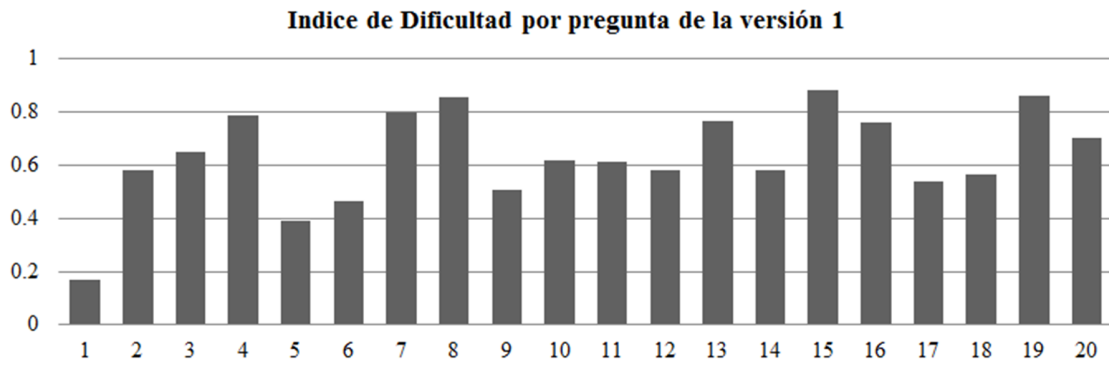


Figura 7. Índice de dificultad por pregunta de las cuatro versiones del examen

final

Como se puede apreciar en la Figura 7 los índices de dificultad se comportan de maneras diferentes en los diferentes exámenes. Esto se debe a que aunque se cubren los mismos conceptos en las versiones, estas no son idénticas en cuanto a la construcción de las preguntas ni en el orden de éstas. El índice de dificultad más bajo se encuentra en la versión 1 con una dificultad de 0.17 y el más alto se encuentra en la versión 2 con 0.93 de dificultad.

4.1.2.2 Índice de discriminación. En la Figura 8 se presentan los índices de discriminación de las cuatro versiones del examen final departamental. Se grafica el índice de dificultad contra las 20 preguntas que consta cada uno de los exámenes.

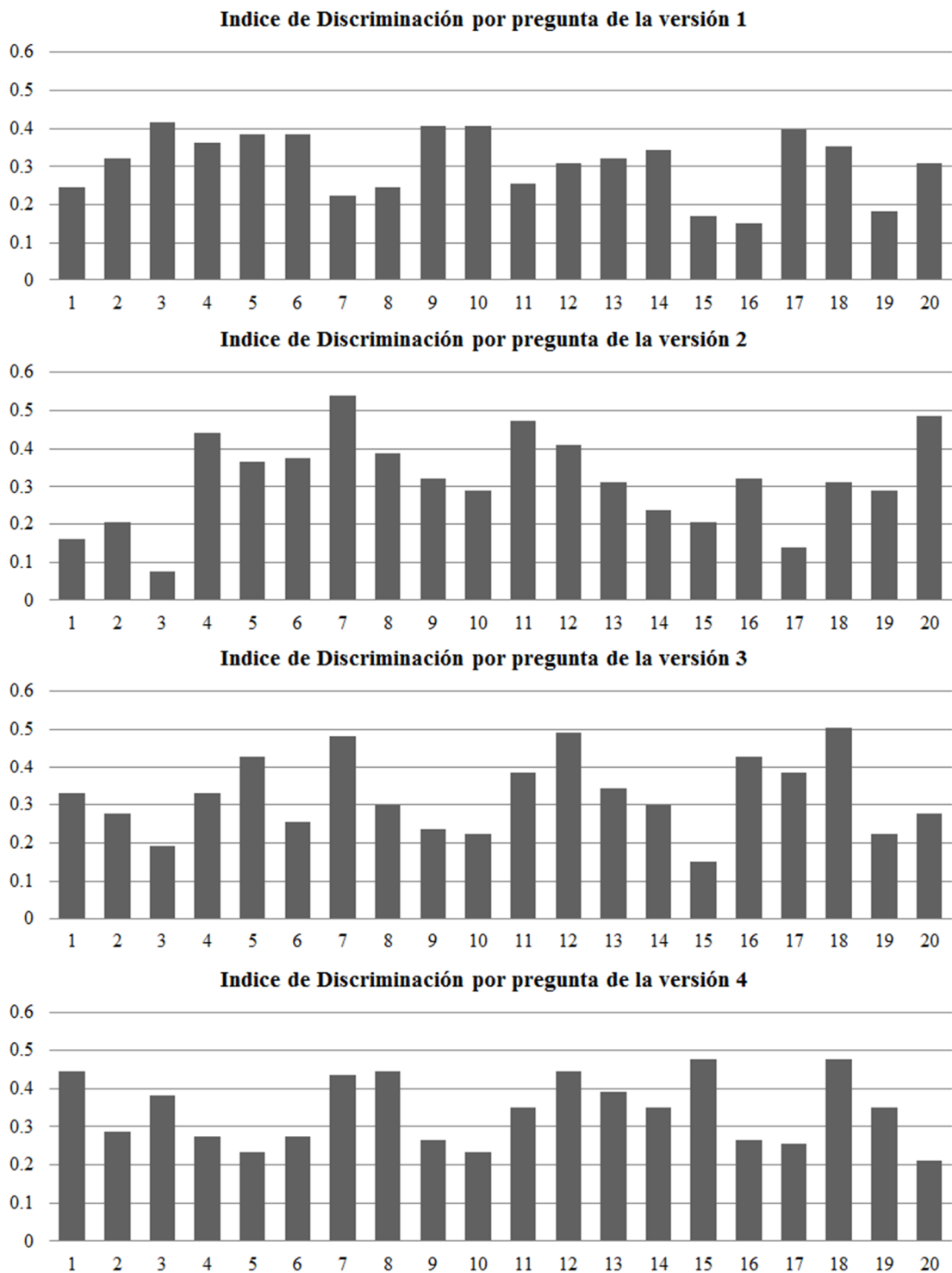


Figura 8. Índice de discriminación por pregunta de las cuatro versiones del examen final

Los índices de discriminación para la versión 1 del examen final van desde un valor de 0.15 hasta 0.41 con un promedio de 0.31. Los de la segunda versión se encuentran entre 0.07 y 0.54 con un promedio de 0.32. Los de la tercera versión se encuentran entre 0.15 y 0.50 con un promedio de 0.33. Los de la cuarta versión se encuentran entre 0.21 y 0.48 con un promedio de 0.34. Se puede apreciar que algunas preguntas cuentan con mayor o menos poder discriminador pero en general la capacidad del cada examen es similar a la de los demás.

4.1.2.3 Coeficiente de correlación biserial puntual. En la figura 9 se presentan los coeficientes de correlación biserial puntual para las cuatro versiones del examen final. Se grafica el coeficiente contra las 20 preguntas que consta el examen.

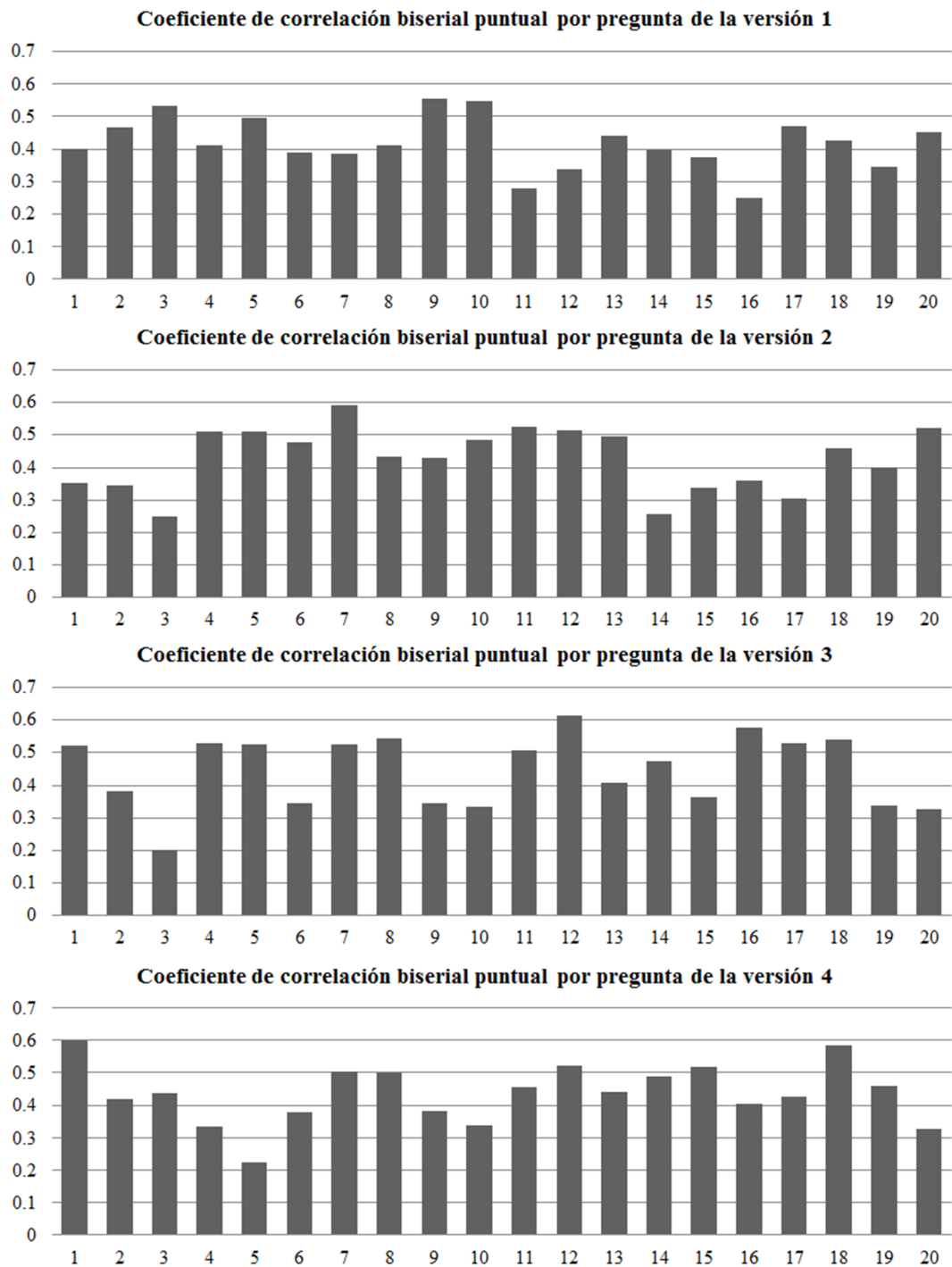


Figura 9. Coeficiente de correlación biserial puntual por pregunta de las cuatro versiones del examen final

4.1.2.4 Frecuencias e índice Kuder-Richardson. En las figuras 18 a 21 se presentan las gráficas de frecuencias para cada una de las cuatro versiones del examen final. Se grafica la cantidad de alumnos que contestaron correctamente x cantidad de preguntas.

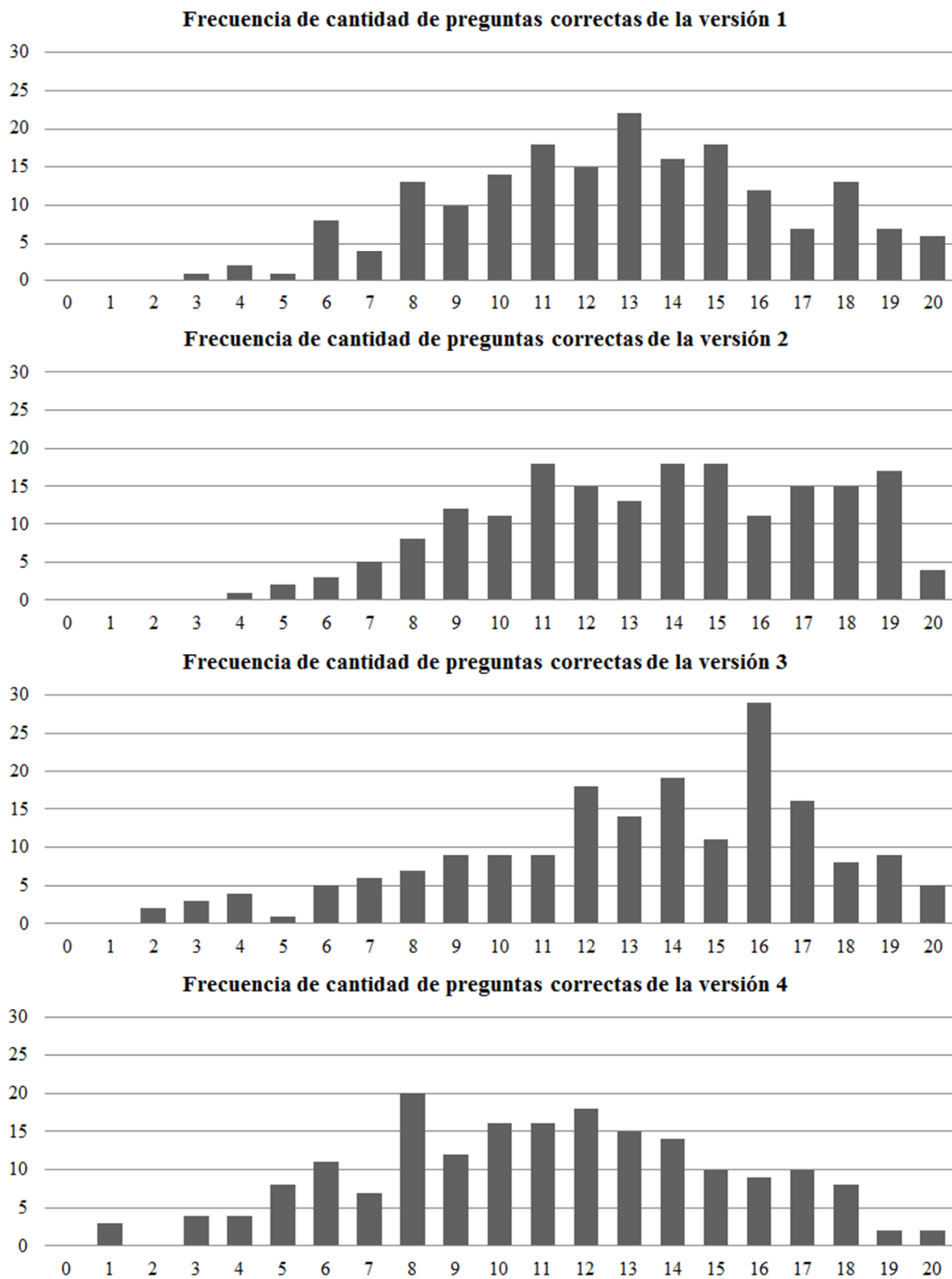


Figura 10. Frecuencia de cantidad de preguntas correctas obtenidas en las cuatro

versiones del examen final

Los segundos resultados del examen final se presentan en la Tabla 11. Estos son las calificaciones por grupo de los alumnos que lo presentaron. En cada uno de los grupos se presentaron las cuatro versiones de los exámenes de manera equitativa. Se muestra también el número de alumnos que presentó el examen de cada grupo.

Tabla 11.
Resultados por grupo en el examen final departamental de los grupos comparables y el grupo experimental

Grupo	N	Porcentaje
4	31	67.74
5	20	65.50
6	30	58.83
7	32	59.22
9	36	61.25
11	36	63.47
16	35	59.28
17	35	61.00
18	36	57.08
19	35	64.00
24	37	58.92
25	32	59.38

El promedio total en el examen final departamental, de los 746 alumnos que presentaron el examen final, es de 63.03. Mientras que el de los grupos comparables con el experimental al inicio del semestre fue de 61.13. A cada uno de los grupos comparables se le aplicó la prueba Mann-Whitney contra el grupo experimental para encontrar cuáles grupos son significativamente diferentes al final del semestre. Los resultados de esta prueba se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12.
Resultados de la prueba Mann-Whitney contra el grupo experimental

Grupo	U	Significancia
4	421.5	0.060
5	292	0.192
6	546.5	0.914
7	597	0.952
9	605.5	0.502
11	562.5	0.252
16	633	0.870
17	598.5	0.580
18	691.5	0.777
19	542	0.232
25	609.5	0.880

Como se puede observar solo uno de los grupos es significativamente diferente al grupo experimental al final del semestre, siendo este el grupo 4 que es un grupo honores. Con esto se encuentra que entre los grupos comparables no hay diferencias significativas en el examen final departamental al final del semestre.

Contando con los resultados del examen final departamental y el examen conceptual de fuerzas se procedió a realizar una gráfica entre ambos para conocer más a fondo la relación que existe entre ellos. Se presenta, en la Figura 11, una gráfica de concentraciones que presenta la distribución de calificaciones obtenidas en el examen final dependiendo de la calificación obtenida en el examen conceptual al inicio del semestre. Se tomaron en cuenta los grupos comparables y el grupo experimental.

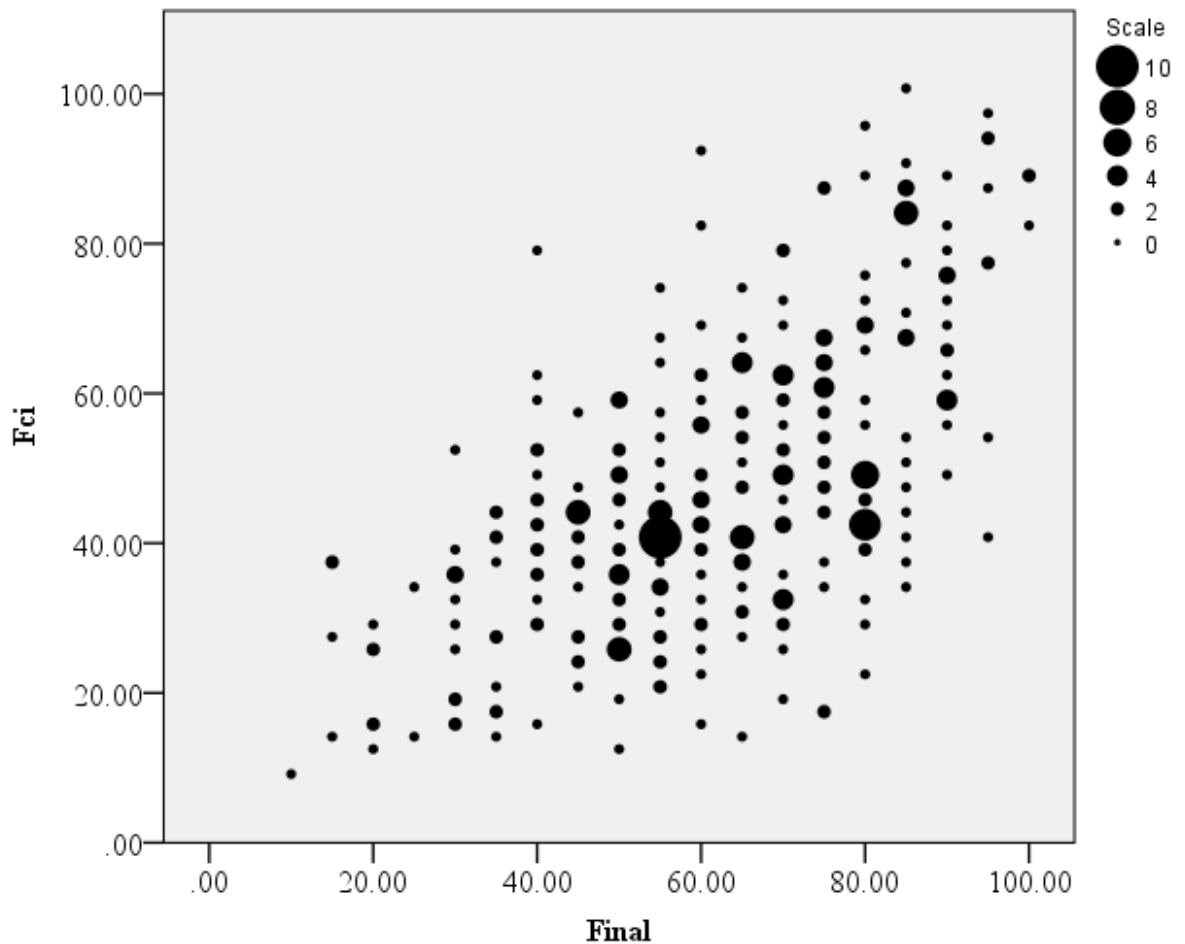


Figura 11. Grafica de Post FCI contra resultado en el examen final departamental.

4.1.3 Actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física. A

continuación, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta de actitudes C-LASS en la Figura 23. Tomando en cuenta a los alumnos que contestaron al inicio y al final del semestre, se tienen 19 alumnos del grupo experimental que cumplen dicho requisito.

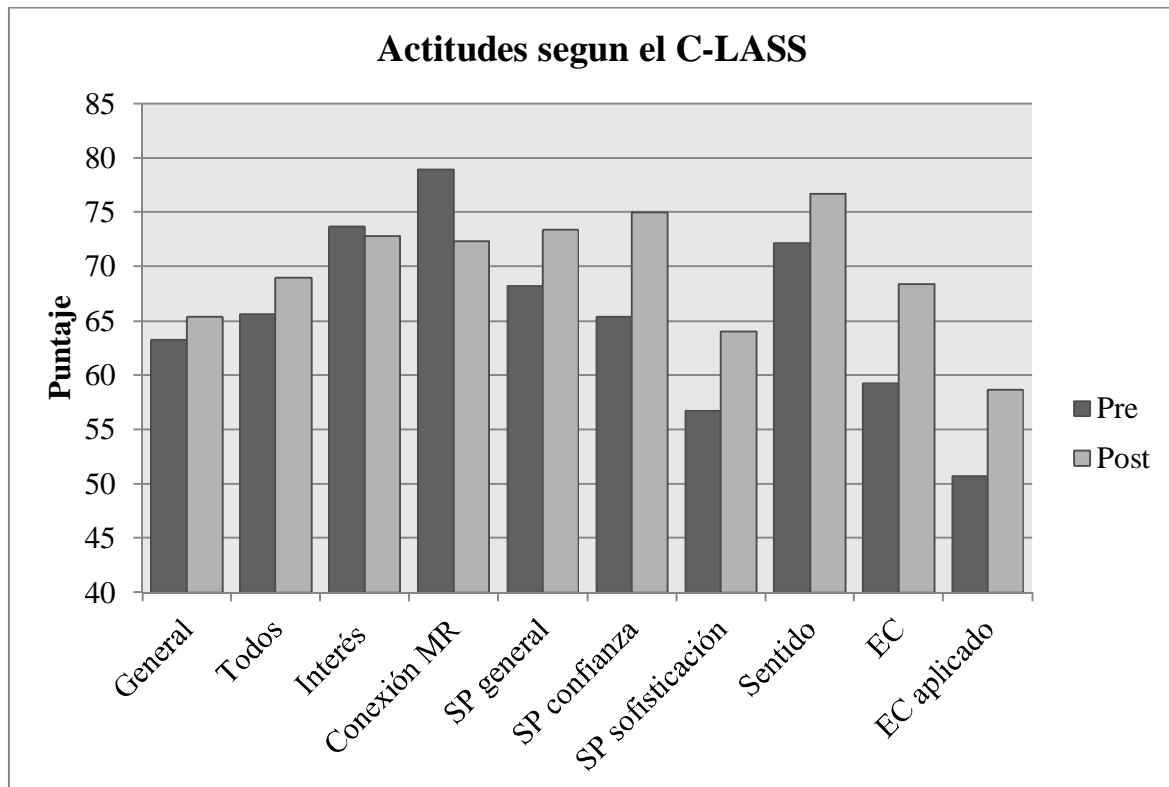


Figura 12. Resultados del C-LASS para el grupo de Instrucción por Modelación

Los resultados más detallados del grupo donde se implementó la metodología se muestran en la Tabla 13. Pre representa el porcentaje de cercanía al experto en el diagnóstico que se presentó al inicio del semestre. Post es el resultado obtenido al final del semestre. El cambio es la diferencia que se obtuvo entre el pre y el post. Todos estos valores se calcularon de manera individual para cada alumno y posteriormente se promediaron. La significancia es la P que necesitaríamos para refutar la hipótesis. Al tomar una $p < 0.1$ solamente el cambio del resultado de entendimiento conceptual aplicado es significativo.

Tabla 13.
Resultados en la encuesta actitudinal del grupo donde se realizó la implementación

Categoría	Pre	Post	Cambio	Significancia
General	63.25	65.38	2.13	.371
Todas las categorías	65.60	68.96	3.35	.192
Interés personal	73.68	72.81	-0.88	.841
Conexión con el mundo real	78.95	72.37	-6.58	.287
Solución de problemas general	68.23	73.40	5.17	.323
Solución de problemas confianza	65.35	75.00	9.65	.159
Solución de problemas sofisticación	56.67	64.04	7.37	.326
Sentido	72.18	76.69	4.51	.369
Entendimiento conceptual	59.30	68.42	9.12	.078
Entendimiento conceptual aplicado	50.75	58.65	7.89	.248

4.1.4 Razonamiento científico. Al correlacionar la ganancia de los alumnos y el resultado en el test de razonamiento científico, se obtiene una correlación de 0.8278. El número de estudiantes que contestaron ambos diagnósticos es de 22 de los 38 inscritos en el grupo experimental. Dicho análisis se realizó solamente en el grupo que llevó la clase con el currículo basado en Instrucción por Modelación. Los resultados de graficar la ganancia según los cuartiles del Lawson se presentan en la Figura 13. En ella se grafican los promedios de las ganancias de los alumnos que se encuentran en cada cuartil según el test Lawson. Su distribución es de 2 alumnos en el primer cuartil, 12 alumnos en el segundo cuartil, 7 alumnos en el tercer cuartil y un alumno en el cuarto cuartil.

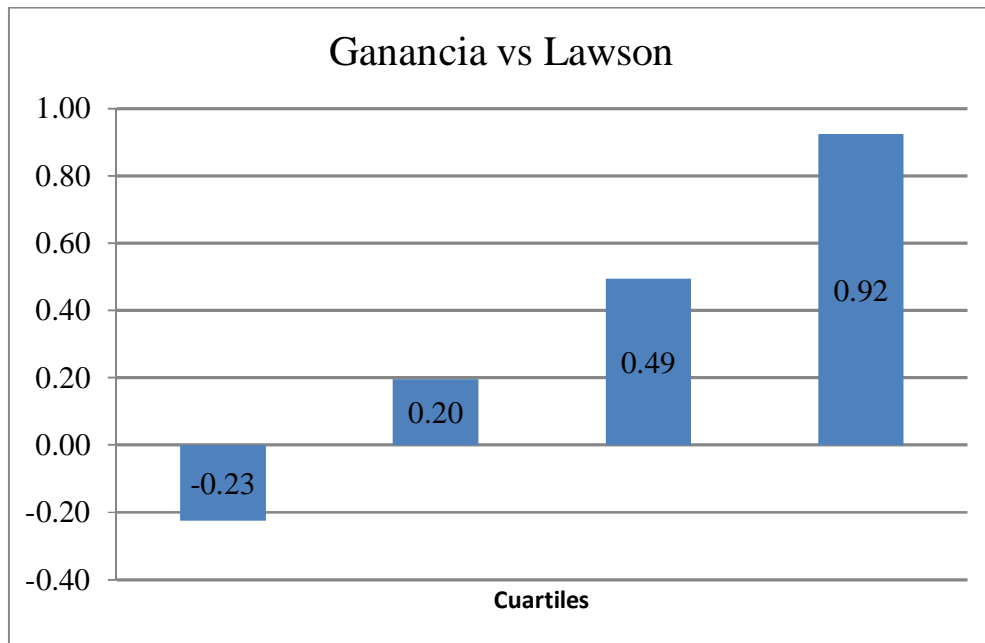


Figura 13. Grafica de Ganancia promedio de los alumnos en cada cuartil del Lawson.

Un análisis más detallado de los alumnos muestra que fueron 28 los alumnos del grupo experimental que contestaron el test de razonamiento científico. Obteniendo un promedio en el test de 56.32. Según Colleta y Philips (2005) se necesita obtener un resultado mayor a 76% para encontrarse dentro del nivel de razonamiento post formal, por lo que los alumnos en promedio se encuentran dentro del nivel formal de razonamiento científico. De los 28 alumnos: 2 se encuentran en el nivel de razonamiento pre operacional, 16 se encuentran en el nivel operacional concreto y 10 se encuentran en el nivel operacional formal (Lawson, 1978). Es decir, sólo 10 de los 28 alumnos son capaces de realizar las abstracciones que requeridas normalmente para un curso de Física a nivel universitario.

4.2 Análisis e interpretación de los resultados

El análisis y la interpretación de los resultados se presentan a continuación. Se parte de los resultados analizados en la sección anterior y se comparan con los encontrados en la literatura. En el caso del examen final, se analizaron sus índices de validez y confiabilidad, además de interpretar los resultados ya que no se puede comparar con nada que se encuentre actualmente en la literatura directamente. El orden que se sigue es: el examen conceptual de fuerzas, seguido del examen final departamental, luego se mencionan los resultados del análisis de las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física y por último se analiza la relación entre la ganancia obtenida en el aprendizaje conceptual y el razonamiento científico de los estudiantes.

4.2.1 Examen conceptual de Fuerza. La ganancia general obtenida en el semestre que se analiza es de 0.19, lo que implica que en promedio los alumnos que cursaron la materia de Física 1 aprendieron el 19% de lo que no sabían del curso. El estado inicial de los alumnos es de 37.14% que implica que los alumnos conocen al entrar el curso en promedio el 37.14% del material que se espera cubran en el curso. Logrando un estado final de 49.17%. El cambio porcentual fue de 12.03%. Estos números son tomando en cuenta la totalidad de los grupos.

Por otra parte, el grupo basado en Instrucción por Modelación, cuenta con una ganancia de 0.26. La ganancia promedio de todos los alumnos que cursaron Física 1 es de 0.19 incluyendo a los alumnos honores, lo que muestra una diferencia significativa contra la mayoría de los grupos. La ganancia es incluso superior a algunos de los grupos honores y al grupo de alumnos que llevaron el curso teniendo la clase de Física y Matemáticas de manera conjunta. Se obtienen ganancias similares a las del piloto realizado en el año 2008 donde se utilizó un currículo con elementos de modelación, donde se obtuvieron ganancias de 0.257 y 0.332 para dos grupos distintos (Alarcón & de la Garza, 2009).

Al finalizar el semestre, el análisis de los grupos que la prueba Mann-Whitney muestra como comparables al inicio del semestre, sus ganancias van de 0.935 a .2597. Es importante notar que sólo tres de las ganancias se encuentran sobre el valor de 0.2, y son un grupo de honores, el que llevó la materia Física y Matemáticas en conjunto y el experimental. Además, corroborando este resultado, el análisis Mann-Whitney realizado a la ganancia de los grupos comparables muestra que, estos tres grupos, son los menos diferentes. Aunque no cruzan el umbral de 0.6 utilizado en la separación de grupos, cuentan con valores de significancia de 0.508 y 0.414. Los valores de significancia de los demás grupos van de 0.158 a 0.006 por lo que se considera que son diferentes al finalizar el semestre al grupo donde se realizó la intervención.

Las ganancias de los grupos tradicionales que fueron similares al inicio y diferentes al final van de 0.0935 a 0.1818, mientras que la ganancia del grupo

experimental es de 0.2597. Utilizando el número de alumnos de los grupos experimentales se obtiene una ganancia promedio de 0.1467, lo que quiere decir que el grupo experimental obtuvo en promedio 1.76 veces la ganancia que los grupos comparables al inicio del semestre.

Al comparar estos resultados con los obtenidos donde se aplica de manera continua el currículo, se observa que logran ganancias de 0.43, congruentes con cursos activos, teniendo un estado inicial de 34% (Brewer, Kramer, & O'Brien, 2009). El estado inicial de los alumnos con que se contó en este estudio es 4 puntos superior, aunque las ganancias que se obtuvieron no son aun tan altas como las logradas por los creadores del currículo, si son superiores a las encontradas en la mayoría de los demás cursos dentro de la institución mexicana.

Es posible considerar que el curso basado en Instrucción por Modelación logró una ganancia moderada según Hake (1998). Aunque el resultado es superior al promedio mostrado para cursos tradicionales de 0.23, aún no es suficiente para compararse de manera directa con los resultados obtenidos por algunos grupos activos en Estados Unidos.

4.2.2 Examen final departamental. Las cuatro versiones del examen final cuentan, en lo general, con índices parecidos. El índice de dificultad varía entre 0.678 y 0.551, siendo la cuarta versión la menos difícil para los estudiantes. La diferencia entre el resto de los índices es menor como puede revisarse en la Tabla 10. Esta diferencia se considera irrelevante ya que la distribución de cada versión de examen en los grupos fue

equitativa, eliminando así cualquier dificultad que pudiera surgir por las diferencias de dificultad encontradas entre las versiones.

El resto de los índices se encuentran todos dentro de los recomendados en la literatura (Ding, Chabay, Sherwood, & Beichner, 2006). Índice de discriminación entre 0.31 y 0.34 cuando se recomiendan valores mayores a 0.3. Coeficiente de correlación biserial puntual entre 0.419 y 0.447 cuando se recomiendan valores superiores a 0.2, lo que implica que los ítems del test tienden a medir lo mismo que el test en general. Índice Kuder-Richardson entre 0.762 y 0.8, cuando se recomiendan valores superiores a 0.7 para análisis grupales y una delta de Ferguson entre 0.968 y 0.979, cuando se recomienda en la literatura valores de al menos 0.9. Esto muestra qué tan cercano a una distribución normal es la distribución de las respuestas correctas.

El examen final departamental de las clases de Física se relaciona de manera más cercana con la capacidad de solución de problemas, necesitando la parte conceptual para la interpretación de los problemas. En los resultados se aprecia que hay 4 grupos que cuentan con resultados promedio superiores al 70% de respuestas correctas. Estos son dos de los grupos honores. El promedio del total de los alumnos que presentaron el examen final es de 63.03.

Al analizar los grupos que eran comparables bajo Mann-Whitney, se aprecian valores de significancia entre 0.060 y 0.952, lo que implica que hay grupos significativamente diferentes al final de la instrucción y grupos que no. Nuevamente, los dos grupos que se encuentran más alejados del grupo experimental son el honores y el de

Física y Matemáticas. La significancia de las diferencias es de 0.060 y 0.192, respectivamente. Los otros valores encontrados por debajo del umbral propuesto de 0.6, son: el grupo 9 con una significancia de 0.502, el 11 con una significancia de 0.252, el 17 con una significancia de 0.580 y el 19 con una significancia de 0.232. Por otra parte los grupos con un valor mayor al umbral son: el 6, 7, 16, 18 y 25 con valores entre 0.777 y 0.952. Con ello, se llega a la conclusión que el grupo es similar, en el examen final departamental después de la instrucción, a cinco de los grupos comparables tradicionales y no lo es a cuatro de ellos.

En la Figura 11 se muestra como hay una relación entre la calificación del examen final y la del examen conceptual. Puede apreciarse que para obtener calificaciones mayores a 80 en el examen final, es casi necesario contar con un resultado mayor o igual a 60 en el examen conceptual. Si se toma en cuenta que el promedio obtenido es de 49.17 en el examen conceptual al finalizar el semestre, se puede observar que muchos de los alumnos no cuentan con los conocimientos básicos necesarios para poder utilizarlos para la resolución de problemas.

4.2.3 Actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física. Las actitudes de los estudiantes se midieron por medio de la encuesta C-LASS (Adams, Perkins, Podolefsky, Dubson, Finkelstein, & Wieman, 2006). En el estudio donde presentan la encuesta se menciona que los cursos tradicionales suelen tener un decremento de las actitudes, es decir, que las actitudes del estudiante se alejan de las de un experto por el hecho de llevar una clase de Física. Por otra parte, los cursos activos,

en ocasiones, pueden lograr mantener o incluso incrementar las actitudes de los estudiantes, es decir, acercarlas a las actitudes del experto.

Se obtuvo al inicio del semestre un 63.25% en las actitudes de los estudiantes en el grupo donde se realizó la intervención y un 65.38% al finalizar el semestre. El cambio es de 2.13% con un error de 2.26, por lo que este es positivo aunque no es significativo. En una implementación previa de Física basada en Modelos, se obtuvieron actitudes al inicio de 68.35% y al final de 71.40% (de la Garza & Alarcon, 2010); mientras que en la universidad donde se desarrolló el currículo, se obtuvo al inicio un 68% y al final del semestre un 78% (Brewer, Kramer, & O'Brien, 2009). Es decir, en la intervención se obtuvo un cambio favorable de 2.13% aunque con una significancia de $p=0.371$, en la implementación realizada hace 4 años se logró un cambio de 3.05% con una significancia de $p=0.056$, y en la universidad donde se desarrolló el currículo se obtuvo un cambio de 10%. Los creadores del diagnóstico reportan como valores esperados en la totalidad de la encuesta 65% en la implementación al inicio del curso y 59% en la implementación al final del curso (Adams, Perkins, Podolefsky, Dubson, Finkelstein, & Wieman, 2006).

Al analizar detalladamente algunas de las categorías que mide la encuesta actitudinal, se encuentra que en la categoría de entendimiento conceptual aplicado, presenta un cambio significativo de 9.12% con $p= 0.078$. Los cambios encontrados en confianza en solución de problemas y en todas las categorías son casi significativos, al tener valores 9.65 con $p=.159$ y 3.35% con $p = 0.192$, respectivamente. Dos de estas tres

categorías contaban con diferencias significativas en la investigación realizada en el 2009. Entendimiento conceptual aplicado tuvo un cambio de 8.77% con $p=0.009$, y el total de las categorías un cambio de 3.78% con $p=.097$. A partir de estos hallazgos, aunque los números son diferentes, se puede apreciar un patrón con el cual se concluye que se lograron mejorar las actitudes de los estudiantes hacia la Física, al obtener un cambio significativo en el total de las categorías. Más aun, la categoría que mostro más cambio en investigaciones pasadas es nuevamente la que muestra una mayor significancia.

4.2.4 Razonamiento científico. La correlación entre la ganancia obtenida de los alumnos y el test de razonamiento científico Lawson es de 0.8278, en el grupo donde se realizó la intervención. En la Figura 24 se mostró la ganancia promedio de los estudiantes que se encuentran en cada uno de los cuartiles de razonamiento científico que mide el diagnóstico.

Se puede apreciar que la ganancia depende grandemente de la capacidad de razonamiento científico de los estudiantes y la metodología aprovecha aún más la capacidad de razonamiento de los alumnos. En estudios previos, al analizar cursos tradicionales se encuentra que las diferencias son menores. Los resultados publicados por Coletta, Phillips y Steinert (2007), nos permiten realizar comparaciones con los resultados que se presentan en este trabajo. Dos factores son interesantes de analizar en estas gráficas. El primero es que en general las ganancias obtenidas en el estudio realizado por Coletta, Phillips y Steinert son más estables, esto se debe al tamaño de la

muestra y a cómo se distribuyen los alumnos en la intervención. Se tienen muy pocos alumnos en los cuartiles más alto y más bajo. Segundo, notar que el nivel de razonamiento afecta de manera considerable la ganancia que se obtiene en el FCI.

En este capítulo se presentaron los resultados que se obtuvieron de la implementación de los cuatro instrumentos seleccionados como fuentes de información. Los resultados en el examen conceptual de Fuerzas muestran que se obtuvo una ganancia de 0.2579 que es casi el doble que la ganancia promedio que se obtiene en el resto de los grupos una vez eliminados los grupos honores y especiales. Se obtienen ganancias similares a las del piloto realizado en el año 2008 utilizando un currículo con elementos de modelación.

Los resultados en el examen final no muestran diferencias significativas con los grupos una vez que se eliminan los grupos especiales. Esto es interesante ya que aunque se tiene un aprendizaje conceptual de casi el doble en uno de los instrumentos, no hay diferencia significativa en el examen departamental. Por su parte, en la encuesta de actitudes se lograron cambios positivos, lo que demuestra que la metodología es activa aunque no tan grandes como en otras implementaciones.

Finalmente, se encontró que la correlación entre el razonamiento científico y el aprendizaje conceptual fue de 0.8278, lo cual es una correlación grande. Mostrando así que la metodología de Instrucción por Modelación aprovecha el razonamiento científico de los estudiantes.

Se puede apreciar con este análisis que los resultados encontrados de la implementación son positivos. Se logran aprendizajes conceptuales superiores a los que los demás grupos similares al inicio del semestre obtuvieron. Esto es correspondiente con lo encontrado en la literatura donde se reporta que el currículo implementado logra ganancias de casi el doble que los grupos tradicionales dentro de una misma institución (Brewer, Kramer, & O'Brien, 2009). De igual manera se encuentra que las actitudes de los estudiantes no tuvieron cambios negativos como se reporta para los grupos tradicionales en la literatura. Se logran cambios positivos aunque solamente una de las categorías el cambio es significativo.

El instrumento donde no se obtuvieron cambios positivos con respecto a los demás grupos fue en el examen final departamental. Al final del semestre algunos de los grupos siguen siendo similares en este aspecto, aunque es necesario realizar investigaciones futuras tanto en las razones de esto como para conocer mejor que es lo que mide el examen final. Se encontró que las cuatro versiones de este son similares y además se presentaron en proporciones iguales en los diversos grupos, pero aún no se conoce de manera certera que proporción de las preguntas miden aprendizajes conceptuales y cuales habilidades de solución de problemas.

Partiendo de los resultados del examen conceptual de fuerzas se puede observar que la mayoría de los alumnos no cuentan en ninguno de los grupos con una base conceptual lo suficiente sólida para utilizar los conocimientos en la solución de

problemas, por lo que encontrar cuales preguntas responden a cada uno de estos aspectos puede mejorar la medición realizada.

5. Conclusiones

Se realizó una implementación de un currículo basado en Instrucción por Modelación con el fin de mejorar el aprendizaje conceptual obtenido en estudiantes de una universidad del noreste de México. Se siguió un proceso de 2 años que constó de la capacitación de un profesor en el currículo, la implementación de este y finalmente el análisis de los resultados de la implementación. Durante este proceso se cubrió los materiales de estudio correspondientes a la materia de Física 1 de manera completa, y en general, se tuvo la aceptación de la estrategia por parte de los alumnos.

Durante la investigación se buscaba contestar la pregunta de investigación principal al contestar las preguntas de investigación secundarias. Para contestar la primera pregunta de investigación, se analizaron los resultados en un examen conceptual de fuerzas ampliamente utilizado en la literatura. En este último, se obtuvieron ganancias del doble a aquellas que consiguieron los grupos tradicionales durante el semestre que se realizó la intervención. La ganancia de 0.2597 se encuentra por encima incluso de dos de los grupos honores que fueron impartidos en el semestre. Con estos resultados se puede afirmar que el aprendizaje conceptual es superior en el grupo que se siguió el currículo de Instrucción por Modelación.

Al contestar la segunda pregunta de investigación, y comparar los resultados obtenidos con los de la universidad donde se diseñó el currículo se puede apreciar que existe una diferencia significativa en la ganancias. La ganancia en la universidad de

Estados Unidos es de 0.48 mientras la ganancia obtenida en el grupo que se implementó el currículo fue de 0.2597. De igual manera existe una diferencia significativa entre las ganancias promedio que se obtienen en la universidad del noreste de México y los resultados que se presentan de universidades de Estados Unidos. Las ganancias en grupos tradicionales son del doble de las que se obtienen en la universidad mexicana, mientras que las de grupos activos se acercan a 0.5, que son prácticamente el doble de los obtenidos en la implementación del currículo.

El análisis realizado para contestar la tercera pregunta de investigación se hace utilizando dos instrumentos: la encuesta de actitudes C-LASS y el test de razonamiento científico Lawson. Las actitudes de los estudiantes cambiaron de manera positiva y en las mismas categorías que se obtuvieron en la universidad donde se diseñó el currículo. Por otra parte, la correlación encontrada entre el razonamiento científico y el aprendizaje conceptual fue muy grande, mayor a las reportadas con anterioridad en la literatura. Aunque la muestra que contestó ambos diagnósticos es menor a la total, habría que realizar un análisis más detenido porque se cuenta con varias ganancias negativas aunque todas se encuentran en el menor nivel de razonamiento al acomodar los resultados en cuartiles.

A partir de estas tres preguntas secundarias, se contesta la pregunta principal de investigación: *¿Qué efecto tiene en el aprendizaje y las actitudes de los estudiantes, un currículo basado en Instrucción por Modelación, en un curso de Física a nivel universitario?* Concluyendo que los efectos fueron notablemente positivos, con

excepción de no haber una diferencia significativa en el examen final departamental.

Partiendo de estos resultados se puede concluir que la implementación del currículo de la Universidad Internacional de Florida, basado en Instrucción por Modelación, es posible y funcional para aplicar en una universidad privada del noreste de México al ser comparada con los grupos tradicionales, pero es aún lejana a las ganancias que se obtienen en Estados Unidos.

Partiendo de que es la primera vez que se utilizó el currículo por el profesor, sin apoyo de otros profesores más experimentados, y la poca experiencia frente a grupo que se tenía al momento de realizar la implementación, una de las posibles mejoras a futuro es una mayor experiencia tanto en el manejo del currículo como con el manejo de los estudiantes dentro del salón de clases. Lamentablemente, no todos los alumnos parecen haber sido convencidos de la metodología, ya que se encontró un poco de resistencia por una minoría de los alumnos en la encuesta que se les aplica al final del curso como parte del sistema llamado Evaluanet que ayuda a evaluar los profesores de la institución.

El salón de clases también jugó un papel crucial en facilitar que los estudiantes trabajaran en equipo. Además, el espacio en las mesas era el adecuado para poder realizar los experimentos. La única complicación era acomodar al profesor y los alumnos en una misma área para discutir los resultados de laboratorios, problemas y actividades en clase. Es necesario tener un espacio donde desde todo ángulo se pueda apreciar los pizarrones donde trabajaron los compañeros para poder participar de manera activa en las discusiones de los resultados.

La aportación principal de este trabajo es demostrar que en una implementación del currículo de Instrucción por Modelación se pueden obtener aprendizajes conceptuales superiores, mientras se mejoran las actitudes de los alumnos y se aprovecha de mejor manera la capacidad de razonamiento de éstos en una universidad mexicana. Todo esto con un profesor que sólo ha sido capacitado un año en la metodología, al dar el curso con otro profesor en la universidad donde se desarrolló el currículo, y con nula experiencia previa frente a un grupo de clases. Los resultados de implementaciones posteriores deberían ser superiores al contarse con mayor experiencia, un mejor control del grupo y la certeza de que el currículo es válido en universidades mexicanas.

El proceso que se llevó a cabo en esta investigación además ha dado más opciones a los profesores que la implementación directa del currículo traducido. También se utilizó el currículo parcialmente para impartir un segundo curso donde los alumnos cursan la materia de Matemáticas 1 y la de Física 1 de manera conjunta intentando seguir un proceso más natural del proceso de la ciencia mientras se dedica el tiempo necesario a trabajar con las herramientas matemáticas necesarias para todos los estudiantes de ingeniería.

Varias dificultades se presentaron durante la investigación. Una de las principales es el orden en que se ven los temas que es diferente al que siguen los cursos tradicionales. En un curso tradicional se centra el material alrededor del concepto de fuerzas mientras que en el currículo de Instrucción por Modelación se centra en el

concepto de aceleración. Ambos se encuentran fuertemente entrelazados, ya que para que haya una aceleración tiene que existir una fuerza, y viceversa. En el currículo de Instrucción Modelación se parte de que aunque exista una fuerza para que haya una aceleración, el concepto de fuerzas no siempre es necesario para explicar la situación ya que otros conceptos como energía y cinemática pueden ser suficientes para algunas situaciones. Esta diferencia de acercamiento resultó ser difícil de manejar con los demás profesores pero los resultados demuestran que los aprendizajes y las capacidades de ambos caminos de aprendizaje son similares.

Otra dificultad se presentó cuando en una clase tradicional se analizan fuerzas ficticias que son necesarias para explicar ciertas situaciones cuando se tienen marcos de referencia inerciales o no inerciales. En el currículo de Instrucción por Modelación más que haber marcos de referencia inerciales o no inerciales, se espera que el alumno llegue a decir que aunque el objeto no se mueva, este se encuentra acelerado en una cierta dirección y por ende él también se está acelerando junto con el objeto, en caso que sea la situación. Esto es de gran utilidad ya que garantiza que las leyes de Newton sirvan en cualquier caso sin excepción cuando en los cursos tradicionales al “forzar” situaciones falsas se tienen que inventar fuerzas para hacer cumplir las leyes.

Finalmente se espera poder realizar una implementación similar para poder replicar los resultados. Además realizar una investigación similar con poblaciones mayores para eliminar los problemas que surgieron en los análisis estadísticos al tener muestras pequeñas.

Referencias

Abell, S. K., & Ledermann, N. G. (2007). *Handbook of research on science education*. New Jersey, London: Lawrence Erlbaum Associates.

Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 2, 010101.

Alarcón, H., & de la Garza, J. E. (2009). Influencia del razonamiento científico en el aprendizaje de conceptos en física universitaria: Comparación entre instrucción tradicional e instrucción por modelación.

Alarcón, H., & de la Garza, J. E. (2009, Septiembre). Influencia del razonamiento científico en el aprendizaje de conceptos en física universitaria: Comparación entre instrucción tradicional e instrucción por modelación. *X Congreso Nacional de Investigación Educativa*.

Arons, A. B. (1997). *Teaching introductory physics*. NY, EUA: Wiley and Sons.

Arons, A. B. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063-1067.

- Astin, A. W. (1997). *What matters in college? Four critical years revisited*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Ates, S., & Cataloglu, E. (2007). The effects of students' reasoning abilities on conceptual understandings and problem-solving skills in introductory mechanics. *European Journal of Physics*, 28(6), 1161-1171.
- Bao, L., Hogg, K., & Zollman, D. (2002). Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law. *American Journal of Physics*, 70(7), 766-778.
- Beichner, R. J., Deardorff, D., & Zhang, B. (1999). *GOAL oriented problem solving*. Retrieved April 27, 2011, from <ftp://ftp.ncsu.edu/pub/ncsu/beichner/RB/GOALPaper.pdf>
- Beichner, R. J., Saul, J. M., Abbott, D. S., Morse, J. J., Deardorff, D. L., Allain, R. J., et al. (2007). The student centered activities for large enrollment undergraduate programs (SCALE-UP) Project. In *Research-Based Reform of University Physics*.
- Beichner, R., Bernold, L., Burniston, E., Dali, P., Felder, R., Gastineau, J., et al. (1999). Case study of the physics component of an integrated curriculum. *Physics Education Research Supplement to American Journal of Physics*, 67(7), S16-S24.

- Brewer, E. (2008). Modeling theory applied: Modeling instruction in introductory physics. *American Journal of Physics*, 76(12), 1155-1160.
- Brewer, E., Kramer, L., & O'Brien, G. (2009). Modeling instruction: Positive attitudinal shifts in introductory physics measured with CLASS. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 5, 013102.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J., Brown, D. E., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11, 554-565.
- Coletta, V. P., & Phillips, J. A. (2005). Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. *American Journal of Physics*, 73(12), 1172-1182.
- Coletta, V. P., Phillips, J. A., & Steinert, J. J. (2007). Why you should measure your students' reasoning ability. *The Physics Teacher*, 45(4), 235-238.

- de la Garza, J., & Alarcon, H. (2010). Assessing students' attitudes in a college physics course in Mexico. *Physics Education Research Conference*, 129-132.
- Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B., & Beichner, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(1), 010105-1 - 010105-7.
- Elby, A. (2001). Helping physics students learn how to learn. *Physics Education Research Supplement to the American Journal of Physics*, 69(7), 554-565.
- Etkina, E. (2001). Investigative science learning environment: Using the process of science and cognitive strategies to learn physics. *Physics Education Research Conference*, 17-20.
- Etkina, E., Warren, A., & Gentile, M. (2006). The role of models in physics instruction. *The Physics Teacher*, 44(1), 34-39.
- Flores, S., & Manim, S. E. (2004). Student use of vectors in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 72(4), 460-468.
- Gaffney, J. D., Richards, E., Kustus, M. B., Ding, L., & Beichner, R. J. (2008). Scaling Up education reform. *Journal of College Science Teaching*, 37(5), 48-53.

- Gilbert, J. K. (2004). Modelas and modeling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics education*, 2, 115-130.
- Hake, R. 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.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer academic publishers.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985a). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985b). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Hammer, D. (1994). Students' beliefs about conceptual knowledge in introductory physics. *International Journal of Science Education*, 16(4), 385-403.

Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60(7), 637-644.

Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7), 627-636.

Henderson, C., & Dancy, M. H. (2008). Physics faculty and educational researchers: Divergent expectations as barriers to the diffusion of innovations. *American Journal of Physics*, 76(1), 79-91.

Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, México: McGraw-Hill.

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.

Jackson, J., Dukerich, L., & Hestenes, D. (2008). Modeling Instruction: An effective model for science education. *Science Educator*, 17(1), 10-17.

- Karplus, E. F., & Karplus, R. (1970, May). Intellectual Development Beyond Elementary School I. Deductive Logic. *School Science and Mathematics*, 70(5), 398-406.
- Korsunsky, B. (2006). Teaching to the test: Some SSS-Based TTTT. *The Physics Teacher*, 44(4), 217-221.
- Larkin, J. (1981). Cognition of learning physics. *American Journal of Physics*, 49(6), 534-541.
- Lawson, E. A. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15, 11-24.
- Leonard, W., Gerace, W., Dufresne, R., & Mestre, J. (1999). *Concept-based problem solving: Combining educational research results and practical experience to create a framework for learning physics and to derive effective classroom practices.*
- Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Physics Education Research Supplement to the American Journal of Physics*, 69(7), S12-S23.
- Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- McDermott, L. C. (1991). Milikan Lecture 1990: What we teach and what is learned - Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315.
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research - The key to student learning. *American Journal of Physics*, 69(11), 1127-1137.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorials in Introductory Physics*. Prentice Hall, Inc.
- Morote, E., & Pritchard, D. E. (2009). What course elements correlate with improvement on tests in introductory mechanics? *American Journal of Physics*, 77(8), 746-753.
- Morris, G. A., Branum-Martin, L., Harshman, N., Baker, S. D., Mazur, E., Dutta, S., et al. (2006). Testing the test: Item response curves and test quality. *American Journal of Physics*, 74(5), 449-453.
- Murthy, S., & Etkina, E. (2004). Development of scientific abilities in a large class. *Physics Education Research Conference*, 133-136.

- Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.
- Otero, V., Pollock, S., & Finkelstein, N. (2010). A physics department's role in preparing physics teachers: The colorado learning assistant model. *American Journal of Physics*, 78(11), 1218-1224.
- Polya, G. (1957). *How to solve it* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Popham, W. J. (2001). Teaching to the test. *Educational Leadership*, 58(6), 16-20.
- Powell, K. (2003). Spare me the lecture. *Nature*, 425(6955), 234-236.
- Redish, E. F. (2003). *Teaching Physics with The Physics Suite*. Somerset, NJ: John Wiley & Sons.
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66(3), 212-224.
- Reif, F. (1981). Teaching problem solving - A scientific approach. *The Physics Teacher*, 310-316.
- Reif, F. (1995). Milikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63(1), 17-32.

- Reif, F. (1999). Thermal physics in the introductory physics course: Why and how to teach it from a unified atomic perspective. *American Journal of Physics*, 67(12), 1051-1062.
- Renner, J. W., & Lawson, A. E. (1973a). Piagetian Theory and Instruction in Physics. *The Physics Teacher*, 11(3), 165-169.
- Renner, L. W., & Lawson, A. E. (1973b). Promoting intellectual development through science teaching. *The Physics Teacher*, 11(4), 273-276.
- Rojas, S. (2010). On the teaching and learning of physics problem solving. *Revista Mexicana de Física*, 56(1), 22-28.
- Sabella, M. S., & Redish, E. F. (2007). Knowledge organization and activation in physics problem solving. *American Journal of Physics*, 75(11), 1017-1029.
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2005). A research-based approach to improving student understanding of a vector nature of kinematical concepts. *American Journal of Physics*, 73(10), 921-931.
- Silva, C. C. (2007). The role of models and analogies in the electromagnetic theory: A historical case study. *Science & Education*, 16, 835-848.

- Smith, T. I., & Wittmann, M. C. (2008). Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 4, 020101.
- Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., & Laws, P. W. (1998). *RealTime Physics, Active Learning Laboratories*. New York: John Wiley & Sons.
- Thacker, B., Kim, E., Trefz, K., & Lea, S. M. (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 62(7), 627-633.
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student 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), 338-352.
- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding on the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(10), 1020-1028.
- Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.
- Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for highschool physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606-619.

Wittmann, M. C. (2006). Using resource graphs to represent conceptual change.

Physical Review Special Topics Physics Education Research, 2, 020105.

Apéndices

Apéndice A: FCI

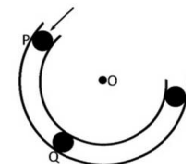
Tecnológico de Monterrey
Departamento de Física

Favor de no escribir sobre este examen y contestar con cuidado.

- Dos bolas de metal tienen el mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Se dejan caer estas bolas desde el techo de un edificio de un solo piso en el mismo instante de tiempo. El tiempo que tardan las bolas en llegar al suelo es:
 - aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la bola más liviana.
 - aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la bola más pesada.
 - aproximadamente el mismo para ambas bolas.
 - considerablemente menor para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad.
 - considerablemente menor para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad.
- Las dos bolas de metal del problema anterior ruedan sobre una mesa horizontal con la misma velocidad y caen al suelo al llegar al borde de la mesa. En esta situación:
 - ambas bolas golpean el suelo aproximadamente a la misma distancia horizontal de la base de la mesa.
 - la bola más pesada golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más liviana.
 - la bola más liviana golpea el suelo aproximadamente a la mitad de la distancia horizontal de la base de la mesa que la bola más pesada.
 - la bola más pesada golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más liviana, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
 - la bola más liviana golpea el suelo considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más pesada, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
- Una piedra que se deja caer desde el techo de un edificio de un solo piso hasta la superficie de la tierra:
 - alcanza un máximo de velocidad muy pronto después de ser soltada y desde entonces cae con una velocidad constante.
 - aumenta su velocidad mientras cae porque la atracción gravitatoria se hace considerablemente mayor cuanto más se acerca la piedra a la tierra.
 - aumenta su velocidad porque una fuerza de gravedad casi constante actúa sobre ella.
 - cae debido a la tendencia natural de todos los objetos a descansar sobre la superficie de la tierra.
 - cae debido a los efectos combinados de la fuerza de gravedad, empujándola hacia abajo y la fuerza del aire también empujándola hacia abajo.
- Un camión grande choca frontalmente con un pequeño automóvil. Durante la colisión:
 - la intensidad de la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil es mayor que la de la fuerza que el auto ejerce sobre el camión.
 - la intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto.
 - ninguno ejerce una fuerza sobre el otro, el auto es aplastado simplemente porque se interpone en el camino del camión.
 - el camión ejerce una fuerza sobre el automóvil pero el auto no ejerce ninguna fuerza sobre el camión.
 - el camión ejerce una fuerza de la misma intensidad sobre el auto que la que el auto ejerce sobre el camión.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (5 y 6)

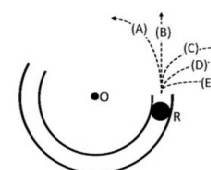
La figura adjunta muestra un canal sin fricción en forma de segmento circular con centro en "O". El canal se halla anclado sobre la superficie horizontal de una mesa sin rozamiento. Estás mirando la mesa desde arriba. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Una bola es disparada a gran velocidad hacia el interior del canal por "P" y sale por "R".



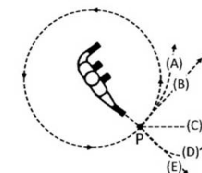
- Considera las fuerzas siguientes:
 - Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - Una fuerza ejercida por el canal y dirigida de "Q" hacia "O".
 - Una fuerza en la dirección del movimiento.
 - Una fuerza en dirección de "O" hacia "Q".
 ¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre la bola cuando ésta se halla dentro del canal sin fricción en la posición "Q"?

- Sólo 1.
- 1 y 2.
- 1 y 3.
- 1, 2 y 3.
- 1, 3 y 4.

- ¿Cuál de los caminos indicados en la figura de la derecha seguirá de forma más aproximada la bola después de salir del canal por "R" si continúa moviéndose sin rozamiento sobre la superficie de la mesa?

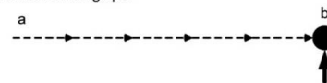


- Una bola de acero está atada a una cuerda y sigue una trayectoria circular en un plano horizontal como se muestra en la figura adjunta. En el punto "P" indicado en la figura a la derecha, la cuerda se rompe de repente en un punto muy cercano a la bola. Si esta situación se observa directamente desde arriba, como se indica en la figura. ¿Qué camino seguirá de forma más aproximada la bola tras la ruptura de la cuerda?

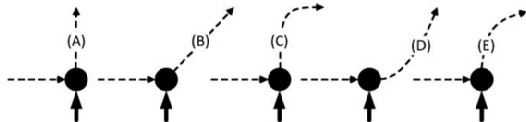


USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (8 a 11).

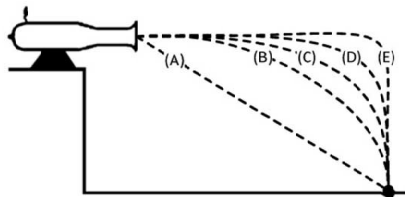
La figura muestra un disco de hockey desplazándose con velocidad constante v_0 en la línea desde el punto "a" al punto "b" sobre una superficie horizontal sin fricción. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Estás mirando el disco desde arriba. Cuando el disco llega al punto "b", recibe un repentino golpe horizontal en la dirección de la flecha gruesa. Si el disco hubiera estado en reposo en el punto "b", el golpe habría puesto el disco en movimiento horizontal con una velocidad v_1 en la dirección del golpe.



8. ¿Cuál de los caminos siguientes seguirá de forma más aproximada el disco después de recibir el golpe?

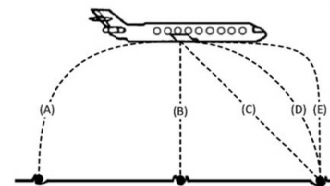


9. La velocidad del disco inmediatamente después de recibir el golpe es:
- igual a la velocidad v_0 que tenía antes de recibir el golpe.
 - igual a la velocidad v_k resultante del golpe e independiente de la velocidad v_0 .
 - igual a la suma aritmética de las velocidades v_0 y v_k .
 - menor que cualquiera de las velocidades v_0 o v_k .
 - mayor que cualquiera de las velocidades v_0 o v_k , pero menor a la suma aritmética de estas dos velocidades.
10. A lo largo del camino sin fricción que has elegido en la pregunta 8, la velocidad del disco después de recibir el golpe:
- es constante.
 - aumenta continuamente.
 - disminuye continuamente.
 - aumenta durante un rato y después disminuye.
 - es constante durante un rato y después disminuye.
11. A lo largo del camino sin fricción que has elegido en la pregunta 8, la(s) principal(es) fuerza(s) que actúa(n) sobre el disco después de recibir el golpe:
- una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza horizontal en dirección del movimiento.
 - una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie y una fuerza horizontal en dirección del movimiento.
 - una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie.
 - ninguna (no actúa ninguna fuerza sobre el disco).
12. Con un cañón se dispara una bola desde el filo de un barranco como se muestra en la figura adjunta. ¿Cuál de los caminos seguirá de forma más aproximada dicha bola?



13. Un chico lanza hacia arriba una bola de acero. Considera el movimiento de la bola durante un intervalo de tiempo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano del chico hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Supón que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):
- una fuerza hacia abajo debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
 - una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano del chico hasta que alcanza su punto más alto; en el camino del descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.
 - una fuerza hacia abajo prácticamente constante debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto, en el camino de descenso sólo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.
 - sólo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad.
 - ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

14. Una bola se escapa accidentalmente de la bodega de carga de un avión que vuela en dirección horizontal. Tal como lo observaría una persona de pie sobre el suelo que ve el avión como se muestra en la figura, ¿qué camino seguiría de forma más aproximada dicha bola tras caer del avión?



USE LA DESCRIPCIÓN Y FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS DOS PREGUNTAS SIGUIENTES (15 y 16).

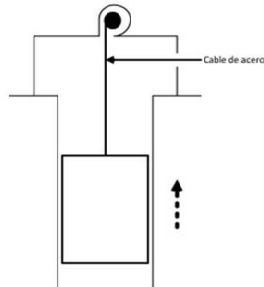
Un camión grande se avería en la carretera y un pequeño automóvil lo empuja de regreso a la ciudad tal como se muestra en la figura adjunta.



15. Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de la marcha:
- la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que aplica el camión sobre el auto.
 - dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
 - ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

16. Después de que el automóvil alcanza la velocidad constante de marcha a la que el conductor quiere empujar el camión:
- la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
 - la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que aplica el camión sobre el auto.
 - dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar el camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
 - ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

17. Un ascensor sube por un hueco a velocidad constante por medio de un cable de acero tal como se muestra en la figura adjunta. Todos los efectos debidos a la fricción son despreciables. En esta situación, las fuerzas que actúan sobre el ascensor son tales que:



- la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es igual a la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es menor que la fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- la fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la suma de la fuerza ejercida hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia abajo debida al aire.
- ninguna de las anteriores. (El ascensor sube porque el cable se está acortando, no porque el cable ejerza una fuerza hacia el ascensor).

18. La figura adjunta muestra a un chico columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considera las siguientes fuerzas:

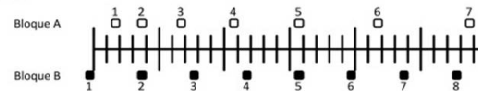
- Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.
- Una fuerza en la dirección del movimiento del chico.
- Una fuerza en la dirección de O hacia A.

¿Cuál(es) se dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

- Sólo la 1.
- 1 y 2.
- 1 y 3.
- 1, 2 y 3.
- 1, 3 y 4.



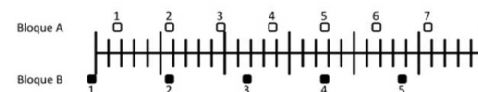
19. Las posiciones de dos bloques en intervalos de tiempo sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.



¿Tienen los bloques en algún momento la misma velocidad?

- No.
- Sí, en el instante 2.
- Sí, en el instante 5.
- Sí, en los instantes 2 y 5.
- Sí, en algún momento durante el intervalo de 3 a 4.

20. Las posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de 0.20 segundos se hallan representadas por los cuadrados numerados de la figura adjunta. Los bloques se mueven hacia la derecha.

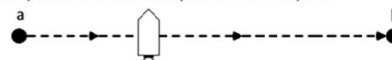


Las aceleraciones de los bloques están relacionadas de la forma siguiente:

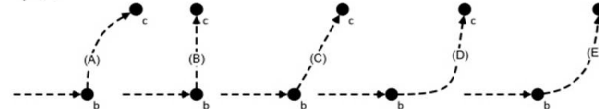
- La aceleración de "A" es mayor que la aceleración de "B".
- La aceleración de "A" es igual a la aceleración de "B". Ambas aceleraciones son mayores que cero.
- La aceleración de "B" es mayor que la aceleración de "A".
- La aceleración de "A" es igual a la aceleración de "B". Ambas aceleraciones son cero.
- No se da suficiente información para contestar la pregunta.

USE LA DESCRIPCIÓN Y LA FIGURA ADJUNTAS PARA CONTESTAR LAS CUATRO PREGUNTAS SIGUIENTES (21 a 24).

Un cohete flota a la deriva en el espacio exterior desde el punto "a" hasta el punto "b", como se muestra en la figura adjunta. El cohete se enciende y produce un empuje constante (fuerza sobre el cohete) en un ángulo recto con respecto a la línea "ab". El empuje constante se mantiene hasta que el cohete alcanza el punto "c" en el espacio.

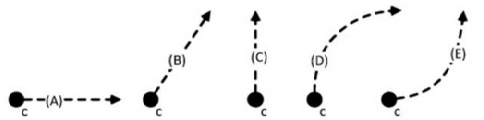


21. ¿Cuál de los siguientes caminos representa mejor la trayectoria del cohete entre los puntos "b" y "c"?



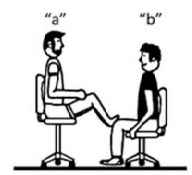
22. Mientras el cohete se mueve desde la posición "b" hasta la posición "c" la magnitud de su velocidad es:
- constante.
 - continuamente creciente.
 - continuamente decreciente.
 - creciente durante un rato y después constante.
 - constante durante un rato y después decreciente.

23. En el punto "c" el motor del cohete se para y el empuje se anula inmediatamente. ¿Cuál de los siguientes caminos seguirá el cohete después del punto "c"?



24. A partir de la posición "c" la velocidad del cohete es:
- constante.
 - continuamente creciente.
 - continuamente decreciente.
 - creciente durante un rato y después constante.
 - constante durante un rato y después decreciente.
25. Una mujer ejerce una fuerza horizontal constante sobre una caja grande. Como resultado, la caja se mueve sobre un piso horizontal a velocidad constante v_0 . La fuerza horizontal aplicada por la mujer:
- tiene la misma magnitud que el peso de la caja.
 - es mayor que el peso de la caja.
 - tiene la misma magnitud que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
 - es mayor que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
 - es mayor que el peso de la caja y también que la fuerza total que se opone a su movimiento.
26. Si la mujer de la pregunta anterior duplica la fuerza horizontal que ejerce sobre la caja para empujarla sobre el mismo piso horizontal, la caja se moverá:
- con una velocidad constante que es el doble de la velocidad v_0 de la pregunta anterior.
 - con una velocidad constante que es mayor que la velocidad v_0 de la pregunta anterior, pero no necesariamente el doble.
 - con una velocidad que es constante y mayor que la velocidad v_0 de la pregunta anterior durante un rato y después con una velocidad que aumenta progresivamente.
 - con una velocidad creciente durante un rato y después con una velocidad constante.
 - con una velocidad continuamente creciente.
27. Si la mujer de la pregunta 25 deja de aplicar de repente la fuerza horizontal sobre la caja, ésta:
- se parará inmediatamente.
 - continuará moviéndose con una velocidad constante durante un rato y después frenará hasta pararse.
 - comenzará inmediatamente a frenar hasta pararse.
 - continuará a velocidad constante.
 - aumentará su velocidad durante un rato y después comenzará a frenar hasta pararse.

28. En la figura adjunta, el estudiante "a" tiene una masa de 95 kg y el estudiante "b" tiene una masa de 77 kg. Ambos se sientan en idénticas sillas de oficina cara a cara. El estudiante "a" coloca sus pies descalzos en las rodillas del estudiante "b", tal como se muestra. Seguidamente el estudiante "a" empuja súbitamente con sus pies hacia adelante, haciendo que ambas sillas se muevan. Durante el empuje, mientras los estudiantes están aún en contacto:



- ninguno de los estudiantes ejerce una fuerza sobre el otro.
 - el estudiante "a" ejerce una fuerza sobre el estudiante "b", pero "b" no ejerce ninguna fuerza sobre "a".
 - ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "b" ejerce una fuerza mayor.
 - ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero "a" ejerce una fuerza mayor.
 - ambos estudiantes ejercen la misma cantidad de fuerza sobre el otro.
29. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo. Considérense las siguientes fuerzas:
- Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo.
 - Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.
- ¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de la oficina?
- Sólo la 1.
 - 1 y 2.
 - 2 y 3.
 - 1, 2 y 3.
 - Ninguna de las fuerzas (puesto que la silla está en reposo no hay ninguna fuerza actuando sobre ella).
30. A pesar de que hace un viento muy fuerte, un tenista consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de modo que la pelota pase por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente. Considera las siguientes fuerzas:
- Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
 - Una fuerza por el golpe.
 - Una fuerza ejercida por el aire.
- ¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota después de que ésta deja de estar en contacto con la raqueta y antes de que toque el suelo?
- Sólo la 1.
 - 1 y 2.
 - 1 y 3.
 - 2 y 3.
 - 1, 2 y 3.

Apéndice B: Test Lawson

Tecnológico de Monterrey

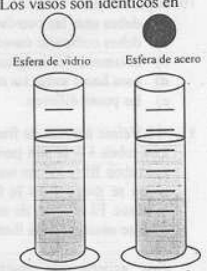
Instrucciones:

- Utiliza Lápiz HB o No. 2 (grafito suave) y asegúrate de marcar bien tus respuestas.
- Llena completamente el círculo de tu respuesta.
- Borra con cuidado y no dejes manchones.
- Escribe tus datos de forma clara, completa y correcta: i) completa la cantidad de cifras de tu matrícula anteponiendo ceros si es necesario. Por ejemplo, 540904 se escribirá 0540904 y 1740296 será idéntico (1740296); ii) completa la cantidad de dígitos de tu grupo anteponiendo un cero si es necesario.
- No escribas en la hoja de respuestas salvo para marcar tus datos personales y tus respuestas.
- Igualmente, NO ESCRIBAS SOBRE ESTE EXAMEN.

Instrucciones: La siguiente es una prueba de tu habilidad para aplicar aspectos de razonamiento científico y matemático al analizar una situación para hacer una predicción o resolver un problema. Este examen nos ayuda a planear mejor las actividades de las clases de física para que te sean de mejor beneficio por lo que agradecemos lo contestes lo mejor que puedas. Por favor marca en la hoja de respuestas la mejor opción en cada pregunta. Si no estás completamente seguro de lo que se está preguntando por favor consulta al evaluador para cualquier aclaración.


1. Tienes dos bolas de plastilina de igual forma y tamaño. Las dos bolas de plastilina pesan lo mismo. Una de ellas es aplastada en forma de galleta. ¿Cuál de las siguientes oraciones es correcta?
 - a) La pieza en forma de galleta pesa más que la pelota.
 - b) Las dos piezas todavía pesan lo mismo.
 - c) La pelota pesa más que la pieza en forma de galleta.

2. debido a que:
 - a) la pieza aplastada cubre una mayor área.
 - b) la bola empuja hacia abajo más en un sólo punto.
 - c) cuando algo es aplastado pierde peso.
 - d) no se ha agregado o quitado plastilina.
 - e) cuando algo es aplastado gana peso.

3. En la ilustración se muestran dos vasos cilíndricos llenos al mismo nivel con agua. Los vasos son idénticos en tamaño y forma. También se muestran dos pequeñas esferas, una de vidrio y otra de acero. Las esferas tienen el mismo tamaño pero la de acero es mucho más pesada que la de vidrio. Cuando la esfera de vidrio se coloca en el cilindro 1, ésta descende al fondo y el nivel de agua aumenta hasta la sexta marca.
 

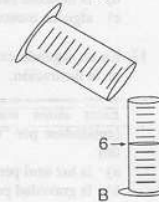
Si colocamos la esfera de acero en el vaso 2, el agua subirá:

- a) al mismo nivel que lo hizo en el vaso 1
 - b) a un nivel superior que como lo hizo en el vaso 1
 - c) a un nivel inferior que como lo hizo en el vaso 1
4. debido a que:
 - a) la esfera de acero descenderá más rápido.
 - b) las esferas están hechas de diferentes materiales.
 - c) la esfera de acero es más pesada que la esfera de vidrio.
 - d) la esfera de vidrio crea menos presión.
 - e) las esferas tienen el mismo tamaño.

5. A la derecha se ilustran un vaso cilíndrico ancho y uno angosto. Los vasos tienen marcas igualmente espaciadas sobre ellos. Se vierte agua dentro del vaso ancho hasta la cuarta marca (ver A). El agua sube hasta la sexta marca cuando se vierte en el vaso angosto (ver B).
 

Ambos vasos se vacían (no se muestra). Ahora, agua es vertida en el vaso ancho hasta la sexta marca. ¿Qué tan alto podría subir el agua si fuese vertida en el vaso angosto vacío?

- a) Alrededor de la marca 8
 - b) Alrededor de la marca 9
 - c) Alrededor de la marca 10
 - d) Alrededor de la marca 12
 - e) Ninguna de las respuestas anteriores es correcta
6. debido a que:
 - a) la respuesta no puede ser determinada con la información dada.
 - b) subió 2 marcas en el caso anterior, así que subirá 2 nuevamente.
 - c) sube 3 marcas en el vaso angosto por cada 2 del ancho.
 - d) el segundo vaso es más angosto.
 - e) se debería realizar el experimento vertiendo el agua y observando para averiguar

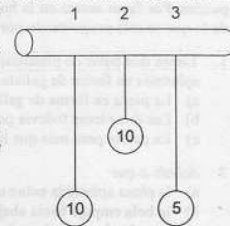


7. Ahora, agua es vertida en el vaso angosto (descrito en la pregunta 5 arriba) hasta la marca 11. ¿Qué tal alto subirá esta agua si fuera vertida en el vaso ancho vacío?
- Alrededor de 7 1/2
 - Alrededor de 9
 - Alrededor de 8
 - Alrededor de 7 1/3
 - Ninguna de las respuestas anteriores es correcta

8. debido a que:

- las razones deben permanecer iguales
- se debería realizar el experimento vertiendo el agua y observando para averiguar.
- la respuesta no puede ser determinada con la información dada.
- en el caso anterior disminuyó 2 así que será 2 menos nuevamente.
- sustraes 2 del ancho por cada 3 del angosto.

9. En la figura se encuentran 3 cuerdas colgando de una barra. Las 3 cuerdas tienen pesas de metal sujetadas a sus extremos. La cuerda 1 y la cuerda 3 tienen la misma longitud. La cuerda 2 es más corta. La cuerda 1 tiene una pesa de 10 unidades, la cuerda dos también tiene una pesa de 10 unidades y la cuerda 3 tiene una de 5 unidades. Las cuerdas (con las pesas) pueden ser balanceadas hacia delante y hacia atrás y el tiempo que toman para dar un recorrido completo puede ser medido.



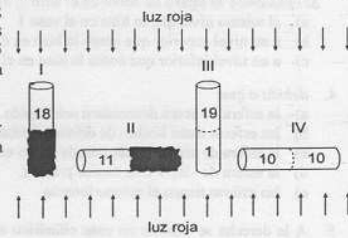
Supón que quieres averiguar si la longitud de la cuerda tiene un efecto sobre el tiempo que toma en balancearse hacia delante y hacia atrás. ¿Qué cuerda podría utilizarse para averiguarlo?

- Solamente una cuerda
- Las 3 cuerdas
- 2 y 3
- 1 y 3
- 1 y 2

10. debido a que:

- debes usar las cuerdas más largas.
- debes comparar cuerdas con pesas livianas y pesas pesadas.
- solamente las longitudes difieren.
- para hacer todas las comparaciones posibles.
- las pesas difieren.

11. Veinte moscas de fruta son colocadas en cada uno de los cuatro tubos de vidrio y posteriormente son sellados. Los tubos I y II son parcialmente cubiertos con papel negro; los tubos III y IV no son cubiertos. Los tubos son colocados como se muestra en la figura y se exponen a luz roja por 5 minutos. El número de moscas en la parte descubierta de cada tubo se muestra en la ilustración.



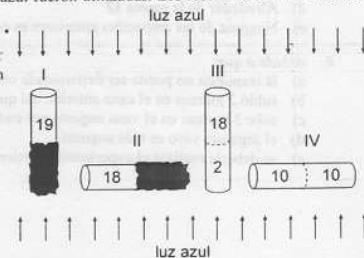
Este experimento muestra que las moscas responden a: (entiéndase por "responder" que se mueven hacia ó se alejan de)

- la luz roja pero no a la gravedad
 - la gravedad pero no a la luz roja
 - ambas la luz roja y a la gravedad
 - ni a la luz roja ni a la gravedad
12. debido a que:
- la mayoría de las moscas están en el extremo superior del tubo III pero dispersas equitativamente en el tubo II.
 - la mayoría de las moscas no bajaron al fondo de los tubos I y III.
 - las moscas necesitan luz para ver y deben volar contra la gravedad.
 - la inmensa mayoría de las moscas están en los extremos superiores y en los extremos iluminados de los tubos.
 - algunas moscas están en ambos extremos de cada tubo.

13. En un segundo experimento, un tipo diferente de mosca y luz azul fueron utilizadas. Los resultados son mostrados en la ilustración.

Estos datos muestran que estas moscas responden a: (entiéndase por "responder" que se mueven hacia ó se alejan de)

- la luz azul pero no a la gravedad
- la gravedad pero no a la luz azul
- la luz azul y a la gravedad
- ni a la luz azul ni a la gravedad

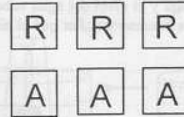


14. debido a que:

- a) algunas moscas están en ambos extremos de cada tubo
- b) las moscas necesitan luz para ver y deben volar contra la gravedad
- c) las moscas están distribuidas uniformemente en el tubo IV y en el extremo superior del tubo III.
- d) la mayoría de las moscas están en el extremo iluminado del tubo II pero no bajan en los tubos I y III.
- e) la mayoría de las moscas están en el extremo superior del tubo I y en el extremo iluminado del tubo II.

15. Se colocan seis piezas cuadradas de madera en una bolsa de tela oscura y se mezclan. Las seis piezas son idénticas en tamaño y forma, tres piezas son rojas (R) y tres amarillas (A). Suponga que alguien extrae una pieza de la bolsa (sin ver). ¿Qué posibilidad hay de que sea roja?

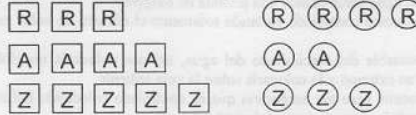
- a) 1 posibilidad de cada 6 eventos
- b) 1 posibilidad de cada 3 eventos
- c) 1 posibilidad de cada 2 eventos
- d) 1 posibilidad de cada 1 evento
- e) No puede ser determinado



16. debido a que:

- a) 3 de las 6 piezas son rojas.
- b) no hay manera de decir qué pieza será sacada.
- c) solamente una pieza de las 6 en la bolsa será extraída.
- d) las 6 piezas son idénticas en tamaño y forma.
- e) solamente una de las 3 piezas rojas puede ser extraída.

17. Se colocan tres piezas rojas (R) cuadradas de madera, cuatro piezas amarillas (A) cuadradas y cinco piezas azules (Z) cuadradas en una bolsa de tela oscura. Se colocan también cuatro piezas rojas redondas, dos amarillas redondas y tres azules redondas. Se mezclan todas las piezas. Supón que alguien introduce la mano en la bolsa (sin ver y sin distinguir con el tacto alguna pieza particular) y extrae una pieza.



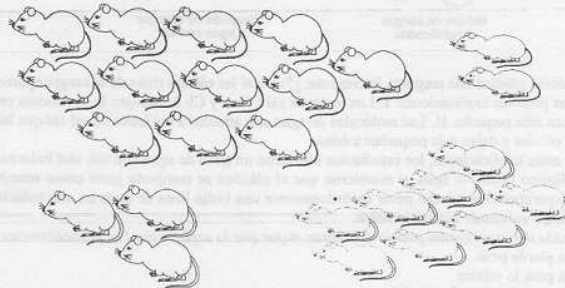
¿Cuántas posibilidades hay de que la pieza sea roja redonda o azul redonda?

- a) No puede ser determinado
- b) 1 posibilidad de cada 3 eventos
- c) 1 posibilidad de cada 21 eventos
- d) 15 posibilidades de cada 21 eventos
- e) 1 posibilidad de cada 2 eventos

18. debido a que:

- a) 1 de las 2 formas es redonda.
- b) 15 de las 21 piezas son rojas o azules.
- c) no hay manera de predecir qué pieza será extraída
- d) solamente 1 de las 21 piezas será extraída de la bolsa
- e) 1 de cada 3 piezas es una pieza redonda roja o azul

19. El granjero Brown estuvo observando a los ratones que viven en su campo. Descubrió que todos eran flacos o gordos y que tenían colas blancas o negras. Esto lo hizo cuestionarse si habría relación entre el tamaño del ratón y el color de su cola. Así que capturó y observó a todos los ratones de una parte de su campo. Estos son los ratones que capturó.

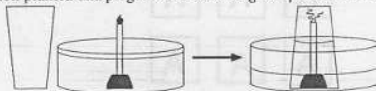


¿Piensas que hay alguna relación entre el tamaño de los ratones y el color de sus colas?

- a) Parece haber alguna relación
- b) Parece no haber relación
- c) No puede hacerse una suposición razonable

20. *debido a que:*
- hay varios ratones de cada tipo
 - puede haber una relación genética entre el tamaño del ratón y el color de su cola
 - no fueron capturados suficientes ratones
 - la mayoría de los ratones gordos tienen colas negras mientras que la mayoría de los ratones flacos tienen colas blancas
 - a medida que los ratones crecen más gordos, sus colas se tornan más oscuras

21. La figura de abajo a la izquierda muestra un vaso de vidrio y una vela de cumpleaños sostenida en un pequeño pedazo de plastilina en un recipiente con agua. Cuando el vaso se voltea boca abajo cubriendo la vela sobre el agua, la vela rápidamente se apaga y el nivel del agua sube dentro del vaso (como se muestra a la derecha). Esta observación plantea una pregunta interesante: ¿Por qué el nivel del agua sube dentro del vaso?

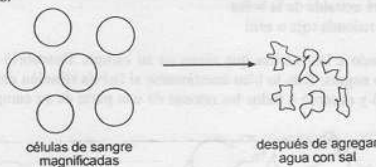


Aquí hay una explicación posible. La flama convierte el oxígeno en dióxido de carbono. Como el oxígeno no se disuelve rápidamente en el agua pero el dióxido de carbono sí, el dióxido de carbono recién formado al tapan la vela se disuelve rápidamente en el agua, disminuyendo la presión del aire dentro del vaso.

Supón que tienes los materiales mencionados arriba, algunos fósforos y un poco de hielo seco (el hielo seco es dióxido de carbono congelado). Usando algunos o todos los materiales, ¿cómo podrías probar esta posible explicación?

- Saturaría el agua con dióxido de carbono y repetiría el experimento notando el crecimiento del agua.
 - El agua crece porque se consume oxígeno, así que repetiría el experimento en exactamente la misma forma para demostrar que el agua crece debido a la pérdida de oxígeno.
 - Conduciría un experimento controlado variando solamente el número de velas para ver si esto puede producir una diferencia.
 - La succión es responsable del crecimiento del agua, así que colocaría un globo sobre la superficie de un cilindro abierto por un extremo y lo colocaría sobre la vela ardiente.
 - Repetiría el experimento, pero me aseguraría que es controlado colocando todas las variables independientes constantes; luego mediría el crecimiento del nivel del agua.
22. ¿Qué resultado de tu examen (mencionado arriba en la pregunta 21) podría demostrar que tu explicación es probablemente incorrecta?
- el agua sube lo mismo que antes.
 - el agua sube menos que antes.
 - El globo se expande.
 - El balón es succionado.

23. Un estudiante coloca una gota de sangre en el portaobjetos de un microscopio para luego observarla. Como se observa en el diagrama de abajo, las células de la gota roja magnificada lucen como pelotas redondas. Después de añadir unas cuantas gotas de agua con sal a la gota de sangre, el estudiante observa que las células parecen haberse hecho más pequeñas.



Esta observación plantea una pregunta interesante: ¿Por qué las células rojas de la sangre aparecen más pequeñas? Aquí hay dos posibles explicaciones: I. Los iones de sal (Na^+ y Cl^-) empujan la membrana celular y hacen que la célula parezca más pequeña. II. Las moléculas de agua son atraídas a los iones de sal así que las moléculas de agua salen de las células y dejan más pequeñas a éstas.

Para probar estas explicaciones, los estudiantes utilizaron un poco de agua con sal, una balanza muy precisa y unas bolsas de plástico llenas de agua, y asumieron que el plástico se comporta justo como membranas de células de sangre. El experimento involucró pesar cuidadosamente una bolsa llena de agua en una solución salina durante 10 minutos y luego volviendo a pesar la bolsa.

¿Qué resultado del experimento podría demostrar mejor que la explicación I es probablemente incorrecta?

- La bolsa pierde peso
 - La bolsa pesa lo mismo
 - La bolsa parece estar más pequeña
24. ¿Qué resultado del experimento podría demostrar mejor que la explicación II es probablemente incorrecta?
- La bolsa pierde peso
 - La bolsa pesa lo mismo
 - La bolsa parece estar más pequeña

Apéndice C: C-LASS

ENCUESTA SOBRE APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

Instrucciones. Se tienen una serie de frases que pueden o no describir lo que piensas sobre el aprender física. Se te pide que clasifiques cada frase seleccionando un número entre 1 y 5 que significan:

A: Completamente en desacuerdo **B:** Desacuerdo **C:** Neutral **D:** De acuerdo **E:** Completamente de acuerdo **N:** Sin respuesta

Escoge una de las cinco opciones que mejor representen lo que piensas de la frase. Si no entiendes la frase, contesta SR. Si no tienes una opinión fuerte, escoge C.

1. Un gran problema para aprender física es tener que memorizar toda la información que necesito saber.
2. Cuando resuelvo un problema de física, trato de decidir cual sería un valor razonable para la respuesta.
3. Yo pienso en la física que se involucra en mi vida cotidiana.
4. Es útil para mí hacer muchísimos problemas para aprender física.
5. Después de estudiar un tema en física y creo entenderlo, tengo dificultades para resolver problemas del mismo tema.
6. El conocimiento en física consiste de muchos temas desconectados.
7. Cuanto más entienden los físicos, la mayoría de las ideas actuales de la física se comprueban que son incorrectas.
8. Cuando resuelvo un problema de física, busco una ecuación que utiliza las variables dadas en el problema y substituyo los valores.
9. Una buena manera de aprender física para mí es leer el libro de texto en detalle.
10. Normalmente hay solamente un método correcto para resolver un problema de física.
11. No estoy satisfecho hasta que entiendo por qué funcionan las cosas de la manera en que lo hacen.
12. No puedo aprender física si el profesor no explica bien en la clase.
13. No espero que las ecuaciones de la física me ayuden a comprender las ideas, solo son útiles para hacer cálculos.
14. Estudio física para adquirir conocimiento que me será útil en mi vida afuera de la escuela.
15. Si me atoro en algún problema de física en mi primer intento, trato de resolverlo intentando un enfoque diferente.
16. Casi todos son capaces de entender física si se esfuerzan en ello.
17. Entender física consiste básicamente en poder recordar algo que hayas leído o que hayas visto.
18. Podrían resultar dos diferentes valores correctos para la respuesta de un problema en física si se utilizan dos enfoques distintos.
19. Para entender física, la discuto con mis amigos y compañeros.
20. No invierto más de cinco minutos atorado en algún problema en física antes de darme por vencido o pedir ayuda a otra persona.
21. Si no recuerdo una ecuación particular necesaria para resolver un problema en el examen, no hay manera (¡sin trampa!) de que la pueda obtener.
22. Si quiero aplicar un método usado en un problema en física en otro problema, el problema nuevo debe involucrar una situación muy similar.
23. Cuando hago un problema de física y mis cálculos dan resultados diferentes a los que yo esperaba, confío en mis cálculos en lugar de revisar el problema otra vez.
24. En física es importante para mí entender las fórmulas antes de poder usarlas correctamente.
25. Disfruto resolviendo problemas de física.
26. En la física, las formulas matemáticas expresan relaciones relevantes entre cantidades medibles.
27. Es importante que el gobierno apruebe nuevas ideas científicas antes de que puedan ser ampliamente aceptadas.
28. Aprender física cambia mis ideas acerca de como funcionan las cosas.
29. Para aprender física, solo tengo que memorizar las soluciones de los problemas tipo.
30. Las habilidades de razonamiento que utilizo para entender física me son útiles en mi vida diaria.
31. Utilizamos esta pregunta para eliminar las encuestas de las personas que no están leyendo las preguntas. Por favor selecciona la opción D (de acuerdo) para preservar tus respuestas.
32. Detenerse mucho tiempo para entender de dónde vienen las fórmulas en física es un desperdicio el tiempo.
33. Siento que entender a detalle sólo algunos problemas de física es un buen método para aprender.
34. Normalmente se me ocurre una forma de resolver los problemas de física.
35. Lo que se trata en física tiene poca relación con lo que se experimenta en el mundo real.
36. Hay veces en que resuelvo problemas de física en más de una manera para mejorar mi entendimiento.
37. Para entender física, a veces relaciono mis experiencias personales con los tópicos que estoy analizando.
38. Es posible explicar física sin necesidad de fórmulas matemáticas.
39. Cuando resuelvo problemas de física, explícitamente pienso en los principios físicos que aplican al problema.
40. Si me atoro en un problema de física, no hay manera que lo pueda solucionar por mi propia cuenta.
41. Es posible que los físicos hagan cuidadosamente un experimento y que obtengan dos resultados muy diferentes que ambos sean correctos.
42. Cuando estudio física, trato de relacionar la información importante con lo que ya conozco en lugar de memorizarla en la forma en la que me la presentan.

Apéndice D: Problemas tipo examen final

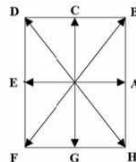


Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Departamento de Física

REACTIVOS TIPO FINAL

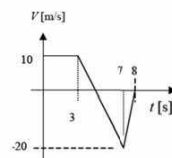
Problema 1 La figura muestra una colección de vectores que pueden ser combinados de diferentes maneras. Por ejemplo, $A + C = B$. El resultado de $C - A$ será:

- a) F
- b) H
- c) D
- d) C
- e) G



Problema 2 La gráfica siguiente muestra la velocidad de una partícula en función del tiempo. Encuentra su aceleración a los 7.5 s.

- (a) -6.7 m/s^2
- (b) -20 m/s^2
- (c) 20 m/s^2
- (d) -10 m/s^2
- (e) 5.0 m/s^2



Problema 3 Un objeto se está moviendo con una rapidez constante de 20 m/s en un círculo de radio de 10 m . ¿Cuánto tarda este objeto en efectuar una revolución?

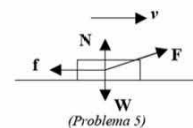
- a) $1 \pi \text{ s}$
- b) $2 \pi \text{ s}$
- c) $4 \pi \text{ s}$
- d) 10 s
- e) 20 s

Problema 4 Si un objeto se está moviendo con velocidad constante, ¿qué conclusión se puede sacar?

- (a) Existe una fuerza neta constante actuando sobre el objeto en la dirección del movimiento.
- (b) Existe una fuerza neta que se está incrementando actuando sobre el objeto en la dirección del movimiento.
- (c) La fuerza neta actuando sobre el objeto es cero.
- (d) No existe ninguna fuerza actuando sobre el objeto.
- (e) Existen dos fuerzas iguales y opuestas actuando sobre el objeto.

Problema 5 Una persona jala un bloque sobre una superficie horizontal a velocidad constante aplicando una fuerza F . Las flechas en el diagrama representan las fuerzas sobre el bloque. ¿Cuál de los siguientes conjuntos de relaciones entre las magnitudes de las fuerzas debe ser correcto?

- (a) $F = f$ y $N = W$
- (b) $F > f$ y $N < W$
- (c) $F = f$ y $N > W$
- (d) $F > f$ y $N = W$
- (e) $F < f$ y $N > W$



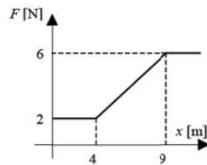
Problema 6

Dos carros idénticos están viajando a lo largo de un camino horizontal. Un carro viaja con el doble de rapidez que el otro. Los frenos de ambos carros ejercen fuerzas de frenado iguales y constantes. Si el carro que va más lento viaja 20 m antes de detenerse, ¿cuál distancia será necesaria para que se detenga el que va más rápido?

- a) 20 m
- b) 40 m
- c) 60 m
- d) 80 m
- e) 400 m

Problema 7 Se ejerce una sola fuerza horizontal variable F , como se muestra en la figura, sobre un objeto de masa 2 kg en una mesa sin fricción. Si la velocidad del objeto en $x = 4$ m es de 4 m/s hacia la derecha, calcula su velocidad en $x = 9$ m.

- (a) 24 m/s
- (b) 20 m/s
- (c) 4 m/s
- (d) 6 m/s
- (e) 2 m/s



Problema 8 En un choque unidimensional entre dos bolitas de materiales desconocidos se determina que se conserva el 50% de la energía cinética. Diga cuál de las siguientes aseveraciones es necesariamente cierta:

- a) El choque es completamente inelástico
- b) El choque es completamente elástico
- c) La bola de menor masa pierde la mitad de su momentum lineal original.
- d) La velocidad del centro de masas permanece constante.
- e) La bola de mayor masa pierde la mitad de su momentum lineal original.

Problema 9 Una esfera sólida se encuentra rodando sobre una superficie sin deslizamiento alguno. Determine la energía cinética rotacional con relación al centro de masas como un porcentaje de la energía cinética total instantánea. Considere $I = \frac{2}{5} MR^2$.

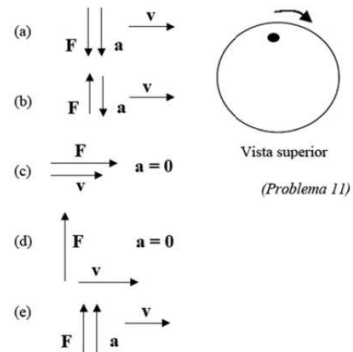
- a) 20.0%
- b) 40.0%
- c) 28.6%
- d) 50.0%
- e) 35.6%

Problema 10 Una fuerza horizontal constante de 20.0 N actúa durante 2.00 s sobre un bloque de 2.00kg inicialmente en reposo sobre una superficie

horizontal sin fricción. Encuentra su velocidad al finalizar el intervalo.

- (a) 14.1 m/s
- (b) 17.3 m/s
- (c) 24.5 m/s
- (d) 20.0 m/s
- (e) 10.0 m/s

Problema 11 Un objeto se encuentra sobre un disco colocado en forma horizontal rotando a una velocidad angular constante como se muestra en la figura. ¿Cuál de los siguientes conjuntos de vectores de velocidad, fuerza neta y aceleración del objeto son correctos para la posición del objeto mostrada en la figura?



Problema 12 Una rueda cuyo momento de inercia es de 200 kgm² está girando a 14.0 rad/s. Si para frenarla se le aplica un momento de torsión de 400 Nm, encuentra el tiempo que tardará en detenerse completamente.

- a) 2.30 s
- b) 7.00 s
- c) 70.0 s
- d) 78.0 s
- e) 1.50 s

Problema 13 Un carrito de goma tiene inicialmente un momento lineal vectorial p . El carrito se impacta contra una pared y sale rebotado en dirección contraria de la que venía. Si la magnitud del momento lineal del carrito después del impacto es la misma que la magnitud del momento lineal que llevaba antes del impacto, determine cuál de las siguientes expresiones determina el cambio de momentum lineal vectorial del carrito

- a) $2\mathbf{p}$
- b) $-2\mathbf{p}$
- c) \mathbf{p}
- d) $-\mathbf{p}$
- e) 0

Problema 14 Un auto pasa con cierta rapidez constante por una cuneta (es decir, un vado) que tiene un perfil semicircular de cierto radio. Sea P el punto más bajo de la cuneta. Sea F_c la magnitud de la fuerza centrípeta del auto en el punto P y W la magnitud del peso de auto. La magnitud de la fuerza normal que el piso ejerce sobre el auto en el punto P es igual a

- a) F_c
- b) $F_c - W$
- c) W
- d) $F_c + W$
- e) 0

Respuestas: 1-c, 2-c, 3-a, 4-c, 5-b, 6-d, 7-d, 8-d, 9-c, 10-d, 11-a, 12-b, 13-b, 14-d

Apéndice E: Hoja de respuestas para el FCI

No. Ex.:

TECNOLÓGICO DE MONTERREY - CAMPUS MONTERREY
Examen Conceptual de Fuerza

INSTRUCCIONES:

- Utiliza lápiz HB o No. 2 (grafito suave) y asegúrate de marcar bien tus respuestas.
- Borra con cuidado y no dejes manchones.
- ESCRIBE TODOS TUS DATOS de forma clara, completa y correcta: *i)* completa la cantidad de cifras de tu matrícula anteponiendo ceros si es necesario. Por ejemplo, 540904 se escribirá 0540904 y 1740296 será idéntico (1740296); y *ii)* completa la cantidad de dígitos de tu grupo anteponiendo un cero si es necesario.
- Utiliza la parte posterior de esta hoja si necesitas realizar anotaciones.
- **NO ESCRIBAS SOBRE LAS HOJAS DE PREGUNTAS.**

Nombre _____

Matrícula								Grupo		Sexo
A	0									F <input type="radio"/>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M <input type="radio"/>
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	

<p>1 A B C D E</p> <p>2 A B C D E</p> <p>3 A B C D E</p> <p>4 A B C D E</p> <p>5 A B C D E</p> <p>6 A B C D E</p> <p>7 A B C D E</p> <p>8 A B C D E</p> <p>9 A B C D E</p> <p>10 A B C D E</p>	<p>11 A B C D E</p> <p>12 A B C D E</p> <p>13 A B C D E</p> <p>14 A B C D E</p> <p>15 A B C D E</p> <p>16 A B C D E</p> <p>17 A B C D E</p> <p>18 A B C D E</p> <p>19 A B C D E</p> <p>20 A B C D E</p>	<p>21 A B C D E</p> <p>22 A B C D E</p> <p>23 A B C D E</p> <p>24 A B C D E</p> <p>25 A B C D E</p> <p>26 A B C D E</p> <p>27 A B C D E</p> <p>28 A B C D E</p> <p>29 A B C D E</p> <p>30 A B C D E</p>
---	---	---

Apéndice F: Hoja de respuestas para el Lawson

No. Ex.:

TECNOLÓGICO DE MONTERREY - CAMPUS MONTERREY

INSTRUCCIONES:

- Utiliza lápiz HB o No. 2 (grafito suave) y asegúrate de marcar bien tus respuestas.
- Borra con cuidado y no dejes manchones.
- **ESCRIBE TODOS TUS DATOS** de forma clara, completa y correcta: *i)* completa la cantidad de cifras de tu matrícula anteponiendo ceros si es necesario. Por ejemplo, 540904 se escribirá 0540904 y 1740296 será idéntico (1740296); y *ii)* completa la cantidad de dígitos de tu grupo anteponiendo un cero si es necesario.
- Utiliza la parte posterior de esta hoja si necesitas realizar anotaciones.
- **NO ESCRIBAS SOBRE LAS HOJAS DE PREGUNTAS.**

Nombre _____

Matricula								Grupo		Sexo
A	0									F <input type="radio"/>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F <input type="radio"/>
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	M <input type="radio"/>
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	

<p>1 A B C D E</p> <p>2 A B C D E</p> <p>3 A B C D E</p> <p>4 A B C D E</p> <p>5 A B C D E</p> <p>6 A B C D E</p> <p>7 A B C D E</p> <p>8 A B C D E</p> <p>9 A B C D E</p> <p>10 A B C D E</p>	<p>11 A B C D E</p> <p>12 A B C D E</p> <p>13 A B C D E</p> <p>14 A B C D E</p> <p>15 A B C D E</p> <p>16 A B C D E</p> <p>17 A B C D E</p> <p>18 A B C D E</p> <p>19 A B C D E</p> <p>20 A B C D E</p>	<p>21 A B C D E</p> <p>22 A B C D E</p> <p>23 A B C D E</p> <p>24 A B C D E</p>
---	---	---

Apéndice H: Hoja de respuestas para el examen final

TECNOLÓGICO DE MONTERREY
Departamento de Física
Examen Final

INSTRUCCIONES:

- Utiliza lápiz HB o No. 2 (grafito suave) y asegúrate de marcar bien tus respuestas.
- Borra con cuidado y no dejes manchones.
- ESCRIBE TODOS TUS DATOS de forma clara, completa y correcta: *i)* completa la cantidad de cifras de tu matrícula anteponiendo ceros si es necesario; *ii)* completa la cantidad de dígitos de tu grupo anteponiendo un cero si es necesario; y *iii)* **NO OLVIDES LA FORMA DE EXAMEN.**
- No escribas sobre esta hoja salvo para marcar tus datos personales y tus respuestas.

DATOS PERSONALES:

Nombre _____

	Matrícula	Grupo	Forma de examen						
A	0								
0	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
3	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
4	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
5	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
6	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
7	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
8	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
9	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

RESPUESTAS:

<p>1 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>2 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>3 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>4 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>5 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>6 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>7 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>8 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>9 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>10 (A) (B) (C) (D) (E)</p>	<p>11 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>12 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>13 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>14 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>15 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>16 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>17 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>18 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>19 (A) (B) (C) (D) (E)</p> <p>20 (A) (B) (C) (D) (E)</p>
--	---