

20485

5

MAESTRÍA EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA
Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado, CCH
Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán
Universidad Nacional Autónoma de México

**CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS DE FUERZA
DE ALUMNOS DE INGENIERÍA**

Tesis de Maestría

Asesor: Dr. Juan Manuel Estrada Medina

Alumno: Ing. Juan Ocáriz Castelazo

Sinodales:

M. Juan B. Recio Zubieta
M. Asela Carlón Monroy
M. Sergio Cruz Contreras
M. Iñiqui de Olaizola Arizmendi

Febrero de 2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Quidquid recipitur
ad modum recipientis
recipitur.
(Adagium scholasticum)*

Lo que se recibe
es recibido al modo del recipiente.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Planteamiento del problema	1
I.2 Presentación de la tesis	1
I.3 Propósito general	3
I.4 Preguntas de investigación	4
I.5 Antecedentes	6
II. MARCO TEÓRICO	9
II.1 La educación y sus fines	9
II.2 Revisión bibliográfica	19
Estudios sobre el concepto de fuerza	19
Estudios sobre psicología y pedagogía	26
II.2 Enfoque teórico-metodológico	30
III. METODOLOGÍA	33
III.1 Los alumnos	33
III.2 Instrumentos de recolección de la información	34
Cuestionario escrito	34
Entrevista	43
III.3 Organización de la información	58
IV. RESULTADOS DEL ESTUDIO Y RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	90
IV.1 Concepciones espontáneas de fuerza	90
IV.2 Rasgos más recurrentes de las concepciones espontáneas	110
IV.3 Concordancia de algunos rasgos con las notas del concepto científico	116
IV.4 Conceptos con que se relacionan las concepciones espontáneas	124
IV.5 Otros recursos de los estudiantes para la explicación de fuerza	127
IV.6 Dificultades en la identificación de las fuerzas	130
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
V.1 A modo de resumen	131
V.2 Limitaciones del estudio y recomendaciones	132
V.3 Orientaciones didácticas	134
VI. REFERENCIAS	140
VII. ANEXOS	144
VII.1 Anexo 1. Respuestas escritas de los alumnos al cuestionario.	144
VII.2 Anexo 2. Tabla de respuestas al cuestionario	178

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del problema

La fuerza se concibe, en los estudios de Mecánica, como la causa del movimiento de los cuerpos. Es, por tanto, uno de los conceptos más importantes de dicha ciencia.

Los alumnos que ingresan a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México han llevado previamente muchos cursos de Física. Al comenzar las materias de Mecánica, cuentan con un cierto acervo conceptual con el que han de relacionar sus nuevos conocimientos. La tarea de los profesores de esas asignaturas puede ser mejor si tienen en cuenta las concepciones previas que posean sus alumnos.

La presente tesis documenta las conceptualizaciones con que alumnos de la Facultad de Ingeniería acceden a sus cursos de Mecánica. La información se recolectó mediante un cuestionario escrito y una entrevista oral. La tarea de los alumnos consistió en identificar las fuerzas que actuaban sobre ciertos cuerpos y explicar sus respuestas. La información obtenida permitió detectar los conceptos que los alumnos exhibieron en la realización de la actividad. Asimismo, se identificaron los rasgos más recurrentes de dichos conceptos. Luego se compararon con las características del concepto científico de fuerza. También se determinó con qué otros conceptos, tanto de la Mecánica como de otras disciplinas, los alumnos relacionaron el concepto de fuerza. Por último, se analizaron las dificultades que tuvieron los estudiantes en la identificación de las fuerzas. A partir de los resultados de la investigación se sugieren algunas orientaciones didácticas.

I.2 Presentación de la tesis

Mejorar la enseñanza debe ser una de las preocupaciones más habituales de los profesionales de la educación. La presente tesis pretende proporcionar una pequeña colaboración a tan enorme tarea.

A lo largo de los últimos años los educadores han venido utilizando distintas expresiones para referirse a su tarea. Por ejemplo, han hablado con frecuencia de “enseñanza”, de “aprendizaje”, del proceso “enseñanza-aprendizaje”, de “educación”, de “educación integral”, etc. En la labor educativa a veces se ha puesto el énfasis en los contenidos de las asignaturas, a veces en el profesor, a veces en el alumno. En el trabajo que estamos presentando la atención estará centrada en el alumno.

Se admite comúnmente que la educación se deprecia. Los adultos de hoy piensan que sus hijos reciben mucho menos que ellos en la escuela y, además, más tarde. Lo que ellos aprenden

dieron en secundaria, sus hijos intentan aprenderlo en preparatoria. Consideran los padres que sus hijos carecen de muchos de los conocimientos y de las habilidades que ellos habían adquirido a su edad: no saben leer, no saben hacer operaciones, no saben escribir, no saben ciencias naturales... Se añoran los tiempos pasados. Ya los profesores no son aquellos hombres respetables y omniscientes. En las escuelas no existe más aquel orden y aquella disciplina cuasimilitar. La presente tesis presupone que la educación tiene que avanzar adecuándose a las circunstancias de tiempo, de intereses, de preparación previa de los alumnos, pues el hombre es cambiante por naturaleza y el estudiante de este curso es diferente del de hace cinco años; y el de la ciudad de México es distinto al de cualquier país extranjero.

Por muchos frentes se podría abordar un intento de mejora en la educación. Elegir uno no significa menospreciar todos los demás. Y como nos interesa el alumno de hoy y de este lugar, vamos a tratar de conocerlo mejor. Vamos a intentar saber qué conocimientos posee.

No se trata de una inquietud novedosa ni de una tarea que se emprenda por primera vez. Muchos trabajos se orientan a investigar lo que el alumno sabe sobre los contenidos de ciertos temas específicos. Con tal conocimiento, consideramos que es posible acomodar los procesos de enseñanza con el fin de que los alumnos aprendan más y mejor. También puede ayudar a conocer mejor los procesos de aprendizaje y orientar al profesor a interpretar los sucesos que tienen lugar en el aula. Algunos investigadores estiman que se mejora la comunicación entre los profesores y los alumnos durante el desarrollo del acto didáctico (Driver, 1989), que se pueden realizar nuevos diseños de enseñanza (Osborne y Freyberg, 1985), y que se puede crear una nueva perspectiva sobre el aprendizaje (Driver y Oldham, 1985).

Podríamos considerar bastante generalizada la idea de que el profesor universitario es el centro de la actividad docente. Idea que se ha venido generando a través de los años por la forma que tradicionalmente se ha impartido la enseñanza en las universidades. Quitados ciertos años específicos, como los que siguieron a 1968 y algunos otros, los métodos adoptados por los profesores, sus actitudes, sus normas disciplinarias, etc. han sido aceptados sin objeciones por los alumnos; lo cual consideramos ciertamente positivo. Sin embargo, tal conducta ha llevado a que muchos profesores se consideren a sí mismos el centro, el origen y la cúspide de la educación, y, por tanto, su actividad esté totalmente referida a ellos mismos: a su propia preparación, a su criterio sobre la impartición de las materias, a su inapelable juicio a la hora de evaluar al alumno, a considerar inadmisibles que los estudiantes lo evalúen a él, etc.

La naturaleza propia de la educación exige cambios permanentes. Incluso la enseñanza de los principios fundamentales de las ciencias requiere una constante adaptación. No porque una ciencia o sus principios sufran modificación alguna, sino porque cambian los instrumentos, cambian los profesores y, sobre todo, cambian los antecedentes cognoscitivos de los alumnos. De hecho, pueden encontrarse abundantes investigaciones sobre temas como concepciones alternativas, obstáculos de aprendizaje, dimensión social del aprendizaje, contexto educativo, concepciones previas de los alumnos, etc. (Porlán, 1998) que se centran en el conocimiento del estudiante, y afirma:

“El énfasis puesto por la didáctica de las ciencias en la crítica rigurosa a los enfoques transmisivos ha estado estrechamente vinculado a los avances en los estudios sobre con-

cepciones de los alumnos, lo que probablemente explique por qué han sido predominantes durante tantos años. Estos estudios, por ejemplo, han puesto en cuestión la idea de que los alumnos son *receptores pasivos* de la información al demostrar que tienen *concepciones espontáneas* sobre el mundo y que dichas concepciones suponen, con frecuencia, una alternativa diferente a la científica para explicar los fenómenos de la realidad. Al mismo tiempo, la persistencia de muchas de estas concepciones a lo largo del tiempo, con independencia del éxito o fracaso académico de los alumnos, confirma la poca eficacia de la enseñanza recibida y el hecho de que la evaluación no informe realmente sobre lo que el alumno verdaderamente sabe, sino sobre lo que aparenta que sabe. La existencia de estas concepciones, en fin, refuerza la idea de que es necesario teorizar sobre las naturaleza epistemológica del conocimiento escolar, pues ya no es posible considerar la ciencia como única fuente de contenidos, dado que los alumnos *contienen* también una visión del mundo que el currículo debe considerar.”

I.3 Propósito general

Ahora bien, hemos de plantearnos concretamente el problema, atendiendo a nuestras disciplinas y a nuestros alumnos. Si deseamos conocer a los alumnos que acceden a los cursos de Mecánica de la Facultad de Ingeniería, debemos centrarnos en alguno de los conceptos fundamentales de tales asignaturas. Uno de ellos es el concepto de fuerza. Y, así, el objeto de nuestro presente trabajo es investigar algunos rasgos sobre las concepciones acerca de la fuerza que poseen los alumnos al incorporarse a los cursos.

Para ello, hemos escogido un cuestionario que contiene seis Casos de cuerpos en movimiento. En cada uno de ellos se presentan uno o varios estados. Y con relación a éstos se formula una cuestión, que consiste en señalar qué fuerzas están actuando sobre el cuerpo. El cuestionario lo aplicamos primero a un grupo recién formado de la materia de Estática; los alumnos lo resolvieron por escrito durante una sesión de clase. Posteriormente sostuvimos una entrevista con dos alumnos al inicio del siguiente curso, en la que se les pidió contestar el mismo cuestionario; dicha entrevista se recogió en una grabación y se transcribió íntegramente.

Las respuestas de los alumnos sirvieron para conocer los aspectos más relevantes del concepto de fuerza que ellos tienen. Tratamos de conseguirlo analizando las afirmaciones y las explicaciones de los estudiantes que participaron en la investigación, tomando como marco de referencia las nociones y las leyes de la Mecánica clásica. es decir, con las leyes de Newton y el principio de Stevin, y las definiciones que ellos implican.

Los alumnos sobre cuyas concepciones espontáneas desarrollamos la investigación fueron los inscritos en dos de los grupos de la materia de Estática, que es la primera en que se aborda le estudio de la Mecánica clásica.

La finalidad fundamental consiste en indagar qué concepciones de fuerza exhiben los estudiantes al interactuar con las tareas propuestas. Se trata de contar mediatamente con elemen-

tos de juicio que ayuden a profundizar en el conocimiento de lo que los alumnos “saben” y poder mejorar de algún modo la impartición de las materias de Mecánica.

Resulta muy comprensible que en el bachillerato los alumnos tengan serias dificultades con algunas materias, puesto que en ese nivel de enseñanza tienen que trabajar con disciplinas de toda índole. Y muchas veces son ajenas por completo a sus intereses y a sus capacidades personales. Pero cuando un alumno ha llegado a la universidad, ha elegido ya libremente una carrera conforme a sus propios gustos y asume que tiene la capacidad para estudiarla. El problema es más grave cuando la materia en cuestión no es marginal, sino fundamental en el currículum. En el caso de los estudiantes de ingeniería el asunto es muy claro: por regla general, quien desee ingresar a la Facultad y sea admitido, tiene y sabe que tiene facilidad para las Matemáticas.

Sin duda aprender una materia lleva consigo dificultades diversas. Puede tratarse de un contenido completamente novedoso. Quizá el alumno se encuentre en alguna situación familiar, emotiva, psicológica, o somática especial. Es posible que el profesor resulte oscuro o confuso cuando explica. Pero es mucho más frecuente de lo que parece que existan obstáculos epistemológicos. Un tipo de obstáculo epistemológico que se presenta ordinariamente es un conocimiento anterior o una preconcepción que dificulta la asimilación de un nuevo concepto. Evidentemente no es posible tener un diagnóstico completo de los conocimientos adquiridos por los alumnos en general, ni siquiera de uno concreto y particular.

I.4 Preguntas de investigación

Hemos señalado ya algunas preocupaciones que deben ser permanentes en la actividad docente, y una de ellas es cómo mejorarla. Para atenderla, el esfuerzo podría centrarse en el propio profesor, en el contenido de las materias o en el alumno, pero sin perder de vista que su finalidad tiene que terminar en este último. Nos parece importante, por lo tanto, conocer el bagaje conceptual del alumno lo mejor posible.

Para aproximarnos a ese conocimiento nos hemos formulado unas preguntas, seis preguntas de investigación, que nos han servido para orientar nuestro trabajo, y son las siguientes:

1. ¿Qué tipo de conceptualizaciones de fuerza exhiben los alumnos involucrados en las tareas propuestas?

El concepto de fuerza se halla en el núcleo de los conocimientos de la Mecánica clásica, pues se concibe como la causa del movimiento, el cual es precisamente el objeto de esta ciencia. Desafortunadamente, la palabra fuerza es de uso muy común y, por eso mismo, demasiado equívoco su significado. En primer término, por tanto, hemos recogido ordenadamente un elenco amplio de las preconcepciones de los alumnos acerca de la fuerza.

2. ¿Cuáles son los rasgos del concepto de fuerza más recurrentes?

Sin perder de vista que deseamos aproximarnos a lo que saben los alumnos acerca de la fuerza, no hemos pretendido construir una elaboración completa de las conceptualizaciones de los estudiantes que participaron en la investigación, sino señalar los rasgos más importantes; la expresión “lo que el alumno sabe” puede entenderse de muy distintas maneras. Jiménez *et al.* (1994) han encontrado dieciséis acepciones diferentes en estudios recientes relativos a la enseñanza de las ciencias. Nosotros hemos preferido llamar *concepciones espontáneas* a las explicaciones que dan los sujetos. Se trata de conceptos que el estudiante posee antes de recibir la enseñanza específica sobre ellos en el curso que lleva. Podríamos llamarlas también preconcepciones o preconceptos, como lo hacen algunos autores, pero no utilizaremos estos términos. No se trata siquiera de equiparar ni contraponer tales concepciones espontáneas con lo que podrían ser conceptos erróneos o ideas falsas (*misconceptions*), faltas de comprensión, creencias, etc.

3. ¿Cuáles de las notas del concepto científico de fuerza concuerdan con los rasgos de la concepción espontánea que exhiben los alumnos?

Los rasgos de las preconcepciones detectadas en los alumnos pueden coincidir o no con las notas del concepto científico de fuerza. El conocimiento de todos ellos tiene, sin embargo, una gran importancia. Los que concuerdan, porque pueden servir de apoyo en la enseñanza posterior; los que no, porque podrán permitir a los profesores abordar la enseñanza sabiendo en dónde será muy probable encontrar dificultades.

4. ¿Con qué otros conceptos de la Mecánica relacionan los estudiantes su concepción espontánea de fuerza?

Tanto en la realidad como en la estructura mental de un estudiante las fuerzas se hallan íntimamente relacionadas con otros muchos conceptos. Contestando a esta pregunta hemos pretendido conocer las relaciones que los alumnos investigados han establecido.

5. ¿Qué otros recursos emplean los alumnos para la explicación de fuerza?

Puesto que la relación de las fuerzas con otros conceptos es muy amplia, hemos querido reconocer también con qué otros recursos, distintos de los conceptos propios de la Mecánica, cuentan los estudiantes para explicar la naturaleza de una fuerza.

6. En la identificación de fuerzas, ¿cuáles son las dificultades más notorias?

En el análisis de la información hemos encontrado serias deficiencias en la identificación de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos propuestos en el cuestionario. Tales dificultades son

de dos tipos: por un lado, la falta de reconocimiento de fuerzas que de hecho actúan y, por otro, la suposición de que existen fuerzas donde no las hay.

I.5 Antecedentes

En los últimos años, tanto profesores como investigadores han manifestado una preocupación creciente por conocer los antecedentes cognitivos de los alumnos. Por esta preocupación se ha elaborado una serie de investigaciones acerca de los conocimientos, las ideas, las concepciones espontáneas de los estudiantes de materias científicas especialmente. La experiencia docente parece constatar el adagio escolástico *quidquid recipitur ad modum recipientis recipitur* (todo lo que se recibe es recibido al modo del recipiente) y las teorías que sostienen que el alumno construye un nuevo conocimiento a partir de los anteriores, como las de Piaget (1989) y la de Ausubel (1976).

Entre las investigaciones que hemos encontrado figuran las siguientes.

Cuatro profesores sevillanos publicaron un trabajo intitulado *Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico*. Los autores son J. A. Acevedo, J. P. Bolívar, E. J. López-Molina y M. Trujillo (Acevedo, 1989). El trabajo reporta los principales resultados de una investigación llevada a cabo con estudiantes españoles de secundaria de entre 15 y 18 años; se correlacionan las frecuencias de las respuestas erróneas, basadas en los falsos conceptos sobre la dinámica, y los niveles piagetianos de razonamiento concreto y formal. Los resultados muestran que sólo los estudiantes con más alto nivel de razonamiento formal aprenden *significativamente*. Por último, se discuten algunas consideraciones acerca de la metodología utilizada en el salón de clases, con miras a obviar las dificultades de los alumnos para aprender Física.

A. Villani y J. Pacca (Villani, 1990), del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo, publicaron el artículo *Conceptos espontáneos sobre colisiones*. Su investigación muestra los modos de pensar de graduados en Física sobre los fenómenos de colisión y las cantidades físicas que se conservan durante este proceso. Preguntas escritas y entrevistas acerca de problemas de choques permitieron a los autores analizar las respuestas con las expectativas y las explicaciones de los efectos de colisiones simples y múltiples. Los modelos espontáneos que se encontraron muestran los mismos aspectos fundamentales que los de otras investigaciones realizadas con estudiantes de bachillerato, aunque con ciertas diferencias, dependiendo del nivel (graduado o de bachillerato) y de la complejidad de los problemas.

Varda Bar, Barbara Zinn y Rivka Goldmuntz (Bar, 1994) tienen publicado el resultado de una de sus investigaciones. Su título es *Children's Concepts about Weight and Free Fall*. Su investigación pretende ayudar a interpretar las ideas cotidianas que los niños entre 4 y 13 años expresan acerca del peso de los cuerpos. Utilizan una muestra muy amplia. Entre las razones que dan los niños sobre la caída de los cuerpos están las siguientes: el objeto no estaba soportado, el cuerpo era pesado, el cuerpo es jalado por la atracción de la Tierra. Y entre las explicaciones de

por qué la Luna no cae, se encuentran que: está pegada al cielo, la Tierra no influye sobre la Luna, la Luna está en una trayectoria fija.

En el trabajo intitulado *Problemas de terminología en estudios realizados acerca "de lo que el alumno sabe" sobre ciencias* (Jiménez Gómez, 1994), se recoge el resultado de una investigación bibliográfica sobre los términos corrientemente empleados por los investigadores de ciencias de la educación para describir los conocimientos de los alumnos. Estudiaron incluso el significado de esos términos desde la perspectiva de la armazón metodológica utilizada por los propios investigadores. Ofrecen una propuesta para llegar a un consenso tanto en la terminología como en el rango de significados que puede adoptarse. El estudio se realizó desde un punto de vista puramente psicológico.

Entre las expresiones recogidas en el trabajo citado, para referirse a "lo que el alumno sabe", se encuentran, por ejemplo, las siguientes: estructura cognitiva, noción, concepciones de los alumnos, concepto, conceptos erróneos o ideas falsas (*misconceptions*), fallos de comprensión (*misunderstandings*), ideas de niños, razonamiento espontáneo, creencias de los alumnos, errores conceptuales, principios ingenuos, etc.

Según el estudio, por *preconcepción* se entiende la explicación verbal o icónica que da un sujeto a una situación física determinada. Y es manifestación tanto de dificultades cognitivas, como de la intuición e imaginación a que recurren los estudiantes para dar explicaciones alternativas a la de la ciencia sobre un hecho físico.

Otro artículo que guarda cierta relación con nuestro trabajo es *El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje*. Los autores son J. L. Michinel Machado y A. D' Alessandro Martínez (Michinel Machado, 1994). En este trabajo se estudian las ya existentes interpretaciones y concepciones sobre el concepto de energía y otros conceptos con él relacionados empleados en los textos de Física básica, que se utilizan en los primeros cursos de la universidad y en los inmediatos anteriores, en Venezuela. Se valen de técnicas de análisis de contenido y redondean las conclusiones con un análisis histórico. Concluyen que es necesario construir un nuevo lenguaje, simple, pero internamente coherente, y dentro de los paradigmas de la corriente científica. De hecho, comienzan la discusión acerca de este nuevo lenguaje dentro del área de energía y de los conceptos afines.

Para el análisis de los textos del artículo citado arriba, fue necesario establecer la definición paradigmática de energía, en los siguientes términos: Energía es una magnitud física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en todos los procesos de cambio de estado, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado éste se conserva.

E. Jiménez Gómez, L. Solano y N. Marín publicaron un artículo denominado *Estudio de la progresión en la delimitación de las "ideas" del alumno sobre fuerza*, en la revista *Enseñanza de las Ciencias* (Jiménez Gómez, 1997). El propósito del trabajo es analizar si ha habido algún progreso en el resultado de diferentes estudios acerca de las ideas de los alumnos sobre temas de dinámica. Para ese fin, se escogió una amplia muestra de trabajos sobre conocimiento de los alumnos acerca del concepto de fuerza y se estableció una serie de criterios que permitiera comparar la información presentada en esos trabajos.

El artículo citado recoge muchas de las tareas que los investigadores han propuesto a los alumnos sobre quienes se han elaborado sus trabajos; por ejemplo, cuerpos de diferentes pesos que se dejan caer libremente desde la misma altura y se pide predecir cuál llegará primero al piso. *Cuerpos diferentes colgados de resortes, con el fin de identificar las distintas intensidades de las fuerzas.* Problemas de equilibrio de balancines, mediante diferentes conjuntos de cuerpos. La observación de los movimientos de un paracaidista en distintos momentos de su caída. Considerar las fuerzas que actuarían sobre cuerpos teóricos, como una piedra arrojada por un hombre en la Luna, o sobre una persona dentro de un elevador que se acelera, o un cuerpo que se mueve en el vacío, etc.

Entre las conclusiones del trabajo que nos ocupa, se señala que los sujetos globalizan el concepto de *fuerza* con el de *energía* y *cantidad de movimiento*.

Dificultades de aprendizaje de los conceptos de "carga" y de "campo eléctrico" en estudiantes de bachillerato y universidad es el título de otro artículo. Sus autores son C. Furió y J. Guisasola (Furió, 1998). Este artículo trata de analizar cuáles son para los alumnos las principales dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico. Los autores han supuesto cierto paralelismo entre el aprendizaje de estos conceptos y los problemas de su formación a lo largo de la historia. Se lleva a cabo una breve descripción de los principales problemas epistemológicos, basada en un cuestionario que contiene preguntas abiertas y entrevistas personales con estudiantes de bachillerato y universidad. Los resultados obtenidos parecen indicar que los estudiantes tienen problemas para interpretar los fenómenos de electrificación, que no son fáciles de explicar mediante un modelo hidrostático de carga eléctrica. También, que son pocos los estudiantes que utilizan significativamente el concepto de campo eléctrico.

Todas las investigaciones citadas nos han prestado no poca ayuda en la orientación de nuestro trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

II.1 La educación y sus fines

Según Durkheim (1991), educación es la acción ejercida por las generaciones adultas sobre las que todavía no están maduras para la vida social, que tiene por objetivo suscitar y desarrollar en el niño cierto número de estados físicos, intelectuales y morales que requieren en él tanto la sociedad política en su conjunto como el ambiente particular al que está destinado de manera específica.

¿La educación se refiere al cuerpo? ¿Se refiere a la inteligencia? ¿A qué? A toda la persona. No basta que el niño aprenda Aritmética, tiene que saber saludar; no basta que sepa practicar bien un deporte, debe distinguir entre lo bueno y lo malo; es bueno que aprenda a tocar un instrumento musical, pero debe poder expresarse con corrección.

Es un proceso de mejora. De mejoramiento integral. Hacia un cierto estado, hacia un cierto ideal. Pero cuál y quién lo establece. De Ibarrola (1991) manifiesta que una adecuada Antropología, por tanto, nos permitiría señalar mejor en qué debe consistir una buena educación.

Se disputa sobre si la educación corresponde a la familia primariamente y al Estado subsidiariamente, o viceversa, o si por completo a la familia, o totalmente al Estado. Tanto Durkheim como Parsons (1991) sugieren que debe corresponder sobre todo al Estado, en cuanto que es quien representa a la sociedad. No obstante, Parsons admite que la actuación de los profesores debe asemejarse a la de los padres. Una voz más universal, la de Juan Pablo II, sostiene que los padres son los primeros y principales educadores de sus hijos (1994). Sobre este punto tendríamos que referirnos a tres casos perfectamente diferenciados: la educación elemental (preescolar) de los infantes, la básica de los niños en la escuela, la profesional de los adolescentes y adultos. La primera corresponde sin duda a la familia por completo. La segunda primero a la familia y luego al Estado: a la familia, en lo que se refiere a sus preferencias particulares de toda índole, y al Estado en cuanto a unos contenidos mínimos de conocimientos que a él mismo le corresponde certificar. La educación a nivel licenciatura, ya que se refiere a la posibilidad de ejercer públicamente una profesión, ha de estar muy regulada por el Estado.

La educación no es una labor exclusivamente escolar, como lo nota de Ibarrola (1991). Hemos mencionado ya la existencia y la necesidad de una educación en el seno familiar. Quizá en nuestros días sea mucho más definitiva para un niño la influencia del ambiente, como parece sugerir Randall (1991), que la de la escuela y de la familia. Al decir ambiente pensamos en muchos factores: los amigos del barrio o la colonia, la televisión, el radio, los cuentos y revistas, los clubes, los lugares de reunión, etc. Tal influencia, que dura hasta bien entrada la juventud, puede ser buena o mala; pero las más veces es negativa.

Además de la finalidad última de la educación, existen objetivos específicos de la educación escolar y tres dimensiones, biológica, cognitiva y social, tal como menciona Pain (1990).

No obstante, debemos distinguir los tres niveles fundamentales. La primaria debe servir, a nuestro juicio, para que el niño aprenda Aritmética, a leer, a escribir y a convivir con otros niños y adultos, y pueda acceder al bachillerato. En el bachillerato el adolescente recibe su cultura, se pone al día de lo que la humanidad ha realizado y sabe. En la carrera se prepara para el ejercicio de una labor, de una profesión por medio de la cual el propio individuo ha de realizarse y servir a la sociedad.

El aprendizaje

Independientemente de cuál sea el verdadero concepto de educación y cuáles sus fines fundamentales, no cabe duda de que el aprendizaje juega un papel importantísimo en el proceso educativo.

Por desgracia, muchas veces se identifica educación con aprendizaje. Y esta identificación se da, sobre todo, en el terreno escolar. Así, muchos profesores están convencidos de ser buenos “educadores” cuando son simplemente unos buenos “enseñadores”, en el mejor de los casos.

Nos parece superflua la negación de que todo aprendizaje suponga un cambio observable, tal como señala Bigges (1990) tratando del conductismo. Es verdad que en las evaluaciones escolares sólo se pueden considerar aprendizajes observables. Pero, como cualesquiera exámenes, los que se aplican en la carrera forzosamente tienen mucho de aleatorio. La experiencia personal de cada uno muestra que hemos aprendido muchos conceptos y adquirido muchas habilidades que nunca se manifestarán al exterior.

Es importante tener en cuenta que no sólo existe el aprendizaje intelectual, sino que también hay aprendizajes manuales o físicos, sociales, de comportamiento, etc., aunque el primero sea el que tenga más importancia para nosotros, como profesores universitarios.

Para entender qué es el aprendizaje intelectual es necesario contar con una idea cabal de lo que es la inteligencia, y de este entendimiento se obtendrán consecuencias para la enseñanza, como bien indica Delval (1990). Pero aquí topamos con una grave dificultad. No parece que ni la Filosofía, ni la Psicología, ni la Antropología hayan podido dar una respuesta satisfactoria. No obstante, más que considerar que se trate de una capacidad de adaptación al medio, tendríamos que adoptar, para los fines de nuestra investigación, la posición por la que la inteligencia es una facultad para “leer lo interior”, es decir, tomar su raíz etimológica, *intus legere*; la facultad por la que se entiende la esencia de las cosas.

Aun sabiendo que sea la inteligencia, queda otro conocimiento más complicado, que es saber cómo funciona, cómo se aprende. El mismo Delval (1990) nos da una muestra de las debilidades y fortalezas tanto del empirismo como del racionalismo. Y tendríamos que sentir como fuera de lugar las semejanzas entre el aprendizaje humano y el aprendizaje animal, entre un verdadero aprendizaje y un mero adiestramiento (Bigges, 1990).

Al lado de la comprensión del aprendizaje, tiene gran importancia la consideración de algunos procesos intelectuales que claramente aparecen en las labores escolares, tales como la abstracción, la transferencia, el establecimiento de relaciones y la memorización, por tomar algunos de los mencionados por Woolfolk (1990). Nos inclinamos a pensar que cualquier conocimiento que se precie de científico tiene que ser abstracto; es decir, que no se trate de un conocimiento de lo particular, "este edificio", sino apartado del caso concreto: "cualquier edificio". Respecto a la transferencia, es decir, la capacidad de aplicar un principio, un método o una ley ya sabida, a otros casos, nos atreveríamos a afirmar que forma parte de un aprendizaje más sofisticado que últimamente se ha dado en llamar metacognición, y que resulta de la máxima importancia para los estudios de ingeniería.

El establecimiento de relaciones y la memorización, que, por cierto, están íntimamente ligados, son procesos elementales que se presentan incluso en los primeros años de vida.

Hemos hablado arriba de inteligencia. Y hay que hablar también de razonamiento. Son dos conceptos, mejor, dos facultades, que tienden a confundirse. Bigges, que hemos citado antes, y Woolfolk (1990) y Richmond (1990) intentan señalar sus rasgos característicos. Por medio del razonamiento llegamos a hacer evidente lo que no era tal. Consiste en relacionar conceptos ya conocidos entre sí para obtener (mejor: para hacer explícitos) otros. El alumno de carrera ha de aprender a razonar. Y podríamos decir que se opone a la intuición, por cuanto que lo que se intuye se aprende inmediatamente, lo que se razona, mediatamente.

Junto a todos lo problemas teóricos de lo que significa aprender, se presentan las dificultades cognitivas y afectivas del sujeto que aprende. Woolfolk (1990) indica las íntimas relaciones que se dan entre ellas. Y es verdad: en el hombre, como ser compuesto, se observan fuertes influencias del cuerpo sobre el intelecto y viceversa. Una persona enojada o de mal humor, enferma o débil, tendrá unas dificultades para aprender que no tendría en otras condiciones. Los italianos tiene un dicho que reza *si il corpo sta bene, l'anima balla* (si el cuerpo está bien, el alma baila) que es bastante cierto, aunque no se pueda hacer depender toda la fuerza volitiva e intelectual del hombre de sus estados de ánimo.

Toda la nueva teoría del aprendizaje significativo y la Ausubel (1976) en particular, es bastante convincente. Su esencia es clara: debe ser sustancial y no arbitrario. Conviene distinguir entre el aprendizaje de representaciones, el de conceptos y el de proposiciones. Asimismo, hay que tener en cuenta que los casos en que debe procurarse el aprendizaje mediante recepción y aquéllos en que puede lograrse mediante descubrimiento.

Teorías de aprendizaje

Con el fin de descender a terrenos más prácticos, a continuación resumimos algunas de las teorías de aprendizaje que más influencia han tenido recientemente. Las ideas están tomadas de Schoenfeld (1987).

Asociacionismo

Su libro *Psicología de la Aritmética*, L. L. Thorndike lo publicó en 1922. La teoría de aprendizaje de Thorndike estaba basada en la noción de “enlaces” o asociaciones entre grupos de estímulos y sus respuestas (e.g. “dos más dos” es un estímulo y “cuatro” es una respuesta). Conforme a la teoría, los enlaces se fortalecen a través del refuerzo del uso frecuente, se debilitan por medio del castigo o decaen como resultado de su poca utilización. Los asociacionistas proponían algunos principios generales de organización de la instrucción, por ejemplo, que los enlaces que “van juntos” deben enseñarse juntos. Traducido a términos pedagógicos, su aproximación teórica implicaba “enseñar y practicar”, y es un tipo de instrucción que ha tenido un impacto significativo en la enseñanza de las Matemáticas en los Estados Unidos. Desde la publicación del libro de Thorndike, enseñar y practicar persistió como la principal forma de instrucción hasta los años cincuenta (se usaban carteles para los ejercicios de Aritmética). Aún ejerce una fuerte influencia en el diseño de muchos programas contemporáneos de CAI (instrucción asistida por computadora). Los asociacionistas tomaron algunas suposiciones directas acerca de la organización del conocimiento (*i.e.* acerca de “qué hay en la cabeza de una persona” y cómo está organizado) y adoptaron una directa teoría del aprendizaje. Tenían poco interés en la exploración detallada de las estructuras cognitivas.

Gestaltismo

Una posición diferente fue adoptada por los gestaltistas, quienes creían que las estructuras mentales eran mucho más complejas de lo que creían los asociacionistas, y que la complejidad de tales estructuras debería tomarse en cuenta en la enseñanza y en el aprendizaje. La obra *Pensamiento Productivo* de Max Wertheimer de 1959, originalmente publicada en 1945, es una pieza clásica de la exposición gestaltista. En ella, Wertheimer deploró la enseñanza rutinaria y señaló las limitaciones de “enseñar y practicar”. Aunque aceptaba que tal instrucción lograba que los alumnos dominaran ciertos procedimientos, el conocimiento adquirido de modo rutinario parecía ser superficial y carecer de flexibilidad y utilidad en un rango de situaciones.

Wertheimer arguyó su caso con varios ejemplos. Uno particular era que muchos estudiantes que se consideraba que dominaban la Aritmética, eran ciertamente capaces de desarrollar procedimientos aritméticos, pero entendían poco o nada de tales procedimientos. Estudiantes a quienes entrevistó solían abordar problemas como

$$\frac{857 + 857 + 857 + 857 + 857}{5}$$

sumando laboriosamente los cinco números idénticos del numerador y dividiendo el resultado entre cinco, todo lo cual es completamente superfluo si se entiende de qué se trata el problema. (Wertheimer también citaba al hijo de un amigo suyo, que afirmaba que entendía perfectamente bien la Aritmética. El niño podía sumar, restar, multiplicar y dividir como el mejor. El único problema era que el niño nunca sabía qué método usar.)

El ejemplo más famoso de Wertheimer es el problema del paralelogramo, el problema de hallar el área de un paralelogramo dado de base b y altura h . Wertheimer observó una clase en la que se enseñó el proceso típico para encontrar el área, en que moviendo un triángulo de una parte a otra del paralelogramo se forma un rectángulo cuya área es fácil de calcular (*vid.* Fig. 1). Los estudiantes entendieron bien y el profesor estaba orgulloso del rendimiento. Pero cuando Wertheimer pidió a los alumnos determinar el área de paralelogramos colocados en otras posiciones (los lados largos inclinados, los cortos en la base, etc. *vid.* Fig. 2) o encontrar el área de figuras nuevas en las que se podía aplicar el mismo argumento (Fig. 3), los estudiantes se mostraron incapaces. Ellos (y el profesor) se quejaron de que las preguntas de Wertheimer no eran justas; en clase no se había estudiado ese tipo de problemas.

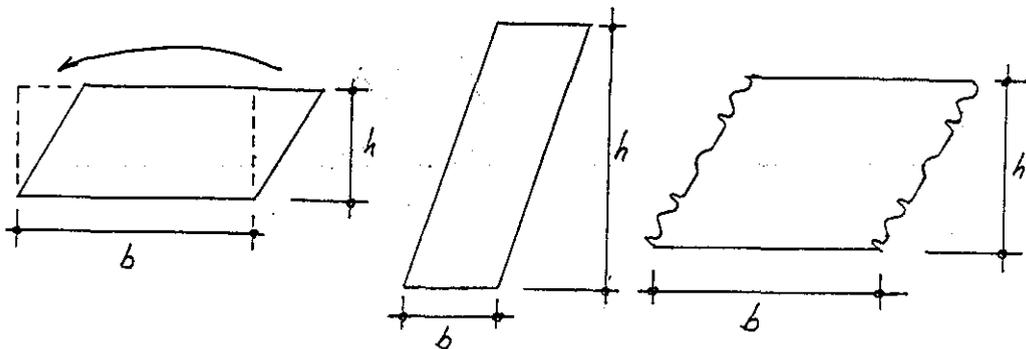


Figura 1

Figura 2

Figura 3

Desde el punto de vista de los gestaltistas, las preguntas eran justas. Las respuestas a ambos problemas deberían ser claras si se entendieran los principios que subyacen y las estructuras por las cuales se pueden deducir los argumentos específicos que los alumnos habían memorizado. Los gestaltistas creían en una gran riqueza de las estructuras mentales y consideraban que el objeto de la instrucción debería consistir en ayudar a los estudiantes a desarrollarlas. La principal dificultad era que los gestaltistas disponían de poca o nada de teoría de instrucción. Aunque su meta era similar a la de muchos investigadores de hoy, sus teorías no sugirieron métodos específicos de enseñanza que pudieran emplearse para conseguirla.

Conductismo

Los conductistas radicales, como B. F. Skinner (1958), tomaron una posición que era compatible con la de los asociacionistas, pero más extrema. En oposición directa a los gestaltistas, Skinner sostenía que cualquier énfasis en “mentalismo” o atención a las “estructuras mentales” estaba fuera de lugar. Argüía que el rendimiento del aprendizaje podía definirse sólo en términos de comportamientos observables (“objetivos conductistas”) y que era mejor con-

siderar el aprendizaje como el resultado de las interacciones del sujeto con el entorno. Así, la teoría conductista del aprendizaje se centraba en arreglar el entorno de modo que se produjeran óptimas interrelaciones. Resnick (1983) describió la aproximación conductista de la siguiente manera:

[Skinner] y sus asociados enseñaron que el “aprendizaje sin error” era posible por medio de delinear la conducta por pequeñas aproximaciones sucesivas. Esto conducía a un interés por la tecnología de la enseñanza, organizando su práctica dentro de secuencias cuidadosamente ordenadas a través de las cuales el individuo adquiriera gradualmente los elementos de un nuevo y complejo rendimiento sin cometer errores en el proceso. Esto se tradujo, para uso escolar, en “instrucción programada”, una forma de instrucción caracterizada por pasos muy pequeños, sólida capacitación y cuidadosa secuencia, de modo que los niños pudieran ser llevados paso a paso hasta la habilidad de rendir los objetivos conductistas específicos.

Tanto en la instrucción programada como en otras aplicaciones, el énfasis en los pequeños pasos y en la secuencia cuidadosa son centrales en la aproximación conductista de la instrucción. Esta aproximación, encabezada por Robert Gagné, se basaba en la hipótesis de que la correcta secuencia de experiencias, repetidas con la frecuencia adecuada, generaría el correcto aprendizaje. Así, lo grueso de la atención debería centrarse en el contenido de la materia. Gagné se enfocó en la construcción cuidadosa del *análisis de la tarea*, que consiste en descomponer el material por aprender en pequeños trozos (como ladrillos de construcción) que se dominan individualmente y luego se combinan en unidades de competencia más grandes. (Habría que notar que parte de la teoría incluye “refuerzo positivo” para conseguir la respuesta correcta. En los laboratorios experimentales de Skinner, a ratas y pichones se les proporcionaba cierta cantidad de alimento cuando actuaban bien. Como una aplicación de la misma teoría al aprendizaje humano, a los niños se les da una estrellita dorada cuando se portan bien.)

La enseñanza

“Yo enseño bien. Si los alumnos no aprenden es por su culpa.” Parecería una justa queja de un profesor responsable. Pero tendríamos que objetarle que no hay enseñanza alguna si no hay quien la aprenda. Es más: nos parece muy acertada la tendencia a dejar de hablar del proceso enseñanza-aprendizaje, y hablar sólo de aprendizaje.

Las épocas en que los profesores eran más alabados por cuanto más elevadas y más ininteligibles eran sus clases, han quedado atrás. Lo que Kamii (1990) propone como papel del profesor en la escuela piagetiana, parece ser una opción aceptable: debe ayudar al alumno a construir su propio conocimiento.

La enseñanza, según Ausubel (1976), debe tener cuatro características: el profesor y los alumnos deben interactuar; los ejemplos deben ser abundantes; ha de ser deductiva y, por último, la enseñanza debe ser secuencial.

El mismo Ausubel (1976) advierte una idea que consideramos central en la enseñanza: para asimilar un nuevo conocimiento es necesario interrelacionar lo que se va a aprender con las ideas pertinentes que existen antes. De aquí la importancia de que el profesor esté atento a las reacciones, errores y fallas de los alumnos, así como a sus intereses, capacidades, etc.

Las condiciones y los factores del aprendizaje deben ser tomadas en cuenta al enseñar. Tales condiciones, según Pain (1990), son las internas, las propias del sujeto, y las externas, como el campo para el estímulo. Los factores fundamentales, según la misma autora, son los orgánicos, los específicos (alumnos zurdos, con dislexia, etc.) y psicógenos.

Respecto a la metodología que puede emplear un profesor, Swenson (1990) presenta algunas consideraciones válidas, a partir de la teoría maduracional-cognitiva de Piaget. Por un lado habría que tener en cuenta la edad de los alumnos, por cuanto la capacidad de aprendizaje está ligado al desarrollo biológico. Por otro, que el aprendizaje no está gobernado por lazos fijos, sino que sólo son fijos los procesos de asimilación, acomodación y equilibración.

Consideraciones adicionales

El significado etimológico de la palabra *educación* no está del todo claro. Parece que el vocablo está formado por la preposición latina *e* (o *ex*), que significa “desde” o “fuera de” y el verbo, también latino, *dúcere*, que quiere decir “conducir” o “llevar”. El contenido de nuestra palabra quizá se pueda aclarar si la comparamos con otras cuyos orígenes sean similares. Tenemos en castellano las palabras *enorme*, *excarcelar* y *excéntrico* con el mismo prefijo: sus significados guardan relación con sacar o estar fuera: fuera de la norma, sacar de la cárcel y estar fuera del centro. Los verbos que proceden de *dúcere* son abundantísimos; por ejemplo *conducir*, *producir*, *reducir*, *inducir*, *deducir*, etc. Etimológicamente, significa llevar hacia cierto estado, habiendo partido de otro.

Tratar de darle una definición es una tarea ardua. No obstante, podemos afirmar que se trata de un proceso intencional, importante en la vida de una persona y de una actividad trascendente en el desarrollo de una sociedad. En las últimas elecciones, sin ir más lejos, los candidatos a la presidencia de la República y a la jefatura del gobierno de la Ciudad de México, presentaron como puntos centrales de sus campañas el mejoramiento de la educación y la asignación de más recursos.

Cuando se piensa en educación se piensa en acciones que se refieren principalmente a los niños y a los jóvenes, pero nadie puede considerar erróneo hablar de educación de adultos. Es más, si no fuera posible que los adultos se educaran, nuestra propia Maestría en Educación Matemática, que se dirige a profesores y que estudian adultos muy crecidos, sería absurda. Y si

nos preguntáramos a qué edad termina la educación de una persona, tendríamos que contestar que a la edad en que termine su propia existencia.

Sin duda el tema de la educación es muy complejo. Pero nos conviene adoptar unas cuantas ideas centrales, claras y prácticas, que nos permitan, como profesores universitarios que somos, desempeñar nuestro papel con eficacia y cada vez mejor.

Generalmente, los alumnos que vienen a la universidad pretenden obtener una certificación para el desempeño de un trabajo, dada la relación entre la educación y la estratificación ocupacional, como menciona Randall (1991). Por su edad y etapa de maduración, ni pueden ser sujetados como niños, ni dejados del todo como adultos.

Quizá pueda proponerse como muy usual la actitud de los estudiantes en el aula de esperar que el profesor les enseñe; de considerar que durante la clase es el profesor quien actúa. También, que si no se ven forzados a entregar un trabajo o una tarea, difícilmente estudiarán por su cuenta. Y que no abrirán un libro ni repasarán sus apuntes si no hay un examen en los próximos días. En resumen, que son irresponsables, flojos y no les interesa el contenido de las asignaturas.

Si, por el otro lado, el profesor considera que dar clase es exponer un tema clara y brillantemente, resolver uno o dos ejemplos típicos y examinar al final, el resultado tendrá que ser, y es, un fracaso. Los alumnos culparán al maestro, el maestro a los alumnos.

¿Por dónde debe romperse el círculo vicioso? ¿Quién es el que lleva el papel protagónico? Los verdaderamente afectados por la educación que reciban son los alumnos; pero los únicos capaces de generar una educación de calidad son los profesores.

Quizá nos convenga comparar la educación con la alimentación. Al fin y al cabo el verbo *educar* también tiene la acepción de alimentar. Un ganadero puede decir que alimenta su ganado con forraje y otros piensos, como el educador puede decir que educa a los estudiantes con conceptos y razones. Ahora bien, el ganado, si puede acceder al forraje sin ayuda del ganadero, se alimentará igualmente. Así, el alumno podría aprender los conceptos y las razones sin necesidad del maestro. Pero tenemos que ir más adelante: ¿es el forraje lo que alimenta a la res? Con paja no se puede alimentar un gato. No reside en la paja la propiedad de alimentar. Puesto que no radica en el forraje la capacidad alimenticia, deducimos que quien se alimenta es el mismo animal utilizando los forrajes y los piensos, que él transforma en sustancias que luego asimila. De modo semejante, ni las ideas, ni los conocimientos, ni los argumentos son por sí mismos capaces de instruir a una persona: es la persona misma la que tiene que educarse. De ahí que el proceso educativo requiera de actividad por parte del educando. ¿Sobran entonces los profesores? No, ni los ganaderos: gracias a la buena alimentación que éstos procuran, el ganado es más productivo; a aquéllos corresponde orientar, motivar, conocer, guiar a los alumnos para facilitarles que puedan autoeducarse mejor.

Por educación debemos entender un proceso de formación del propio individuo, con la ayuda de otras personas, padres, profesores, amigos, escritores, etc. por el cual busca perfeccionarse. Dada la naturaleza de la persona humana, la educación incluye el mejoramiento de las

habilidades corporales, pero debe centrarse sobre todo en la formación de la inteligencia y de la voluntad. La universidad es un lugar privilegiado para adquirir la formación intelectual.

Tiene que ser el propio educando quien decida qué toma de los demás y a qué modelo debe tender. El Estado no puede proponerle ningún modelo, porque no lo tiene. Muchas familias y muchos profesores individuales, en cambio, sí.

Un profesor de una licenciatura, por más que parezca que sólo enseña una disciplina, está contribuyendo, consciente o inconscientemente, a la educación de sus alumnos. Porque al dar una clase no transmite unos conocimientos químicamente puros, sino que los comunica mediante formas que también se transmiten: la manera de presentarlos, el orden, el modo de enlazarlos, cómo ejemplifica, la forma de razonamiento, las palabras que utiliza, su manera de calificar..., su puntualidad, su vocabulario..., sus gestos..., su modo de vestir, su aseo...

Aun sobre los supuestos de irresponsabilidad, pereza, desinterés, falta de preparación, etc. de los alumnos, y precisamente por ellos, el profesor tiene que mover a los estudiantes a ejercer su libertad para que asimilen la educación que reciben en la universidad. Por que si ellos no “quieren” —el querer está en el núcleo de la libertad— no hay nada que hacer.

Quizá uno de los puntos de la formación intelectual que tenga un interés especial es la capacidad de razonar críticamente, a semejanza de lo que propone de Ibarrola (1991) acerca de la Sociología.

Nos parece que en la práctica cotidiana, el profesor tiene que formular constantemente preguntas durante la clase, tanto para conocer los antecedentes cognitivos de los alumnos, como para constatar el correcto entendimiento del material que se va exponiendo. Labor nada fácil, pues el alumno prefiere mantenerse pasivo y callado. La formulación de preguntas requiere de cierta técnica, para que consiga sus objetivos. Al lado de este permanente estado de interrogación deberá tener flexibilidad para adecuar las explicaciones. Además, tendrá que dedicar tiempo a revisar tareas, a aplicar evaluaciones frecuentes, a asesorar personalmente a los alumnos, etc. Con todo esto quizá se pueda lograr lo que Ausubel propone: conocer qué saben los alumnos, para poder enseñarles.

Mejorar la capacidad docente

Hay alumnos, pocos, que aunque tuvieran en la cátedra a un totem, aprenderían muy bien sus materias. Otros, ni con los mejores profesores del mundo son capaces de asimilar los conceptos más fundamentales de las asignaturas, puesto que no tienen la menor voluntad de esforzarse. Y existe un amplio grupo de estudiantes que batalla, que se esfuerza, que estudia en serio; que a veces aprende y a veces fracasa. Entre los alumnos de este último grupo hay muchos que, por diversas causas, no consiguen aprobar alguna de sus materias. Sin duda, una de tales causas es la poca capacidad pedagógica y didáctica de sus profesores.

Consideramos que los maestros deberían tener una preocupación fuertemente centrada en esos alumnos medianos. No en los buenos, que casi no los necesitan, ni en los pésimos, con quienes habría que ejercer una tarea de otra índole.

Un buen profesor no es el que sabe más de su disciplina, sino el que, poseyendo los conocimientos más que bastantes para impartirla, es capaz de transmitirlos. Transmitirlos, no en la estrecha acepción de “explicarlos”, sino en el amplio sentido de saber proponer a los alumnos las actividades que los lleven a aprender. Por ello, además de conocer las diversas asignaturas con que se relaciona la que cada uno imparte, conviene profundizar en sus orígenes y sus fundamentos, en relacionarlas entre sí y en detectar los conceptos que pueden llevar consigo dificultades de aprendizaje. El concepto de fuerza es, a nuestro juicio, uno de éstos.

Para conseguir un buen aprendizaje, es necesario detectar las dificultades con que los alumnos se encuentran a la hora de asistir a una clase, de estudiar por su cuenta, o de aplicar sus conocimientos en la resolución de los problemas con que los profesores solemos evaluarlos. Además, es muy conveniente mantenerse el día tanto en los temas relacionados directamente con las materias que se imparten, como con aquéllos que se refieren a la enseñanza.

Los problemas que se pueden presentar en la enseñanza de materias de contenido matemático son de muchas clases, y los ámbitos más frecuentes en los que se presentan son, por ejemplo, los siguientes.

1. Sobre el contenido mismo de las materias, el reconocer e identificar los rasgos que las caracterizan y dan lugar a distintas conceptualizaciones de ellas y, especialmente, conocer los diferentes criterios que determinan la definición de Matemáticas escolares.

2. Alrededor de los aspectos cognoscitivos y psicológicos en el aprendizaje de las Matemáticas.

3. En torno al aprendizaje y la enseñanza de las materias, en el reconocimiento y la identificación de los diferentes elementos que intervienen en la actividad escolarizada, tales como el objeto del conocimiento, el alumno particular, los otros alumnos, el propio profesor, el entorno, los elementos de comunicación, las actividades de enseñanza y de aprendizaje, los materiales, etc.

4. Sobre los aspectos centrales en el aprendizaje y la enseñanza del álgebra, la geometría, el cálculo y la probabilidad y estadística, que son las ramas fundamentales de las Matemáticas, la identificación y caracterización de los problemas peculiares de cada una de ellas.

5. Acerca de los elementos a considerar para la correcta evaluación de los aprendizajes.

6. Lo relativo a la planeación y organización de los procesos de enseñanza y su puesta en práctica en el salón de clases.

II.2 Revisión bibliográfica

Para la elaboración del marco teórico que permitiera el análisis de las respuestas de los alumnos a las cuestiones de los Casos que se les presentaron, procedimos a revisar una amplia bibliografía que podríamos clasificar en tres grandes apartados. En primer lugar, la relativa a “lo que el alumno sabe”, que se refiere a los procedimientos de detección de las concepciones espontáneas de los alumnos y a la organización de la información conseguida. En segundo lugar, la bibliografía referente al concepto de fuerza; es decir, aquella que nos informa del concepto científico de fuerza. La revisión que realizamos sobre este tipo de material se refiere tanto a la Mecánica clásica como a sus antecedentes históricos. Por último, revisamos el material relativo a la psicología y a la pedagogía, que nos permitió contar con elementos de juicio para tratar de comprender la elaboración intelectual de los estudiantes que participaron en la investigación.

La revisión acerca de los estudios sobre “lo que el alumno sabe” la hemos reseñado en la Introducción de este trabajo, en el apartado relativo a los Antecedentes (I.5).

Estudios sobre el concepto de fuerza

Es muy importante tener en cuenta que los libros que tratan sobre el concepto de fuerza son, necesariamente, libros de Física o de Mecánica, pero que los libros de este tipo de materias casi no dan importancia a las definiciones. Su interés está centrado en las deducciones, las demostraciones, las descripciones, los problemas y, a veces, las aplicaciones.

La obra a la que es necesario referirse cuando se aborda cualquier tema relacionado con la Mecánica clásica es la obra central de Sir Isaac Newton, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*), conocida simplemente por *Principia*. Fue publicada en 1687, y en ella aparecen las famosas leyes de Newton, que son el fundamento de la Mecánica llamada hoy clásica.

Nosotros hemos utilizado la edición de Altaya, S. A., Barcelona, España, de 1993. Pero, para revisar la bondad de la traducción, tuvimos a la vista la edición facsimilar de la obra original de *Londini, iussu Societatis Regiæ ac Typis Iosephi Streater, 1687* (Londres, William Dawson and sons), que se conserva en el archivo reservado de la Biblioteca Nacional.

Los *Principia* constan de cuatro partes: las definiciones y tres libros. Inmediatamente después de las definiciones se enuncian los axiomas o leyes del movimiento. El primer libro trata del movimiento de los cuerpos en general: en él se refiere al movimiento de las partículas. El segundo, estudia el movimiento de los cuerpos en medios resistentes. Y el tercero aborda el problema del mundo, matemáticamente tratado, y comienza dando reglas para filosofar, luego se refiere a los fenómenos, plantea sus proposiciones, habla del movimiento de los nodos de la Luna y termina con un escolio general. Las páginas iniciales del primer libro son, pues, las más

importantes y definitivas, ya que en ellas se establecen los conceptos y las leyes sobre las que se edifica la Mecánica clásica.

Las dos primeras definiciones son de la cantidad de materia y cantidad de movimiento. Las definiciones III a V se refieren a fuerzas y de la VI a la VIII a las cantidades de la fuerza centrípeta. En la III afirma que la fuerza ínsita de la materia es un poder de resistencia de todos los cuerpos, en cuya virtud perseveran cuanto está en ellos por mantenerse en su estado actual, ya sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta.

La fuerza impresa, según la definición IV, es una acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado, bien sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta. La edición facsimilar a la que nos hemos referido dice *Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum eius statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.*

La definición V dice que la fuerza centrípeta es aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos, o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia un centro.

Esta definición V es importante porque en el tercer libro de los *Principia* Newton, interesado grandemente por el movimiento de los planetas y de la Luna, como la mayor parte de los científicos de su época, dirá que la fuerza que retiene a los cuerpos celestes en sus órbitas es una fuerza centrípeta o gravitacional.

El enunciado original de las leyes es el siguiente:

LEX I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viris impressis cogitur statum illum mutare.

(LEY PRIMERA. Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vea forzado a cambiar ese estado por fuerzas impresas.)

LEX II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

(LEY SEGUNDA. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza.)

LEX III. Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

(LEY TERCERA. Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.)

Los textos modernos al referirse a fuerza se refieren a lo que Newton llama fuerza impresa. Los más usuales en nuestro medio son los que mencionamos a continuación.

La *Mecánica Analítica para Ingenieros* de Fred. B. Seely y Newton W. Ensign (Seely, 1960) es de los primeros textos en castellano que se utilizaron en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Su empleo abarcó varios lustros. La Edición de UTEHA, México, de 1960 dice que una fuerza es la acción de un cuerpo sobre otro cuerpo que cambia, o tiende a cambiar, el estado de movimiento del cuerpo sobre el que actúa. La idea de fuerza implica, pues, acciones mutuas de dos cuerpos, ya que un cuerpo no puede ejercer una fuerza sobre otro cuerpo a menos que éste ofrezca resistencia a aquél. Por consiguiente, una fuerza no existe nunca sola. Las fuerzas se presentan siempre por pares.

Los autores explican la segunda ley de Newton diciendo que si sobre un punto material actúa una fuerza, el punto se acelera; la dirección de la aceleración es la misma que la de la fuerza y su magnitud es directamente proporcional a la de la fuerza e inversamente proporcional a la masa del punto. Y la tercera ley, afirmando que entre dos puntos materiales cualesquiera de un cuerpo existen acciones mutuas tales que la acción de uno sobre otro es igual, colinear y opuesta a la de éste sobre aquél.

En la misma obra se señala que la energía de un cuerpo es la capacidad del mismo para realizar trabajo. Y que una fuerza efectúa trabajo en un cuerpo si el cuerpo sobre el que la fuerza actúa se mueve de modo que el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza tiene una componente en la dirección de la fuerza.

En otro lugar se afirma que el impulso de una fuerza constante se define como el producto de la fuerza por el intervalo de tiempo durante el cual actúa la fuerza.

La obra *Engineering Mechanics* de Irving H. Shames (Shames, 1967) tuvo mucha importancia cuando apareció en 1958. No presenta el concepto de fuerza. Afirma que Newton estableció su segunda ley con las siguientes palabras: el cambio del movimiento es proporcional a la fuerza natural impresa y ocurre en la dirección de la línea recta en que la fuerza se imprime. Y la tercera así: a cada acción se opone siempre una reacción igual, o las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y se dirigen hacia partes contrarias.

Engineering Mechanics de J.L. Meriam (Meriam, 1980), presenta la siguiente definición de fuerza: es la acción de un cuerpo sobre otro. Una fuerza tiende a mover a un cuerpo en la dirección de su acción. La acción de una fuerza se caracteriza por su magnitud, la dirección de su acción y por su punto de aplicación. Los enunciados de las leyes de Newton que ofrece son los siguientes. Segunda ley: la aceleración de una partícula es proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre ella y tiene la dirección de la fuerza. Tercera ley: las fuerzas de acción y reacción entre dos cuerpos que interactúan son iguales en magnitud, opuestas en dirección, y colineales.

En la misma obra, el autor afirma que resultante de un sistema de fuerzas es la combinación de fuerzas más simple que puede reemplazar a las fuerzas originales sin alterar el efecto externo del sistema aplicado sobre un cuerpo rígido.

En *Mecánica Teórica para las Escuelas de Peritaje*, E. M. Nikitin (Nikitin, 1980) llama fuerza a la medida de la acción de un cuerpo sobre otro, como resultado de la cual el cuerpo cambia su estado mecánico. En la realidad tropezamos con diferentes fuerzas: fuerza de la

gravedad, fuerza de atracción y repulsión de los cuerpos electrizados e imantados, fuerza de rozamiento, fuerza de presión de un cuerpo sobre otro, etc. La acción de una fuerza sobre un cuerpo se determina por los tres elementos siguientes: punto de aplicación de la fuerza, dirección de la fuerza y valor numérico (módulo) de la fuerza.

En el texto citado, a la segunda ley de Newton se le llama ley fundamental de la Dinámica y se enuncia diciendo que *la aceleración comunicada a un punto material por la fuerza aplicada es proporcional al módulo de esta fuerza y coincide con ella en dirección*. Se da también la siguiente definición: se llama impulso de una fuerza constante en módulo y dirección durante algún lapso el vector que es igual al producto del vector P de la fuerza por el lapso dado.

John V. Huddleston, en su libro *Engineering Mechanics* (Huddleston, 1961), afirma que, aunque experimentamos continuamente fuerzas a través de la actividad muscular como empujar, jalar, levantar y respirar, la fuerza es un concepto sumamente elusivo de definir. Más que intentar un análisis extensivo sobre este concepto, dice que la fuerza es una cantidad cuya magnitud se puede medir en ciertas unidades.

A la acción que un cuerpo ejerce sobre otro se le llama fuerza. Esta acción puede existir debido al contacto que se tenga entre cuerpos, efecto conocido como empujar-estirar; esta acción puede también existir entre cuerpos separados, efecto llamado campo de una fuerza. Es la definición presentada por D. K. Anand y P. F. Cunniff en *Mecánica para Ingenieros* (Anand, 1980). En el apartado correspondiente a *Algunas leyes fundamentales*, se enuncia la II ley de Newton afirmando que la razón de cambio con respecto al tiempo de la cantidad de movimiento lineal de una partícula es proporcional a la fuerza de desequilibrio que actúa sobre ella y ocurre en la misma dirección en que actúa la fuerza.

La definición propuesta por T. C. Huang, en *Mecánica para Ingenieros* (Huang, 1974), es: fuerza es la acción de un cuerpo sobre otro y que afecta el estado de movimiento o de reposo del cuerpo sobre el cual actúa. Puede ejercerse mediante contacto real, entendido como un empuje o jalón, o a través de la distancia, tal y como ocurre con las fuerzas gravitacionales o magnéticas. Una fuerza queda completamente definida por su magnitud, su punto de aplicación y su dirección y sentido. Es decir, la idea de fuerza implica la acción mutua de dos cuerpos; o en otras palabras, las fuerzas siempre se presentan por parejas, de iguales magnitudes y direcciones, colineales y de sentidos contrarios.

El enunciado de la segunda ley de Newton que presenta Huang, dice que la derivada, con respecto al tiempo, de la cantidad de movimiento es igual a la fuerza que la produce. Tal cambio tiene lugar en la dirección en la cual se encuentra actuando la fuerza.

En el libro *Estática, Mecánica para Ingeniería*, de Anthony Bedford y Wallace Fowler (Bedford, 1996), los autores sostienen que los términos masa y fuerza quedan definidos con la segunda ley de Newton. Ésta la enuncian de la siguiente manera: Cuando la suma de las fuerzas que actúan sobre una partícula no es igual a cero, la suma de las fuerzas es igual a la razón de cambio de la cantidad de movimiento de la partícula. Si la masa es constante, la suma de las fuerzas es igual al producto de la masa de la partícula y su aceleración.

Los autores citados transcriben en latín las leyes de Newton; en la segunda cometen dos errores de ortografía (escriben *motis* en vez de *motus* y *secondum* en lugar de *secundum*) y la expresan en términos modernos —según ellos— diciendo que cuando la suma de las fuerzas que actúan sobre una partícula no es igual a cero, la suma de las fuerzas es igual a la razón de cambio de la cantidad de movimiento de la partícula. Si la masa es constante, la suma de las fuerzas es igual al producto de la masa de la partícula y su aceleración.

Archie Higdon, William B. Stiles, Arthur W. Davis, Charles R. Evces y John A. Weese son los autores de *Ingeniería Mecánica* (Higdon, 1982). Según ellos, una fuerza puede definirse como la acción de un cuerpo sobre otro que cambia o tiende a cambiar el movimiento del cuerpo sobre el que actúa. Dos párrafos más abajo afirman que la resultante de un sistema de fuerzas es el sistema más simple que puede reemplazar al original sin cambiar su efecto externo sobre el cuerpo rígido. También afirman que la segunda ley de Newton postula que la aceleración de una partícula sometida a la acción de una fuerza no equilibrada es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza e inversamente proporcional a la masa de la partícula.

En la obra *Mecánica para Ingeniería, Estática*, de David J. McGill y Wilton W. King (McGill, 1981), se explica una fuerza como la acción de un cuerpo sobre otro, visualizada fácilmente como un empuje o una tracción. Una fuerza que actúa sobre un cuerpo tiende a acelerarlo en la dirección de la fuerza. Los autores enuncian la segunda ley de Newton diciendo que si una fuerza actúa sobre una partícula, será acelerada en dirección de la fuerza, con una aceleración cuya magnitud será proporcional a la de la fuerza. Y la tercera, así: las dos fuerzas ejercidas entre sí por dos partículas son iguales en magnitud, opuestas en dirección y colineales a lo largo de la recta que une las partículas.

Ellos mismos señalan que la integral $\int \Sigma F dt$ se conoce con el nombre de *impulso* e indica la acción impartida al cuerpo por las fuerzas externas. Hacen notar que el impulso está intrínsecamente asociado con un intervalo específico de tiempo.

En *Ingeniería Mecánica. Estática*, de William F. Riley y Leroy D. Sturges (Riley, 1995), se afirma que la fuerza se puede definir diciendo que es la acción de un cuerpo sobre otro. El concepto que tenemos acerca de la fuerza proviene principalmente de nuestra experiencia personal, en la cual nosotros somos uno de los cuerpos y percibimos cómo nuestros músculos se contraen cuando intentamos “empujar” a un segundo cuerpo o “tirar” de él. Esto es un ejemplo de fuerza que resulta del contacto directo entre cuerpos. Las fuerzas también se pueden ejercer entre cuerpos que estén separados físicamente. Las fuerzas gravitatorias que la Tierra ejerce sobre la Luna y sobre los satélites artificiales para mantenerlos en órbita terrestre son ejemplos claros. Como un cuerpo no puede ejercer una fuerza sobre otro a menos que éste oponga resistencia, una fuerza nunca existirá sola. Las fuerzas siempre se producen por parejas y las dos fuerzas tendrán el mismo módulo y dirección pero sentidos opuestos.

Los mismos autores enuncian la segunda ley de Newton así: la variación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz aplicada y tiene lugar en la dirección de la recta según la cual se aplica la fuerza. Y la tercera ley de esta manera: la reacción es siempre igual y opuesta a la acción; es decir, las acciones que se ejercen mutuamente dos cuerpos son siempre iguales y directamente opuestas. A continuación sostienen que se suelen expresar hoy en día en la forma

siguiente. La segunda: si sobre un punto material se ejerce una fuerza exterior, dicho punto se acelerará en la dirección y sentido de la fuerza y el módulo de la aceleración será directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del punto. Y la tercera: la reacción es siempre igual y opuesta a la acción; es decir, las acciones que se ejercen dos cuerpos, uno sobre otro son siempre iguales y directamente opuestas.

Andrew Pytel y Jaan Kiusalaas en su libro *Ingeniería Mecánica* (Pytel, 1999), afirman que fuerza es el nombre con que se denomina la interacción mecánica entre cuerpos. Una fuerza puede afectar tanto al movimiento como a la deformación del cuerpo sobre el cual actúa. Las fuerzas pueden surgir del contacto directo entre cuerpos o pueden aplicarse a distancia (como la atracción gravitacional). Su enunciado para la segunda ley de Newton es como sigue: Una partícula sobre la que actúa una fuerza será acelerada en la dirección de la fuerza. La magnitud de la aceleración es proporcional a la magnitud de la fuerza e inversamente proporcional a la masa de la partícula. Y de la tercera ley es: Para toda acción se tiene una reacción igual y opuesta; es decir, las fuerzas de interacción de las dos partículas son iguales en magnitud y opuestas en dirección. En el segundo tomo de su obra, *Dinámica*, definen la energía cinética de una partícula como $T = mv^2/2$.

La *Mecánica Vectorial para Ingenieros* de Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston Jr., es una obra de 1967, que ha venido actualizándose repetidamente y es muy utilizada en las escuelas de ingeniería, particularmente en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. En la edición de Mc Graw-Hill, México, 1996, se sostiene que la fuerza representa la acción de un cuerpo sobre otro. Ésta puede ser ejercida a través de un contacto directo, o a distancia, como en el caso de las fuerzas gravitacionales y las fuerzas magnéticas. Una fuerza está caracterizada por su punto de aplicación, su magnitud y su dirección.

Beer y Johnston afirman que la segunda ley fue formulada por Newton diciendo que si la fuerza resultante que actúa sobre una partícula no es cero, la partícula tendrá una aceleración proporcional a la magnitud de la resultante y en la misma dirección que esta última. Y la tercera, que las fuerzas de acción y reacción entre cuerpos en contacto tienen la misma magnitud, la misma línea de acción y sentidos opuestos.

Según R. C. Hibbeler (1995), la fuerza es considerada, en general, como un “jalón” o “tirón” ejercido por un cuerpo sobre otro. Esta interacción puede ocurrir cuando existe un contacto directo entre los cuerpos, por ejemplo, una persona empujando una pared. Puede también presentarse a lo largo de una distancia determinada cuando los cuerpos se separan físicamente. Como ejemplos de este último caso están incluidas las fuerzas eléctricas, magnéticas y gravitacionales. En cualquier caso, una fuerza se caracteriza por su magnitud, dirección y punto de aplicación. Su texto se intitula *Ingeniería Mecánica*.

En el mismo texto se enuncia la segunda ley de Newton de la siguiente manera: Una partícula sobre la cual actúa una *fuerza desbalanceada* \mathbf{F} experimenta una aceleración \mathbf{a} que posee la misma dirección de la fuerza y una magnitud que es directamente proporcional a la fuerza. Si \mathbf{F} se aplica a una partícula de masa m , esta ley puede expresarse matemáticamente como $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$.

Según Hibbeler, la integral $I = \int \mathbf{F} dt$ se define como impulso lineal. Este término es una cantidad vectorial que mide el efecto de la fuerza durante el tiempo que ésta actúa.

La División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería editó en abril de 1999 la primera versión de *Estática básica para ingenieros*. Los autores son Jaime Martínez M. y Jorge Solar G. En el capítulo de definiciones afirman que “una fuerza es una acción de un cuerpo sobre otro, ya sea por contacto o a distancia; en consecuencia no puede aparecer por sí sola. Así pues, las fuerzas realmente aparecen por parejas.”

Resultan muy ilustrativas las nociones de Juan B de Oyarzábal en *Ensayos sobre Mecánica Clásica* (Oyarzábal, 1984). Distingue entre fuerzas vivas y fuerzas muertas. No pretende ser riguroso, sino entender intuitivamente por *fuerza* a la causa del movimiento de un cuerpo, es decir, a todo lo que le produce una traslación, una rotación o una deformación.

Así, el viento mueve las hojas de los árboles, las manos de un conductor hacen girar el volante de un coche, la jalada de un arquero tensa el arco. Las fuerzas podrán medirse entonces por el efecto dinámico que producen, midiendo las aceleraciones que causan a los cuerpos. Pero también se pueden poner de manifiesto las fuerzas de una manera estática. Al contemplar un levantador de pesas sentimos que está haciendo un esfuerzo físico, que está aplicando una fuerza para mantener las pesas en equilibrio. Y esta fuerza no podremos medirla por ningún efecto dinámico, sino comparándola con las marcas que tienen las pesas que equilibra. Y así obran las balanzas, las palancas, resortes y todos los dispositivos ideados para medir fuerzas por comparación estática con otras conocidas.

Este doble aspecto con que se nos presentan las fuerzas hace que —siguiendo la tradición— las clasifiquemos en *fuerzas vivas* y *fuerzas muertas* según que cumplan uno u otro de los dos propósitos señalados. Serán, pues, *fuerzas vivas* las que produzcan el movimiento de un cuerpo y *fuerzas muertas* las que, contrarrestándose entre sí, mantengan a un cuerpo en equilibrio. Pero no se crea que esta división es excluyente ya que, según los casos, una misma fuerza puede actuar como viva o como muerta. El peso de un cuerpo puede hacer que éste caiga, pero puede también mantenerlo en equilibrio contrarrestando la reacción de la superficie en que se apoya. La tensión de un cable puede jalar un cuerpo o mantenerlo en equilibrio por suspensión.

Una enumeración de las fuerzas que encontramos en la naturaleza —afirma Oyarzábal— sería interesante. Tenemos en primer lugar las fuerzas de contacto: impacto, tensiones, reacciones y fricción estática y cinética. Por otra parte las fuerzas que actúan a distancia: gravedad o peso de los cuerpos, fuerzas eléctricas debidas a las cargas, fuerzas magnéticas debidas al movimiento de las cargas, fuerzas nucleares o interacciones fuertes, e interacciones débiles o de desintegración. Además, las fuerzas conocidas empíricamente en el interior de los cuerpos: de los enlaces químicos, intermoleculares, de cohesión, tensión superficial, capilaridad, viscosidad, resistencia de los fluidos, fuerzas de Van der Waals y de elasticidad. Y finalmente las fuerzas inerciales o efectos de inercia: fuerza centrífuga, peso aparente de los cuerpos, fuerza de Coriolis y fuerza de Euler.

Una obra que nos parece relevante, es la de Arnold B. Arons, *Evolución de los Conceptos de la Física* (Arons, 1970). El autor explica cómo Galileo resolvió con mucho acierto problemas de cinemática sin tener que recurrir al concepto de fuerza, y cómo otros científicos inmediatamente posteriores, movidos por las inquietudes de la *Royal Society of London* (Real Sociedad de Londres), de la que Newton sería presidente años más tarde, lograron establecer reglas del movimiento de los cuerpos para antes y después de las colisiones, pero no para el momento de la colisión. Se refiere concretamente a los trabajos de John Wallis y Christian Huygens.

Arons sostiene que el nombre de fuerza que utiliza Newton en su segunda ley es distinto del concepto que se emplea actualmente. Según él, en esta ley Newton está pensando en lo que ahora llamamos impulso.

También afirma que el descubridor —Arons se refiere, por supuesto, a Newton— principia con un conjunto de pensamientos, conocimientos y logros formados por predecesores y contemporáneos. Y recuerda que una vez Newton dijo que si él había visto más lejos que otros “es por estar parado sobre los hombros de gigantes.”

Esta parte de la revisión bibliográfica nos ha servido para identificar las conceptualizaciones de fuerza exhibidas por los alumnos en la realización de las tareas propuestas en la investigación y, sobre todo, para comparar sus rasgos más recurrentes con las características del concepto científico.

Estudios sobre psicología y pedagogía

Entre las obras de Jean Piaget resulta de especial interés para este trabajo el libro *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*, escrito en colaboración con Rolando García (Piaget, 1989).

Después del prefacio y la introducción, el capítulo I trata de Aristóteles a la Mecánica del *impetus*. Describe la doctrina aristotélica del movimiento, la Mecánica medieval y presenta algunas reflexiones epistemológicas. En el II trata de la psicogénesis y la Física prenewtoniana. Estudia las psicogénesis del *impetus*, de algunos mecanismos psicológicos comunes y de la metodología y el marco epistémico. El capítulo VII aborda el desarrollo de la Mecánica; estudia la Mecánica prenewtoniana y reflexiona de manera epistemológica sobre la evolución de la Mecánica. Y el VIII trata de la psicogénesis de los conocimientos físicos: de las abstracciones y generalizaciones necesarias para la constitución de los hechos físicos elementales; y presenta una verificación de las fases de transición en el caso de la psicogénesis de los pesos.

Los capítulos III, IV, V y VI se refieren a la geometría y al álgebra, pero el IX, sobre ciencia psicogénesis e ideología y el X, conclusiones generales, tienen también mucho interés para nosotros.

Los autores estudian la formación de los conceptos a lo largo de la historia desde el nivel precientífico y su evolución hasta los niveles superiores y la comparan con la formación de esos conceptos en los sujetos concretos, es decir, la psicogénesis de los conocimientos. Entre otras conclusiones de interés, aseveran que el modo como un sujeto asimila un objeto depende de cómo sea él mismo, es decir, de su propia capacidad, por un lado; y de la sociedad que le provee el componente contextual de la significación del objeto. Por tanto, el proceso de formación de conceptos en la historia se asemeja a la de los sujetos particulares. Pero, sobre todo, que las condiciones externas de contexto no modifican los mecanismos que necesita el ser humano para adquirir el conocimiento de los objetos científicos. Estos *mecanismos* sintetizan y dirigen los *procesos* que resultan de la aplicación de los *instrumentos* comunes de adquisición de conocimientos.

Resulta de especial interés la comparación que presentan entre la Mecánica medieval y la Mecánica clásica. Para aquella el movimiento requiere de la presencia permanente de un motor. La segunda, en cambio, considera que el movimiento rectilíneo con rapidez constante es un *estado*, como el del equilibrio, y no necesita de ningún motor. O sea que afirmar o negar que el movimiento sea un proceso depende de la actitud filosófica del científico. Más adelante menciona que para los chinos, hacia el siglo V a. C., el mundo estaba en constante devenir, que no necesitaba, por tanto ser explicado; sólo el cambio del movimiento, y en particular el reposo, requerían un explicación (citan a J. Nedham, *Ciencia y civilización en China*). Los chinos, pues, tenían una concepción dinámica del mundo; los occidentales, estática.

La obra de Schank (1998) describe con bastante precisión la naturaleza del constructivismo. Señala que se trata de una posición epistemológica (sobre cómo se origina el conocimiento), no pedagógica. Que el sujeto cognoscente es quien construye el conocimiento. Cada sujeto tiene que construir sus propios conocimientos y no los puede recibir contruidos. Construir es una tarea solitaria y se da en el interior del sujeto; éste origina su organización psicológica. Sin embargo, otros pueden facilitar la construcción. Es más, la construcción no es posible sin la ayuda de otros, pues es producto de la vida social y del desarrollo de los instrumentos. Hay que distinguir la construcción que realiza el sujeto (el proceso interior) de las condiciones externas. El constructivismo se opone a las posiciones empiristas y a las innatistas. Frente al empirismo, sostiene que el conocimiento no es una copia de la realidad, sino una elaboración del sujeto. Frente al innatismo establece que el conocimiento no es resultado de la emergencia de estructuras preformadas. Las características del sujeto influyen en el conocimiento. Y, por fin, que el constructivismo es una posición interaccionista.

Un libro bastante reciente y completo es el de Frida Díaz-Barriga Arceo y Gerardo Hernández Rojas (Díaz-Barriga, 1999). Su título es *Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo* y lleva por subtítulo *Una Interpretación Constructivista*. Se dirige a profesores y estudiantes. En relación con el alumno, se analizan los procesos de aprendizaje significativo y estratégico, la motivación y la cooperación entres iguales, mientras que se estudian las posibilidades de la labor del docente en el papel de mediador de dichos procesos y proveedor de una ayuda pedagógica regulada. Se ofrecen bases teóricas y principios de aplicación sustentados en la investigación reciente en el campo de la psicología del aprendizaje y la enseñanza. Su elenco de referencias es muy amplio.

Howard Gardner, en *La Nueva Ciencia de la Mente* (Gardner, 1987), expone con amplitud y detalle en qué consisten las ciencias cognitivas. Explica cómo ha nacido en la actualidad la preocupación por describir y tratar de entender los procesos mentales por los que se aprende y se llega al conocimiento. Después de mostrar los fundamentos y los primeros desarrollos de las ciencias cognitivas presenta una perspectiva histórica. Pero su contenido central trata sobre cómo debe entenderse una ciencia cognitiva debidamente integrada, califica los empeños que actualmente se realizan y propone lineamientos para los trabajos futuros.

Una obra muy influyente sin duda es *Psicología Educativa* de David P. Ausubel, Joseph D. Novack y Hellen Hamesian (Trillas, México, 1976). Se ocupa sobre todo del aprendizaje. Trata primordialmente de los tipos de aprendizaje que se llevan a cabo en el salón de clases, en particular el simbólico significativo, tanto en sus aspectos de recepción como de descubrimiento.

Está basado en una teoría cognoscitiva del aprendizaje verbal significativo. Tal aprendizaje puede ser de representaciones, de conceptos o de proposiciones. La obra trata de los factores cognoscitivos en el aprendizaje, de los factores afectivos y sociales, del aprendizaje por descubrimiento, de la evaluación y medición, etc.

“Si tuviera que reducir toda la psicología educacional a un solo principio —sostiene Ausubel—, diría lo siguiente: el factor aislado que influencia el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Averíguese esto, y enséñese de acuerdo a ello.”

Una de las condiciones para el aprendizaje significativo en el sentido ausubeliano es efectuar un análisis del nuevo material de aprendizaje con el propósito de revelar su estructura conceptual (lógica), visualizar los conceptos articulares que amarran toda la estructura, los conceptos subordinados y las interrelaciones que guardan entre sí; y los procedimientos involucrados. A partir de esto, como parte central del trabajo, identificar cuáles son algunas de las demandas cognoscitivas de los estudiantes para el aprendizaje de la materia en cuestión.

Desde la perspectiva de la teoría ausubeliana del aprendizaje puede esgrimirse que una razón ilustrativa de la problemática que sufren los alumnos antes expuesta, es suponer que la estructura que poseen los estudiantes en relación al nuevo aprendizaje está deficientemente establecida, es decir, los conceptos subsumidores no están relacionados entre sí significativamente. Es por ello que el nuevo material no tendrá una base de apoyo en la estructura cognitiva para anclarse, y porque los nuevos conocimientos plantean nuevas demandas cognoscitivas que el aprendiz aún no posee.

Para lograr un aprendizaje significativo, concepto central de la teoría de Ausubel sobre el aprendizaje, se expone un mecanismo que explica cómo una nueva información (material de aprendizaje, conceptos, ideas, proposiciones) es asimilada por la estructura cognitiva del aprendiz. Una nueva información adquiere un sentido para el sujeto cuando aquella se relaciona con un aspecto de la estructura cognitiva, pero no de manera asociativa. La conexión que se produce entre estos dos elementos es lo que da lugar a un aprendizaje significativo.

A manera de ilustración, sea A la nueva información y x_1, x_2, \dots, x_k sus componentes; y sea B una información en la estructura cognitiva, cuyos componentes sean y_1, y_2, \dots, y_m . Si los componentes de A y B pueden ser relacionadas, es decir, que exista una afinidad conceptual, entonces hay potencialidad para que se produzca un enlace semántico entre ambas informaciones. Bajo este enfoque, el significado de la nueva información va a depender de la existencia previa de elementos relevantes en la estructura cognitiva; los conceptos de esta base previa que sirven de anclaje para la nueva información se llaman subsumidores.

La interacción entre la nueva información y la estructura cognitiva es un proceso dinámico. La incorporación de aquella en la estructura del aprendiz transforma la base del anclaje subsumidor, tanto en significados como en el establecimiento de nuevas relaciones entre los conceptos, lo cual produce un cambio en la estructura cognitiva del que aprende.

La estructura cognitiva tiene una organización jerárquica. Los aspectos más generales o inclusivos aparecen en la cúspide; en cambio, los más específicos y que tienen una relación de subordinación con los primeros, están en un plano inferior. Asimismo, dicha estructura es idiosincrática, pues cada individuo tiene sus propias peculiaridades cognitivas, pero ello no implica que no pueda darse la comunicación, ya que hay significados sociales en una cultura dada, los cuales son compartidos por los individuos, y permiten el intercambio y negociación de los mismos.

La nueva información (conocimiento, material de aprendizaje) también posee una organización interna. Sus elementos componentes también están relacionados, sus interrelaciones no son arbitrarias ni aleatorias. Esta característica permite que la información sea potencialmente significativa. En un primer momento, el nuevo conocimiento tiene un "significado lógico", y cuando se relaciona con la estructura cognitiva adquiere un "significado psicológico". Y la meta de todo proceso didáctico es que al final ambos significados difieran muy poco entre sí.

II.2 Enfoque teórico-metodológico

En la línea de las modernas ciencias cognitivas, mediante las cuales se pretende conocer los procesos que se realizan en la mente para adquirir un conocimiento (Cfr. Gardner, 1987), resulta de capital importancia describir, con toda la precisión posible, las distintas etapas por las que atraviesan los conocimientos de una persona. Conociendo dos etapas consecutivas, será posible determinar cómo se realiza el paso de una a otra. En el esfuerzo por enseñar una ciencia deductiva, como la Mecánica clásica de la que nos ocupamos, es imprescindible investigar cuál es el estado originario de conocimientos y representaciones en que se encuentran los alumnos a quienes se desea formar. En el presente trabajo no pretendemos inferir cuál deberá ser el proceso para alcanzar un nuevo estado, sino solamente describir, lo más exactamente posible, la situación primitiva.

Tales ciencias cognitivas se encuentran muy en sintonía con las teorías constructivistas de la enseñanza (Cfr. Ausubel, 1976 y Díaz-Barriga, 1999) y consideramos que la exploración en la que nos hemos empeñado podrá constituir una base sólida para mejorar la tarea docente.

Para lograr conocer ese estado originario de conocimientos de los alumnos acerca de las fuerzas, hemos elegido un camino que ya han recorrido parcialmente algunos investigadores (Acevedo, 1989; Villani, 1990; Bar, 1994 y Jiménez, 1997). Aunque el interés de éstos se centra en alumnos de menor edad que los nuestros, su método de investigación nos ha servido de orientación.

Uno de los instrumentos para la recolección de la información requerida para nuestro trabajo ha consistido en un cuestionario en el que se presentan seis cuerpos en distintas condiciones, y se ha preguntado a los alumnos qué fuerzas actúan sobre ellos: primero a un grupo de estudiantes por escrito y, posteriormente, a un par de alumnos, oralmente. Aunque para responder contaban con cuatro opciones predeterminadas y una libre, en todas las cuestiones se ha solicitado una explicación. Tal explicación es el dato más importante para nosotros, porque nos permite adquirir un idea cabal de lo que el alumno piensa sobre las fuerzas. Con el fin de contar con explicaciones más claras sobre las respuestas escritas de este cuestionario, realizamos también la entrevista oral con dos alumnos: se les pidió que contestaran en voz alta a las cuestiones y grabamos la entrevista, la cual transcribiremos más abajo (Pág. 43).

Las elecciones de una opción de las respuestas del cuestionario y las explicaciones permitieron que los alumnos mostraran un elenco amplio de conceptualizaciones, que nosotros recogimos, en un primer momento, sin partir de unas categorías *a priori* para su análisis. En este sentido, lo que se pretendió fue extraerlas de los datos, no imponérselas a ellos. En lugar de que surgieran de las reportadas en algún trabajo de investigación cercano a este tema, la intención fue que se originaran de los mismos datos recolectados.

A través de la lectura de las explicaciones de los alumnos se examinaron las conceptualizaciones buscando rasgos, aspectos, tendencias y propiedades que nos permitieron ordenarlas. Fue un método de análisis inductivo que se movió de los datos hacia una teoría tentativa (Pirie, 1998).

No se trató, por otra parte, de asumir la postura de un empirismo ingenuo: es claro que no hay datos sin teoría; fue necesario acercarse a las explicaciones con algunos esquemas o categorías iniciales. El punto importante estuvo en tratar de reconocer la información, tal como la presentaban los datos. Este primer paso permitió detectar categorías que nos permitieron conocer las conceptualizaciones de los alumnos y dar así respuesta a la primera pregunta de investigación.

En un segundo momento, el análisis de las explicaciones nos facilitó detectar los datos más recurrentes de los rasgos de las fuerzas considerados por los alumnos.

Más adelante procedimos a comparar las concepciones de los alumnos tanto con los conceptos científicos actuales como con las ideas que se han venido elaborando históricamente a lo largo de los siglos. Tomando como base esas comparaciones, hemos podido clasificar las concepciones de los alumnos.

Entre los conceptos históricos hemos seleccionado el de peso, como una propiedad inherente a los cuerpos; el de fuerza como productora de la velocidad de los cuerpos; y el de impulso, identificado con la fuerza misma, y concebido como una acción duradera. Dichos conceptos han sido superados a partir de Newton y pueden considerarse en contraposición con la Física moderna.

De las características de las fuerzas, de acuerdo a los conceptos científicos de la Mecánica clásica, nos hemos ocupado de las siguientes (*Cfr.* Newton, 1687):

En relación con la primera ley de Newton, o ley de la inercia, un cuerpo se encuentra en equilibrio si las fuerzas que actúan sobre él tienen una resultante nula, es decir, que ese conjunto de fuerzas no produce ningún efecto externo sobre el cuerpo: no cambia su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme.

Conforme a la segunda ley, las fuerzas producen una aceleración en el cuerpo. Dicho de otra manera, consiguen que la velocidad del cuerpo cambie, ya de magnitud, ya de dirección.

Las fuerzas son acciones mutuas de dos cuerpos, tal como establece la tercera ley de Newton, llamada de la acción y la reacción. Aunque esta ley también especifica las características de las fuerzas, nos hemos centrado exclusivamente en el hecho de que una fuerza es causada por un cuerpo sobre otro.

Respecto a la ley de la gravitación universal, descubierta y enunciada matemáticamente también por Newton, hemos puesto atención a dos puntos: que el peso es una fuerza de gravitación ejercida por la Tierra, y que hay fuerzas que se ejercen a distancia, es decir, sin necesidad de contacto entre los cuerpos.

El concepto de resultante de un sistema de fuerzas podemos cimentarlo en otro principio de la Mecánica clásica, propuesto por Simon Stevin, llamado ley del paralelogramo: dos fuerzas

concurrentes pueden reemplazarse por otra fuerza, su resultante, de modo que se conserven los efectos externos que se producen sobre el cuerpo.

Dado que Newton da relevancia a la fuerza centrípeta, que es la causante del movimiento de los planetas, hemos recogido también este concepto.

Al lado del concepto de fuerza centrípeta, hemos reseñado otros nombres comunes con que se designan algunas fuerzas: fuerza centrífuga, tensión, fuerza tangencial, etc.

Dada la estrecha relación que guardan las fuerzas con la energía, aunque se trata de realidades muy diferentes, hemos puesto atención también a las respuestas en que se menciona este concepto.

Una vez realizadas todas esas tareas (establecido el elenco de conceptualizaciones, detectado los rasgos más recurrentes, comparado las concepciones espontáneas con los conceptos científicos y establecido las relaciones de la concepción de fuerza con otros conceptos), procedimos a la determinación de las dificultades aparentes para identificar las fuerzas. Tales dificultades son de dos tipos fundamentales: por un lado, no reconocer la existencia de fuerzas que, de hecho, actúan sobre los cuerpos considerados; y, por otro, suponer que hay fuerzas donde no hay. En general, los estudiantes suponen la existencia de una fuerza cuando no saben cómo explicar alguna de las características del movimiento del cuerpo en estudio.

III. METODOLOGÍA

Como ya señalábamos al referirnos al propósito general de la presente tesis, con el fin de poder determinar con la mayor precisión posible con qué ideas acerca del concepto de fuerza cuentan los alumnos de la Facultad de Ingeniería al ingresar a sus cursos de Mecánica clásica, hemos aplicado un cuestionario escrito y hemos realizado una entrevista oral con dos alumnos. Con las respuestas al cuestionario y las intervenciones de la entrevista hemos realizado las discusiones pertinentes para contestar a las preguntas de investigación que formulamos arriba (Cfr. I.4). El presente capítulo está dedicado a explicar con detalle las características de los alumnos que participaron en el investigación, las propiedades del cuestionario que se aplicó y las circunstancias en que realizamos la entrevista. Asimismo, aquí dejamos constancia del procedimiento que empleamos para organizar la información, tanto escrita como oral, que recogimos para nuestro trabajo.

III.1 Los alumnos

Como se trataba de conocer los conceptos con que acceden los estudiantes a los cursos de Mecánica, elegimos para el trabajo de investigación un grupo de la materia de Estática: el grupo 6 del tercer semestre del curso escolar 2000-2001, al cual aplicamos un cuestionario escrito. Del siguiente semestre elegimos dos alumnos para entrevistarlos.

Dicha materia está colocada, en el plan de estudios de todas las carreras que se imparten en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en el segundo semestre. Es en Estática en donde los alumnos toman contacto formal con la Mecánica clásica. Previamente han recibido algunas nociones, en preparatoria y en la materia de Física experimental del primer semestre de la carrera, mezcladas con otros muchos conceptos.

Los veintisiete alumnos del grupo al que se aplicó el cuestionario eran regulares y cursaban por primera vez la asignatura; sus edades oscilaban entre 18 y 20 años. Dieciséis de ellos procedían de los distintos planteles de la Escuela Nacional Preparatoria; siete, del Colegio de Ciencias y Humanidades; uno, del Colegio de Bachilleres, y tres, de colegios particulares (uno de estos alumnos estudió en el Edo. de Veracruz). Los resultados que obtuvieron en el curso de Estática fueron los siguientes: los veintisiete que participaron en la investigación terminaron el programa; aprobaron veintiún alumnos con un promedio de 7.76; sólo uno de ellos obtuvo diez de calificación.

El cuestionario se aplicó pocos días después de haber comenzado las clases: se trataba de conseguir que la nueva materia no alterara las ideas con que se estaban acercando al nuevo curso, y pudiéramos conocer las concepciones espontáneas de nuestros alumnos.

En la entrevista intervinieron dos alumnos, elegidos aleatoriamente de dos grupos distintos, el primer día de clases de su curso de Estática. Los dos eran también regulares. Ambos tenían dieciocho años y procedían de la Escuela Nacional Preparatoria, aunque de diferentes planteles: del 2 y del 6. Uno aprobó la materia con siete y el otro, con seis.

III.2 Instrumentos de recolección de la información

EL CUESTIONARIO

Tanto en el examen escrito como en la entrevista, se aplicó un cuestionario, que reproducimos a partir de la página siguiente.

En él se presentan seis Casos de cuerpos en movimiento. El objetivo primario del cuestionario es determinar la fuerzas que actúan sobre los cuerpos tratados, en distintas condiciones. Aunque lo más importante para nuestra investigación fueron las explicaciones dadas por los alumnos. Sobre cada Caso se formulan varias cuestiones, en determinadas condiciones de los cuerpos, exigiendo siempre que se señalen las fuerzas que actúen y se explique de qué fuerzas se trata.

Los Casos presentados son cuerpos comunes, moviéndose de manera ordinaria. El primero es una pelota lanzada verticalmente hacia arriba por un niño; se consideran tres posiciones, el ascenso, la llegada al punto más alto y la bajada; y se pide a los alumnos identificar las fuerzas que actúan en cada una de ellas. El Caso 2 es un balón de basketbol arrojado por un jugador hacia la canasta; las posiciones que se analizan son durante la subida, al alcanzar el vértice de la trayectoria y al descender. La Luna moviéndose alrededor de la Tierra es el cuerpo que se propone en el Caso 3, y tiene una sola cuestión. En el Caso 4 se estudian tres posiciones de un péndulo simple. En el 5, un péndulo cónico. Y el Caso 6 trata de una honda, más específicamente, de una piedra atada a un hilo; en este Caso se proponen cuatro diferentes posiciones, que constituyen el objeto de otras tantas cuestiones. Se trata, pues, de cuerpos plenamente conocidos por los alumnos.

Es un cuestionario que podríamos considerar objetivo, en el sentido de que en cada cuestión se proponen cuatro opciones para responder, *a*, *b*, *c* y *d*, con un diagrama del cuerpo y de las fuerzas que podrían actuar sobre él. También se deja una opción *e* para que el alumno dibuje su propio diagrama, si ninguno de los propuestos le satisface.

Las respuestas que eligieron los alumnos a cada una de las cuestiones se muestran en el anexo 2. Ahí se indican también el total de aciertos de cada alumno, las opciones elegidas con más frecuencia, y las respuestas correctas, de acuerdo a los conceptos científicos actuales.

Hemos intentado aprovechar algunas investigaciones anteriores y, con base en ellas, contar con elementos de juicio concretos, aplicables a nuestra realidad docente. El cuestionario ha sido adaptado del artículo *Sobre las concepciones en Dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico*, *Enseñanza de las Ciencias*, 1989, 7 (1), 27-34, de Acevedo, J.A., Bolívar, J.P., López-Molina, E.J. y Trujillo, M. Sin embargo, esa investigación se realizó en España con alumnos más jóvenes que los nuestros, y no tenía la finalidad que nos interesaba. Respecto a las distintas concepciones de los alumnos, se ha recurrido una investigación más reciente de E. Jiménez Gómez *et al.*: *Estudio de la progresión de la delimitación de las "ideas" del alumno sobre fuerza* (Jiménez, 1997). Este artículo está planteado en un marco lakatosiano, sobre todo en el sentido de poder predecir las respuestas de los alumnos.

CUESTIONARIO

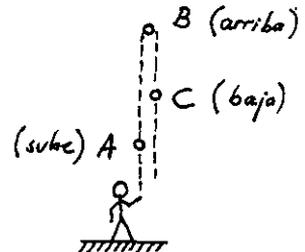
LAS FUERZAS

Alumno: _____
 Materia: _____ Grupo: _____
 Fecha: _____

En esta prueba se trata de señalar qué fuerzas que actúan sobre los cuerpos propuestos y en qué dirección. Los casos que se presentan se refieren a situaciones físicas familiares y se acompañan con una figura sencilla. Sobre cada uno de ellos se formulan una o varias cuestiones; y para cada cuestión se proponen cuatro posibles respuestas. Conteste escribiendo la letra de la respuesta que considere correcta en el cuadro de la derecha. Si ninguna de la opciones le parece correcta, dibuje su respuesta en el inciso e). Es muy importante la explicación que Ud. dé acerca del porqué de sus respuestas; si el espacio previsto le resulta insuficiente, complétela en el reverso de la hoja.

CASO 1

Un niño ha lanzado una pelota verticalmente hacia arriba. Suponiendo completamente despreciable la resistencia del aire, señale las fuerzas que actúan sobre la pelota en cada una de las posiciones A, B y C.



Cuestión 1: la pelota está subiendo después de haber sido lanzada (posición A).

a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 2: la pelota está en el punto más alto de su trayectoria (posición B).



a)



b)



c)



d)



e)

EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 3: la pelota desciende (posición C).



a)



b)



c)



d)

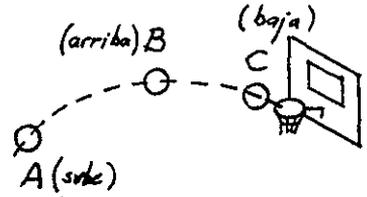


e)

EXPLICACIÓN: _____

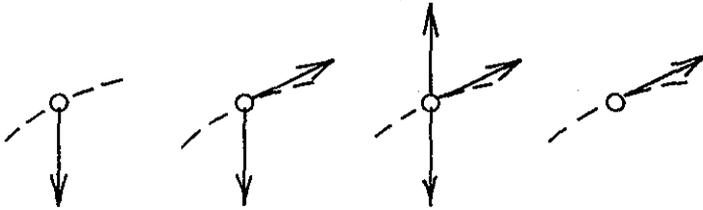
CASO 2

Un jugador ha tirado un balón hacia la canasta. La trayectoria del balón es prácticamente una parábola, dado que puede despreciarse la resistencia del aire. Indique las fuerzas que actúan en cada una de las posiciones marcadas.



Cuestión 1: el balón está subiendo, poco después de haber sido tirado (posición A).

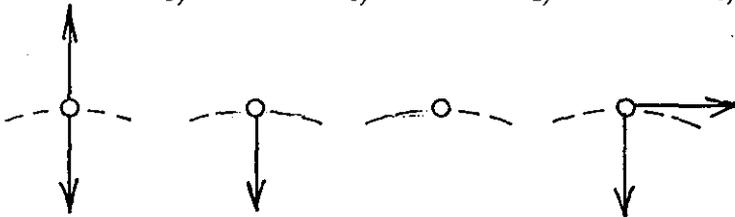
- a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 2: el balón está en el punto más alto de su trayectoria (posición B).

- a) b) c) d) e)



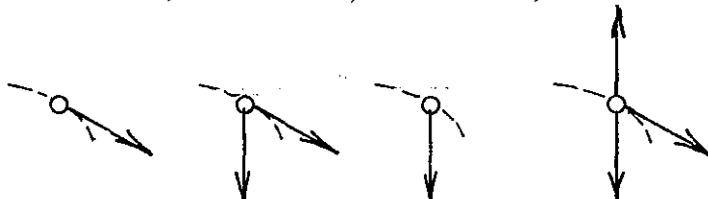
EXPLICACIÓN: _____

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Cuestión 3: el balón desciende, acercándose a la canasta (posición C).



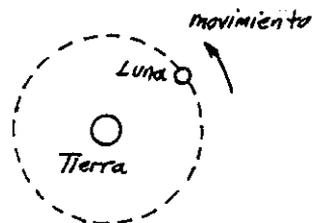
a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN:

CASO 3

Considerando fija a la Tierra, la luna describe una trayectoria circular alrededor de ella. ¿Qué fuerzas actúan sobre la luna?



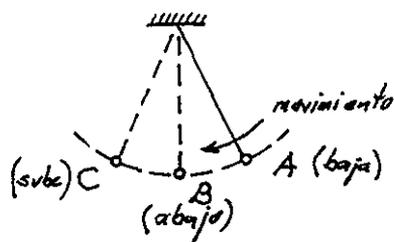
a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN:

CASO 4

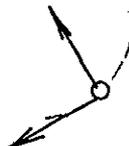
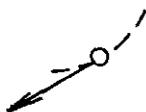
El péndulo simple de la figura está moviéndose de derecha a izquierda en una de sus oscilaciones. ¿Qué fuerzas actúan sobre él en las posiciones A, B y C?



Cuestión 1: el péndulo desciende (posición A).



a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN:

Cuestión 2: se encuentra en el punto más bajo de su trayectoria (posición B).



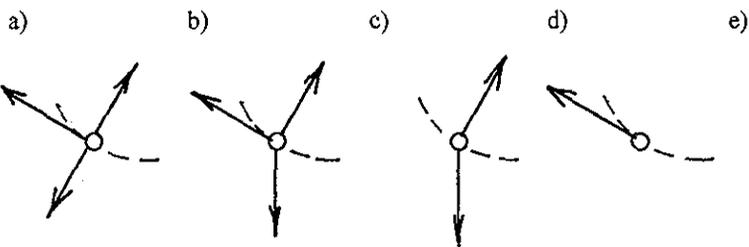
a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN:



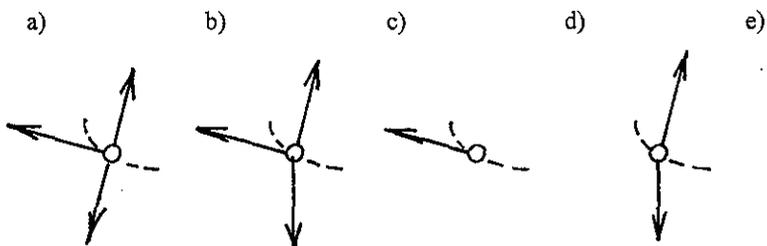
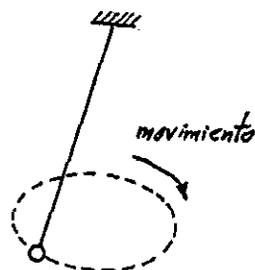
Cuestión 3: el péndulo asciende (posición C).



EXPLICACIÓN: _____

CASO 5

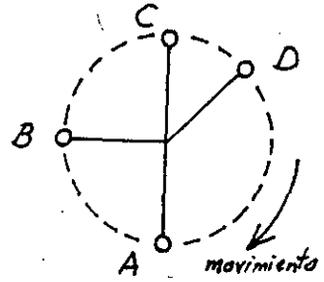
La figura representa un *péndulo cónico*. Se llama así porque el hilo describe un cono al moverse. El péndulo describe una trayectoria circular contenida en un plano horizontal. Señale las fuerzas que actúan sobre el péndulo en la posición mostrada.



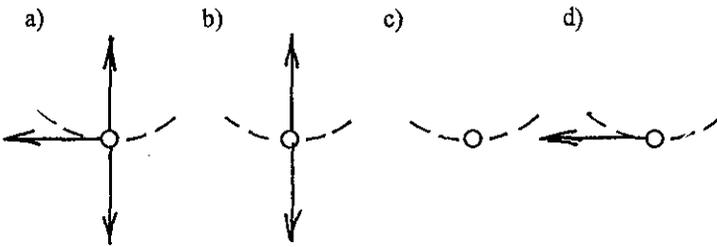
EXPLICACIÓN: _____

CASO 6

Se ata un hilo a una piedra y se hace girar en un plano vertical, de modo que describa una trayectoria prácticamente circular. Como si se tratara de lanzar una honda. Señale la dirección de las fuerzas que actúan sobre la piedra en las cuatro posiciones indicadas.

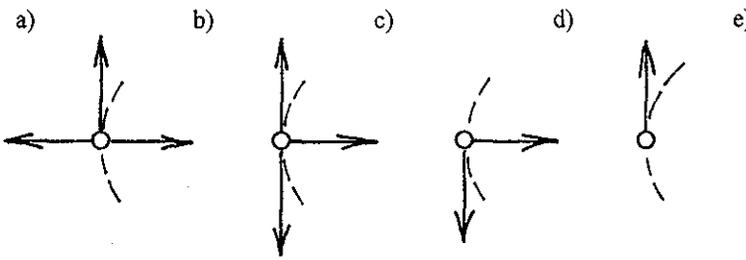


Cuestión 1: la piedra se halla en el punto más bajo de su trayectoria (posición A).



EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 2: está subiendo y el hilo está en posición horizontal (posición B).

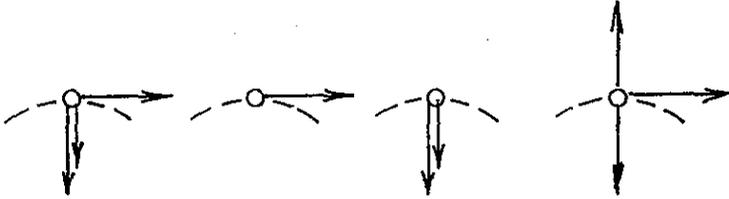


EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 3: la piedra se encuentra en el punto más alto (posición C).



- a) b) c) d) e)

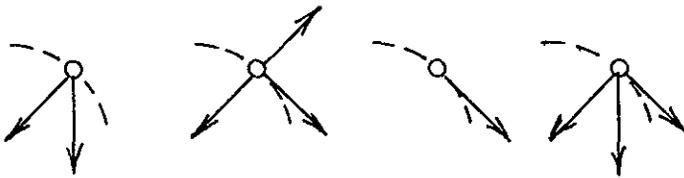


EXPLICACIÓN: _____

Cuestión 4: la piedra ha comenzado a descender (posición D).



- a) b) c) d) e)



EXPLICACIÓN: _____

LA ENTREVISTA

Con el fin de completar los resultados obtenidos mediante la aplicación del Cuestionario y de ampliar algunos elementos de juicio, quisimos realizar una entrevista oral que nos permitiera exigir explicaciones más amplias. Al realizarla, conocíamos de antemano las respuestas que los alumnos, de un semestre anterior, habían dado a las preguntas del Cuestionario.

La entrevista se grabó en una cinta magnetofónica y se transcribió posteriormente. Los alumnos tenían a la vista el Cuestionario y trataban de contestar eligiendo las respuestas propuestas. El entrevistador, el profesor en este caso, pedía las explicaciones de modo que se entendiera lo mejor posible el pensamiento de los alumnos.

Sistemáticamente se formulaba la pregunta para que siempre un mismo alumno contestara primero y luego el otro.

Una diferencia notable entre los resultados de esta entrevista y los correspondientes al Cuestionario radica en que, por haber una interacción, los alumnos se influían mutuamente. Se notaba con claridad que el segundo alumno en contestar sentía el peso de la respuesta de su compañero.

Una de las grandes ventajas de la entrevista, por otra parte, fue haber podido detectar las dudas de los alumnos a la hora de responder. Al leer las respuestas escritas, parece que los estudiantes están muy seguros de lo que piensan, pero es patente que no, cuando deben contestar oralmente.

La transcripción de la entrevista se encuentra a continuación.

ENTREVISTA

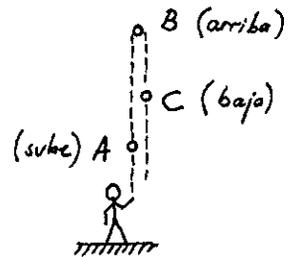
La entrevista que se transcribe a continuación fue grabada el 16 de mayo de 2001. Quienes intervienen en ella son el profesor, un alumno, al que llamaremos Septián, y otro alumno, a quien nos referiremos como Carrascosa. Los dos alumnos comenzaban ese día su curso de *Estática en la Facultad*.

En la transcripción parece que el profesor participa con frecuencia en la discusión. Pero, aunque alguna vez interrumpa para evitar que los participantes se salgan del tema, más bien interviene cuando el alumno que habla no sabe qué más decir, o para tratar de aclarar lo que está diciendo.

PROFESOR.— Se trata de identificar las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se presentan, en distintas situaciones. Primero tú, Septián, me dices tu opinión; luego tú, Carrascosa.

CASO 1

Un niño ha lanzado una pelota verticalmente hacia arriba. Suponiendo completamente despreciable la resistencia del aire, señale las fuerzas que actúan sobre la pelota en cada una de las posiciones A, B y C.



Cuestión 1 La pelota está subiendo después de haber sido lanzada (posición A).

a)



b)



c)



d)



PROFESOR.— ¿Qué fuerzas actúan?

SEPTIÁN.— c.

PROFESOR.— ¿Una fuerza hacia abajo?

SEPTIÉN.— Sí, únicamente la de la gravedad.

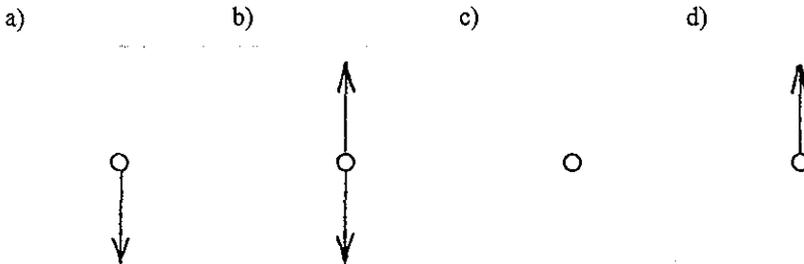
PROFESOR.— Tú, Carrascosa.

CARRASCOSA.— La *b*. Una fuerza de gravedad, que jala el cuerpo, y la otra que hace que se rompa esa fuerza de gravedad.

PROFESOR.— O sea, una fuerza vertical hacia arriba.

CARRASCOSA.— Sí.

Cuestión 2. La pelota está en el punto más alto de su trayectoria (posición B).



PROFESOR.— Vamos a la cuestión 2. ¿Según tú, Septián?

SEPTIÉN.— Se mantiene la misma fuerza. Desde mi punto de vista la fuerza ya fue aplicada en el momento en que la lanzó el niño y a partir de que sale de su mano ya la única fuerza que está actuando es la fuerza de la gravedad que está frenando el movimiento.

PROFESOR.— Es decir, la opción *a*, con una sola fuerza que es la de la gravedad.

SEPTIÉN.— Sí.

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

CARRASCOSA.— Yo también me quedo con la *a*, porque ya después de que se acabó la fuerza de ser aplicada, ahora va a comenzar a caer el cuerpo. Lo atrae la Tierra: la fuerza lo atrae hacia el centro de la Tierra.

PROFESOR.— Todavía no cae, ¿verdad?

CARRASCOSA.— Todavía no cae. Apenas está siendo atraído el cuerpo.

PROFESOR.— ¿Estamos de acuerdo en que es la opción *a*?

CARRASCOSA.— Sí.

Cuestión 3. La pelota desciende (posición C).

a)



b)



c)



d)



PROFESOR.— Vamos a la cuestión 3. ¿Según tú, Septián?

SEPTIÉN.— Igual, *d*.

PROFESOR.— ¿Sería la opción *d*, una sola fuerza vertical hacia abajo?

SEPTIÉN.— Sí.

PROFESOR.— ¿Qué fuerza sería?

SEPTIÉN.— De la gravedad. La que se dirige hacia el centro de la Tierra.

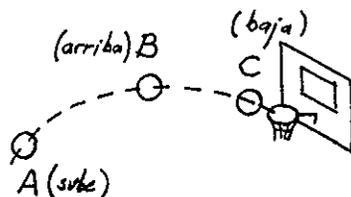
PROFESOR.— ¿Carrascosa?

CARRASCOSA.— La *d*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CASO 2

Un jugador ha tirado un balón hacia la canasta. La trayectoria del balón es prácticamente una parábola, dado que puede despreciarse la resistencia del aire. Indique las fuerzas que actúan en cada una de las posiciones marcadas.

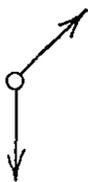


Cuestión 1. El balón está subiendo, poco después de haber sido tirado (posición A).

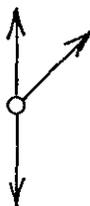
a)



b)



c)



d)



PROFESOR.— ¿Qué fuerzas actúan según tú, Septián?

SEPTIÉN.— Gravedad. La opción *a*.

PROFESOR.— ¿Y tú, Carrascosa?

CARRASCOSA.— Yo digo que la *b*. La fuerza que hace que se mueva el objeto y aparte está siendo atraído hacia abajo. Yo me quedé con la *b*.

PROFESOR.— ¿Qué fuerza es la vertical hacia abajo?

CARRASCOSA.— La de la gravedad.

PROFESOR.— ¿Y la otra?

CARRASCOSA.— La que hace el jugador al lanzar el balón.

PROFESOR.— Y esa fuerza ¿qué peculiaridad tendría? ¿Cuál sería su dirección exacta?

CARRASCOSA.— Tendría que tender hacia la derecha y subiendo porque es cuando él logre hacer el tiro; o sea, la fuerza que él hace sobre el balón es mayor que la de gravedad, porque si no, no podría subir el balón.

FINIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuestión 2. El balón está en el punto más alto de su trayectoria (posición B).

a)



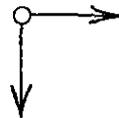
b)



c)



d)



PROFESOR.— ¿Según tú, Septián?

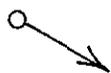
SEPTIÉN.— Es el inciso *b*. Es la de la gravedad: una fuerza vertical hacia abajo.

PROFESOR.— ¿Según tú?

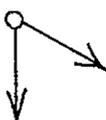
CARRASCOSA.— Yo también el inciso *b*, porque la fuerza que hizo el jugador ya no es lo suficientemente grande para romper la de gravedad y tiende a jalar la Tierra al objeto.

Cuestión 3. El balón desciende, acercándose a la canasta (posición C).

a)



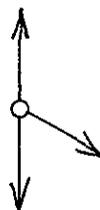
b)



c)



d)



PROFESOR.— ¿Septián?

SEPTIÉN.— Nuevamente la de la gravedad, el inciso *c*. Sólo la fuerza de gravedad.

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

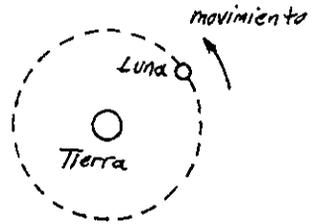
CARRASCOSA.— Yo me quedo con la *b*. O sea que el jugador al aventar el balón hizo que una fuerza tendiera hacia la izquierda y a la vez que lo atrajera la Tierra, para lograr alcanzar la canasta.

PROFESOR.— O sea que actúa la fuerza de gravedad y una fuerza inclinada...

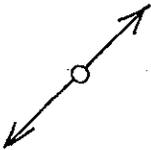
CARRASCOSA.— Que aplicó el jugador. Y que es hacia la derecha y hacia abajo.

CASO 3

Considerando fija a la Tierra, la Luna describe una trayectoria circular alrededor de ella.



a)



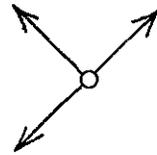
b)



c)



d)



PROFESOR.— Septián. ¿Qué fuerzas actuarían sobre la Luna?

SEPTIÁN.— La *b*: la gravitación de la Tierra y que está funcionando como fuerza centrípeta y tiene valor uniforme.

PROFESOR.— ¿Es la única fuerza?

SEPTIÁN.— Sí.

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

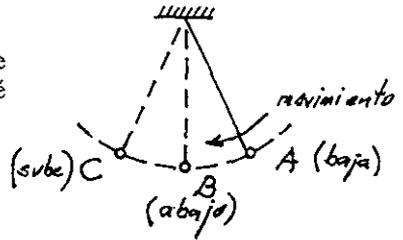
CARRASCOSA.— Yo también me quedo con la *b*, porque la Tierra tiende a atraer las cosas hacia su centro de gravedad y además sabemos que el movimiento que hace la Tierra alrededor del sol...

PROFESOR.— Estamos suponiendo a la Tierra fija.

CARRASCOSA.— De todas maneras la *b*, porque la atrae la Tierra.

CASO 4

El péndulo simple de la figura está moviéndose de derecha a izquierda en una de sus oscilaciones. ¿Qué fuerzas actúan sobre él en las posiciones A, B y C?



Cuestión 1. El péndulo desciende (posición A).

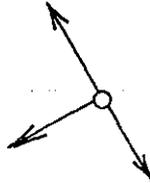
a)



b)



c)



d)



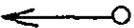
SEPTIÉN.— Inciso α . El péndulo está siendo sujetado por el cordón, que es lo que lo mantiene en su trayectoria circular, y al mismo tiempo está siendo atraído por la gravedad hacia abajo.

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

CARRASCOSA.— También, profesor, porque el cordón obviamente, al estar sujeto —se ve que está tenso de algún lugar— hace una tensión para jalarlo y a la vez la gravedad de la Tierra también jala hacia abajo.

Cuestión 2. Se encuentra en el punto más bajo de su trayectoria (posición B).

a)



b)



c)



d)



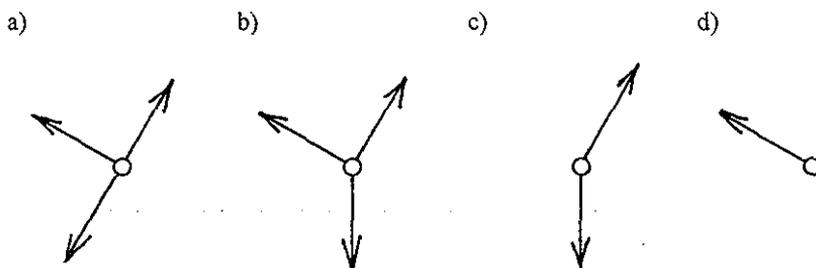
PROFESOR.— ¿Qué fuerzas actúan en esa posición?

SEPTIÉN.— Inciso *b*. Nuevamente el cordón del péndulo y la fuerza gravitatoria.

PROFESOR.— ¿Carrascosa?

CARRASCOSA.— Igual.

Cuestión 3. El péndulo asciende (posición C).



PROFESOR.— ¿Septián?

SEPTIÉN.— El inciso *c*. Otra vez la tensión del péndulo y la fuerza de gravedad.

PROFESOR.— ¿La tensión de la cuerda?

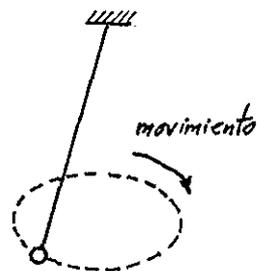
SEPTIÉN.— Sí, sí: la tensión de la cuerda.

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

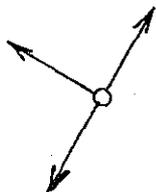
CARRASCOSA.— También: la tensión de la cuerda que actúa sobre el objeto y la gravedad de la Tierra.

CASO 5

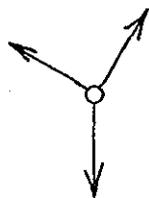
La figura representa un *péndulo cónico*. Se llama así porque el hilo describe un cono al moverse. El péndulo describe una trayectoria circular contenida en un plano horizontal. Señale las fuerzas que actúan sobre el péndulo en la posición mostrada.



a)



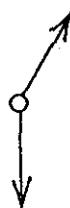
b)



c)



d)



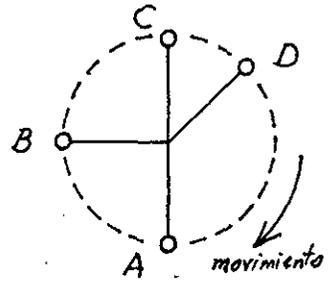
PROFESOR.— ¿Septién?

SEPTIÉN.— Sería inciso *d*: la cuerda del péndulo y la fuerza de gravedad.

CARRASCOSA.— Igual, la *d*, por la tensión de la cuerda y la acción de la Tierra, su peso, la fuerza de gravedad.

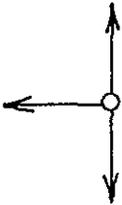
CASO 6

Se ata un hilo a una cuerda y se hace girar en un plano vertical, de modo que describa una trayectoria prácticamente circular. Como si se tratara de lanzar una honda. Señale la dirección de las fuerzas que actúan sobre la piedra en las cuatro posiciones indicadas.



Cuestión 1. La piedra se halla en el punto más bajo de su trayectoria (posición A).

a)



b)



c)



d)



SEPTIÉN.— Sería *b*. La fuerza centrípeta de la cuerda que actúa sobre la bolita, y la centrífuga de la fuerza que se le puso a la bolita que trata de escapar de ese círculo.

CARRASCOSA. — Yo nada más me quedo con la *a*, porque el movimiento indica que va hacia la izquierda, la de la cuerda que está tensa, y aparte la fuerza de gravedad de la Tierra.

PROFESOR.— O sea: la fuerza vertical hacia abajo es de la Tierra.

CARRASCOSA. — Es de la Tierra.

PROFESOR.— ¿La de arriba es la tensión de la cuerda?

CARRASCOSA. — Es la tensión de la cuerda.

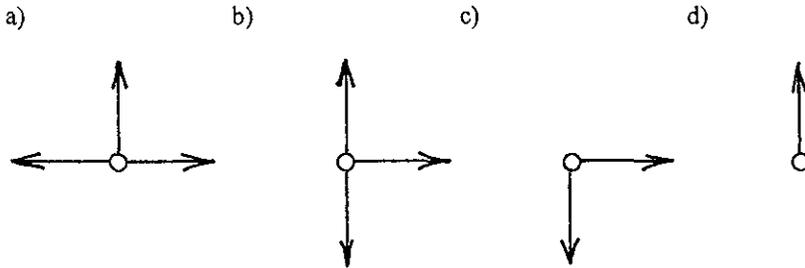
PROFESOR.— Y la que va hacia la izquierda...

CARRASCOSA. — Es el movimiento.

PROFESOR.— ¿Es la fuerza del movimiento?

CARRASCOSA. — Sí.

Cuestión 2. La piedra está subiendo y el hilo está en posición horizontal (posición B).



PROFESOR.— ¿Septién?

SEPTIÉN.— No la había visto. Yo diría que la c. La cuerda que está sujetando...

PROFESOR.— Una fuerza horizontal hacia la derecha, que es la tensión de la cuerda...

SEPTIÉN.— Y... No entiendo la posición del péndulo, pero supongo que está...

PROFESOR.— No es un péndulo. Es una piedra atada a un hilo que está girando en un plano vertical.

CARRASCOSA. — A ver: ¿está el plano así?

PROFESOR.— No, el plano es vertical, así. ¿Según tú, Septién?

SEPTIÉN.— Según yo, ninguna.

PROFESOR.— ¿Ninguna de las opciones? ¿Qué fuerzas actuarían en esta posición?

SEPTIÉN.— Serían la de la cuerda, la gravedad hacia abajo y la fuerza centrífuga de la bolita hacia afuera.

CARRASCOSA. — ¿O sea ésta, la α , con la fuerza hacia abajo de la gravedad?

PROFESOR.— Es decir, habría una fuerza horizontal hacia la derecha, que es la tensión de la cuerda; una fuerza centrífuga, horizontal hacia la izquierda ...

CARRASCOSA. — La del movimiento.

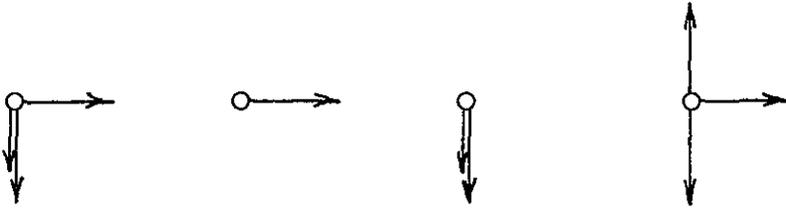
PROFESOR.— ... , y una vertical hacia abajo, que sería el peso. ¿Tú también dirías eso, Carrascosa?

CARRASCOSA. — Sí; porque es que no me había dado cuenta que estaba el plano así y además aquí indica que el movimiento va hacia allá.

SEPTIÉN.— Yo había despreciado la de la gravedad, pero coincide con la centrífuga en este caso.

Cuestión 3. La piedra se encuentra en el punto más alto (posición C).

a) b) c) d)



PROFESOR.— ¿Qué fuerzas actúan?

SEPTIÉN.— Según yo, tampoco está aquí.

PROFESOR.— Si no contesta ninguna de las opciones, ¿qué fuerzas serían?

SEPTIÉN.— Sería una fuerza, bueno, dos fuerzas verticales.

PROFESOR.— ¿Una hacia arriba y otra hacia abajo?

SEPTIÉN.— ¡Ajá! Hacia arriba sería la centrífuga.

PROFESOR.— ¿Y la que se dirige hacia abajo?

SEPTIÉN.— Sería la centrípeta de la cuerda más la de gravedad.

PROFESOR.— O sea, ¿hay dos hacia abajo?

SEPTIÉN.— ¡Ajá! Dos hacia abajo.

CARRASCOSA.— ¿Dos hacia abajo?

PROFESOR.— ¿Según tú, Carrascosa?

CARRASCOSA.— Pero yo lo que tengo duda... entonces ¿cómo se interpreta en cuanto al giro del movimiento? O sea, que podemos interpretar la del giro del movimiento como esta que está en el punto más alto y nada más las otras que se ejercerían sobre ella, por la acción que ejerce la Tierra.

PROFESOR.— Pero entonces, ¿qué? ¿Habría alguna otra fuerza?

CARRASCOSA.— Pues yo no sabría cuál poner.

PROFESOR.— ¿No sería la opción *a*?

CARRASCOSA.— Mmm... No, yo no pondría la *a*. Porque según está en el punto más alto.

PROFESOR.— Entonces ¿la *c*?

CARRASCOSA.— No, porque entonces el movimiento... Porque si la otra va hacia acá una tiene que ser una tensión hacia acá.

PROFESOR.— Entonces, ¿está bien lo que dice tu compañero Septián?

CARRASCOSA.— Sí.

PROFESOR.— ¿No ves otra solución?

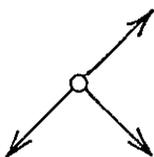
CARRASCOSA.— No.

Cuestión 4. La piedra ha comenzado a descender (posición D).

a)



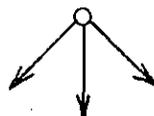
b)



c)



d)



PROFESOR.— ¿Qué fuerzas actuarían, Septián?

SEPTIÉN.— Sería... Otra vez siento que no está... Sería como la *a* más una fuerza centrífuga.

PROFESOR.— O sea que actuarían una fuerza hacia el centro que sería la tensión de la cuerda...

SEPTIÉN.— Sí.

PROFESOR.— Una fuerza opuesta a ella que sería la centrífuga...

SEPTIÉN.— Sí.

PROFESOR.— Y otra fuerza vertical hacia abajo que sería...

SEPTIÉN.— La gravedad.

PROFESOR.— ... la fuerza de la gravedad.

CARRASCOSA. — ¡Ajá!

PROFESOR.— ¿Tú también, Carrascosa?

CARRASCOSA. — Sí.

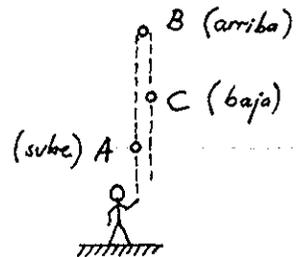
III.3 Organización de la información

Para resolver el cuestionario, se pidió a los alumnos que contestaran eligiendo una de las letras de las opciones propuestas, y que dieran una explicación. A continuación transcribimos las explicaciones de los alumnos. Están ordenadas primero por Casos y cuestiones, y luego según la frecuencia con que fueron elegidas las opciones. Los números corresponden a los alumnos.

Las respuestas del cuestionario están consignadas en el anexo 1, incluidas las explicaciones. En el anexo 2 se muestra una tabla con las opciones que los alumnos eligieron.

CASO 1

Un niño ha lanzado una pelota verticalmente hacia arriba. Suponiendo completamente despreciable la resistencia del aire, señale las fuerzas que actúan sobre la pelota en cada una de las posiciones A, B y C.



CUESTIÓN 1. *La pelota está subiendo después de haber sido lanzada (posición A).*

Respuesta más frecuente: b

2. La fuerza de gravedad actúa en todo el trayecto de la pelota y en la subida actúa la fuerza que imprime el niño.

3. Se debe a la fuerza de atracción que ejerce la Tierra. Sobre cualquier cuerpo está siempre presente. Previamente se observa que la pelota está ascendiendo debido a la fuerza que le imprime una aceleración.

4. La fuerza hacia arriba tiene una mayor magnitud que la fuerza hacia abajo, por eso es que está subiendo la pelota.

5. Porque el niño le aplicó una fuerza vertical y hacia arriba a la pelota, pero también la fuerza de gravedad se está aplicando a la pelota verticalmente y hacia abajo.

7. (\uparrow) es la fuerza con que es lanzada y (\downarrow) es la resistencia que opone la fuerza de gravedad.

8. La fuerza que el niño aplica al lanzar la pelota va en dirección vertical y hacia arriba, y la que ejerce la gravedad es vertical y hacia abajo.

9. La fuerza hacia arriba es de cuando fue lanzada, y la que está hacia abajo es la de la gravedad.



10. Actúa la fuerza aplicada a la pelota al lanzarla y actúa la fuerza de gravedad.
11. La pelota sube porque es mucho mayor la fuerza que se le aplica para que subiera, aunque la fuerza de gravedad siempre está presente.
12. La fuerza que obtiene la pelota por ser lanzada por el niño es mayor que la fuerza de gravedad.
15. Sobre la pelota actúa la fuerza que le aplicó el niño y el peso de la misma.
20. Son la fuerza de gravedad y la fuerza con que se ha lanzado la pelota, las fuerzas que actúan sobre ella.
24. Por la Tercera Ley de Newton, ya que a toda acción corresponde una reacción.
25. La pelota en el punto A lleva el impulso que le da el niño.
26. Actúa una fuerza vertical hacia arriba, porque la pelota fue lanzada, y una hacia abajo por la atracción que el centro de la Tierra ejerce sobre el cuerpo.

Respuesta a

6. La fuerza es vertical hacia arriba.
14. Al llegar a la posición A la fuerza es vertical hacia arriba.
16. La fuerza que se ejerce sobre la pelota es hacia arriba y en dirección vertical.
17. Lleva una fuerza vertical hacia arriba. Energía potencial.
19. Se acaba de aplicar una fuerza vertical hacia arriba y el cuerpo tiene ese efecto externo.



Respuesta d

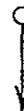
1. La pelota va hacia arriba, por lo tanto la fuerza vertical hacia arriba es mayor que la vertical en dirección opuesta.
13. Porque si pongo b , significa que está en equilibrio.
18. Puesto que al ir hacia arriba, la pelota lleva más fuerza que la fuerza de gravedad.



27. Ya que lleva una fuerza de empuje (niño) y una resistencia (gravedad). Claro que la fuerza de empuje debe ser mayor que la de la gravedad.

Respuesta correcta: c

22. En este ejemplo sólo actúa la gravedad, puesto que después de lanzada no existe aceleración hacia arriba, entonces no hay una fuerza que la produzca y comienza a frenar su movimiento ascendente por la acción de la gravedad.



23. Porque el peso de la pelota ejerce una fuerza vertical y hacia abajo debido a la fuerza de gravedad.

CUESTIÓN 2. *La pelota está en la posición más alta de su trayectoria (posición B).*

Respuesta más frecuente: c

3. Debido a que la fuerza de empuje ya no es más fuerte que la de la atracción de la Tierra, sino que se equilibran unas a otras ya no hay fuerzas actuando.

4. La magnitud de la fuerza hacia arriba es igual a la magnitud de la fuerza hacia abajo, (no hay movimiento), las fuerzas se anulan.

5. Porque al llegar al punto más alto la fuerza aplicada por el niño y la fuerza de gravedad están en equilibrio.

7. Tanto la fuerza con que fue lanzada como la resistencia de la fuerza de gravedad están en equilibrio.

8. En ese punto no hay ninguna fuerza que actúe sobre la pelota.

11. En ese momento la pelota está suspendida porque es cuando se le terminó la fuerza que jala hacia arriba y comienza a actuar la fuerza de gravedad (están en equilibrio).

15. Sobre la pelota siguen actuando las mismas fuerzas, pero en ese punto ambas son de la misma magnitud y dirección, pero sentido contrario, y se anulan; o sea, su resultante es cero.

17. Hace una pausa, energía cinética.

19. Aquí ya la fuerza aplicada y la fuerza de gravitación son iguales y el cuerpo está en reposo (aunque no se note).

20. La pelota se encuentra en un punto en que su energía cinética pasa a energía potencial para convertirse de nuevo en cinética. No actúa ninguna fuerza sobre ella.
25. En el punto B la pelota no tiene energía cinética, su energía es potencial, por eso está en reposo.
26. Son las dos fuerzas del inciso anterior, pero en esta ocasión en equilibrio, porque la pelota llegó a la altura máxima.

Respuesta b

1. Llega a un punto en el que la fuerza ascendente es igual a la descendente. Y después sólo actúa la fuerza descendente.
6. En ese instante actúan dos fuerzas: la vertical hacia arriba y la fuerza del cuerpo, por lo que la resultante es cero.
12. En este punto las fuerzas que actúan son la fuerza de gravedad y la fuerza que aplicó el niño para lanzarla. Ambas fuerzas son de magnitudes iguales, pero de sentido contrario.
13. La pelota está en equilibrio en ese momento.
14. Al llegar al punto B la fuerza disminuye a cero, para cambiar de dirección.
16. Cuando la pelota está en el punto más alto, llega un momento en que su aceleración es igual a la de la gravedad: permanece en equilibrio por unos instantes.
18. Porque es el punto donde la fuerza de gravedad y la fuerza con que ha sido lanzada la pelota se equilibran.
27. Está en completo equilibrio.



Respuesta correcta: a

2. En ese momento la pelota está en reposo, pero la fuerza de gravedad sigue actuando.
9. En el punto más alto la velocidad es igual a cero, pero se sigue ejerciendo la fuerza de gravedad.
10. Ya que la pelota, cuando está en el punto más alto, es porque se equilibra la fuerza y después sólo actúa la fuerza de gravedad.

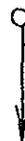


22. La aceleración hacia arriba no existía desde A, de tal forma que se continúa con la condición de aceleración hacia abajo producida por g .
23. Exactamente igual a la explicación anterior (*el peso de la pelota ejerce una fuerza vertical y hacia abajo debido a la fuerza de gravedad*).
24. Ya que es esa posición es su altura máxima y sólo actúa la fuerza de gravedad.

CUESTIÓN 3. *La pelota desciende (posición C).*

Respuesta más frecuente y correcta: d

2. Las fuerzas que actúan son la de la gravedad y la resistencia del aire, pero esta última es despreciable.
3. Es el peso del cuerpo que hace que descienda la pelota.
4. La fuerza hacia arriba se ha terminado, sólo quedando la fuerza hacia abajo (descendiendo la pelota).
5. Porque la fuerza aplicada por el niño ya no existe y la pelota sólo es afectada por la gravedad.
6. Al momento de descender, el peso del cuerpo es la fuerza que actúa.
8. La gravedad está ejerciendo una fuerza que se dirige hacia abajo.
9. Actúa la fuerza de gravedad.
10. Sólo existe una fuerza que con la masa de la pelota forma una fuerza descendiente.
11. Porque la pelota es jalada por la fuerza de la gravedad.
12. Sólo actúa la fuerza de gravedad en este punto.
13. Es la fuerza debida a su peso.
14. Al llegar a C, la fuerza cambia de dirección.
15. Sólo actúa el peso de la pelota.
16. La pelota cae atraída por la fuerza de gravedad hacia el centro de la tierra.
17. La fuerza de atracción de la tierra la jala hacia abajo, logrando que cambie de dirección. Se vuelve otra vez a convertir en energía potencial.



18. Puesto que solamente actúa sobre ella la fuerza de gravedad.
19. Está soportando la fuerza de gravitación y en esa dirección.
20. La pelota es atraída por la fuerza de gravedad que la hace regresar al punto de partida.
22. El mismo caso de las anteriores. Sólo existe la aceleración de g .
23. Igual a la explicación 1 (*porque el peso de la pelota ejerce una fuerza vertical y hacia abajo debido a la fuerza de gravedad*).
26. Es la fuerza producida por la atracción entre el centro de la tierra y el cuerpo.
27. Sólo lleva la fuerza de gravedad, ya que en el punto máximo B se puso en equilibrio y de ahí comienza una caída libre.

Respuesta a

7. Una fuerza es el peso del cuerpo y la otra es la fuerza de gravedad con que la Tierra atrae a la pelota.

24. Como la pelota perdió la fuerza de subida, la recupera esta fuerza de bajada y sigue actuando la fuerza de gravedad.

Respuesta c

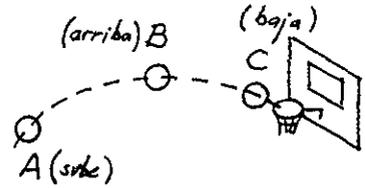
1. La fuerza vertical hacia abajo es mayor que la fuerza vertical de Arquímedes.

25. La pelota empieza a descender y su energía se transforma en cinética.



CASO 2

Un jugador ha tirado un balón hacia la canasta. La trayectoria del balón es prácticamente una parábola, dado que puede despreciarse la resistencia del aire. Indique las fuerzas que actúan en cada una de las posiciones marcadas.



CUESTIÓN 1. El balón está subiendo, poco después de haber sido tirado (posición A).

Respuesta más frecuente: b

2. Las fuerzas que actúan son la gravedad y la fuerza que está en dirección del lanzamiento.

3. Debido a la fuerza que le imprime o le obliga a moverse y porque la atracción que ejerce la Tierra sobre los cuerpos está siempre presente.

4. La fuerza hacia abajo es la gravedad y la fuerza inclinada es producida por el jugador (la fuerza hace que el balón suba y se dirija hacia adelante).

5. Porque la pelota es afectada por la fuerza aplicada por el jugador y por la fuerza de su peso.

6. La fuerza aplicada en el balón es la mostrada por el inciso b, debido a que el jugador aplica una fuerza en ese sentido, pero el peso del cuerpo lo obliga a seguir esa trayectoria.

7. (↗) fuerza con que fue lanzada y (↓) la fuerza de gravedad que actúa sobre el balón.

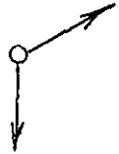
10. Actúa la fuerza de gravedad y la fuerza con la que es lanzada, además existe la dirección con que es lanzada.

11. La pelota va con un movimiento inclinado hacia arriba, pero la fuerza de gravedad la jala hacia abajo.

12. La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad. La primera es tangente a la trayectoria.

14. Se ejerce una fuerza para que el balón sea impulsado hacia la canasta para darle una trayectoria, pero además se manifiesta la fuerza que ejerce el peso del balón.

15. Sobre el balón actúa una fuerza que le aplicó el jugador y el peso de éste.



18. Porque al lanzarla, lleva una dirección inclinada y la fuerza de gravedad actúa sobre el peso del cuerpo. Y también la tangencial.

20. El balón es atraído por la fuerza de gravedad y actúa sobre él la fuerza con que se ha lanzado.

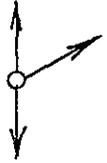
24. Como el balón ha sido arrojado, actúa la fuerza de gravedad, la fuerza del empuje.

25. La fuerza que lleva el balón y la fuerza de gravedad.

26. La fuerza que imprimió el jugador y la fuerza de gravedad actúan sobre el balón.

Respuesta c

1. El balón sigue la trayectoria de la parábola y actúa una fuerza que es la que lo hace subir y una que lo jala hacia abajo.



9. Existe la componente normal, binormal y tangencial de la fuerza.

13. Actúan: una fuerza ascendente, una en dirección de la canasta y otra debida al peso del balón.

27. Ya que debía haber sido lanzada hacia arriba y adelante, y actúa la fuerza de gravedad.

Respuesta d

8. La fuerza que se ejerce sobre el balón va dirigida hacia la canasta. El alcance del punto máximo de la parábola y la caída del balón son consecuencia de la primera fuerza aplicada.



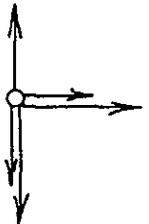
16. El sentido de la fuerza debe ser en dirección de la canasta.

17. Es empujada por una fuerza inicial en dirección hacia arriba.

19. La fuerza es aplicada en esa dirección y es más grande que la gravitatoria.

Respuesta e

21. (Dibuja dos fuerzas horizontales hacia la derecha, dos verticales hacia arriba y otra vertical dirigida hacia abajo.) La fuerza hacia abajo es la fuerza de gravedad y la otras dos fuerzas son las componentes que hacen que la pelota se mueva con una trayectoria de parábola.



Respuesta correcta: a

22. Después del lanzamiento, el balón toma un estado de movimiento uniforme con respecto a su trayectoria horizontal, así que sólo se ejerce la acción gravitatoria que lo hace bajar.

23. El balón está sometido a la acción de la gravedad, por lo que es vertical y hacia abajo.

25. La fuerza que lleva el balón y la fuerza de gravedad.



CUESTIÓN 2. *El balón está en el punto más alto de su trayectoria (posición B).*

Respuesta más frecuente: d

2. En B la fuerza vertical hacia arriba se anula, por lo que las fuerzas que actúan son las señaladas.

4. El balón comienza a bajar, pero sigue hacia delante y la fuerza hacia arriba es nula.

5. Porque la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo.

6. El peso del cuerpo obliga al balón a caer, describiendo una parábola en su trayectoria.

8. La fuerza ejercida inicialmente hace que al llegar al punto máximo, el balón continúe la trayectoria inicial que va en dirección de la canasta.

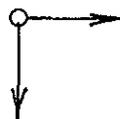
9. Existe la aceleración de la gravedad y la componente de la fuerza con que fue lanzada.

12. La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la pelota.

13. Porque ya no está en ascenso el balón, pero todavía actúa una fuerza hacia la canasta y otra debida a su peso.

14. La trayectoria dada proporciona una fuerza que dirige al cuerpo, pero ésta al llegar al punto más alto de la parábola cambia ligeramente su ángulo de inclinación para completar la trayectoria del cuerpo.

15. Sobre el balón siguen actuando las mismas fuerzas, pero la componente vertical hacia arriba de la fuerza que aplicó el jugador se ha igualado con el peso del cuerpo.



Respuesta c

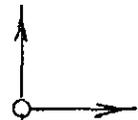
10. Existe un equilibrio de fuerzas, tanto de la gravedad como la fuerza con la que se lanzó.
17. Vuelve a entrar la energía cinética.
18. Porque la pelota ha llegado a un punto en que las fuerzas están equilibradas.
19. El balón se encuentra en equilibrio con las dos fuerzas que actúan sobre él.
20. El balón permanece estático por unos momentos, hasta que la gravedad actúe de nuevo sobre él.
25. No existen fuerzas, está en reposo.
26. El balón está en su altura máxima, de ahí comienza a caer. En ese momento hay equilibrio entre la componente vertical de la fuerza de lanzamiento y la de la gravedad.

Respuesta e

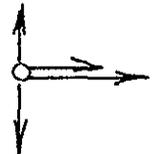
3. (El alumno dibuja una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha.) Es la fuerza que hará que la pelota continúe su movimiento.



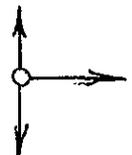
11. (Dibuja dos fuerzas verticales, una hacia arriba y otra hacia abajo, y un fuerza horizontal dirigida hacia la derecha.) Las fuerzas de arriba y abajo están en equilibrio, pero sigue su trayectoria.



21. (Están dibujadas cuatro fuerzas: dos verticales, una dirigida hacia arriba y la otra hacia abajo, y dos horizontales, ambas hacia la derecha.) La magnitud de la componente horizontal es mayor, por lo que todavía se desplaza en esta dirección, sin embargo la componente vertical es menor, por lo que ya terminó su impulso y se igualó a la del peso.



27. (Aparecen tres fuerzas, una hacia arriba, otra hacia la derecha y la última hacia abajo.) Al llegar a su altura máxima se contrarrestan la de la gravedad y la de arriba, sólo queda la de adelante.



Respuesta correcta: b

7. La fuerza con que fue lanzada ya no existe; sólo existe la fuerza de gravedad.
22. Sólo se ejerce la acción gravitatoria que lo hace bajar.
23. El balón está sometido a la aceleración de la gravedad.
24. Ya que sólo actúa la fuerza de la gravedad.

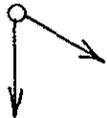
Respuesta a

1. Llega a un equilibrio de fuerzas.
16. Antes de comenzar a descender llega a estar en equilibrio, que sería el punto más alto de su trayectoria.

CUESTIÓN 3. *El balón descende, acercándose a la canasta (posición C).*

Respuesta más frecuente: b

3. Que son las fuerzas que hacen que descienda hacia la tierra.
4. El balón baja más de lo que avanza, pero se sigue moviendo hacia adelante y descendiendo.
5. Porque la fuerza de gravedad es constante, mientras que la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo cada vez más.
6. El peso del cuerpo y la dirección de la fuerza indican que la pelota sigue la trayectoria deseada.
7. (↘) La fuerza del peso del balón. (↓) La fuerza de gravedad que actúa sobre el balón.
9. Existe la fuerza de gravedad y la componente con que fue lanzada.
10. Actúa la fuerza de gravedad y sigue con cierta dirección.
11. La pelota sigue su trayectoria inclinada hacia abajo.
12. La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la pelota.
13. Porque todavía hay una fuerza hacia la canasta, pero en descenso, y otra debida a su peso.



15. Sólo actúa sobre el balón el peso y la componente horizontal de la fuerza que se le aplicó al balón por medio del jugador.

18. Porque actúa la fuerza tangencial y la de gravedad.

20. La fuerza con que el balón se lanzó sigue actuando sobre él, pero también es atraído por la fuerza de gravedad.

24. Ya que recobra su fuerza y actúa la gravedad.

25. La fuerza de gravedad y la fuerza que el muchacho le aplicó al balón.

27. La de altura se hizo nula y sólo quedan la de adelante y la de la gravedad.

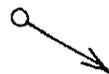
Respuesta a

16. El balón toma esta dirección porque su movimiento describe una parábola.

17. Vuelve a entrar la energía potencial y la fuerza de gravedad para cambiar el sentido que llevaba el balón.

19. El balón sufre la fuerza aplicada de gravitación con una cierta dirección provocada por la otra fuerza.

26. En este momento la fuerza de gravedad actúa con la componente horizontal de la del lanzamiento para producir esta resultante.



Respuesta correcta: c

8. El balón, debido a la fuerza de gravedad, tiene una tendencia a caer, sin embargo, como tiene una trayectoria previamente definida, continúa con ella.

14. Al llegar al punto C la trayectoria queda completa, disminuyéndose las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo.

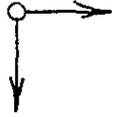
22. Sólo se ejerce la acción gravitatoria que lo hace bajar.

23. El balón está sometido a la acción de la gravedad.



Respuesta e

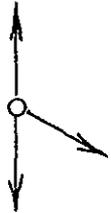
2. (El alumno dibuja una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha y otra vertical, hacia abajo.) La fuerza de gravedad actúa en todo el recorrido y la fuerza horizontal es la que hace que no caiga verticalmente.



21. (El dibujo es idéntico al del alumno anterior.) Actúan sobre el balón su peso y la componente horizontal.

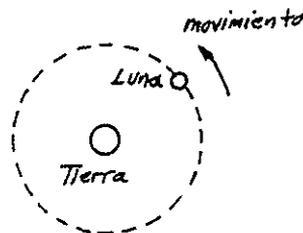
Respuesta d

1. Hay una fuerza tangencial a su trayectoria, su peso y la fuerza de Arquímedes, que es la menor de todas.



CASO 3

Considerando fija a la Tierra, la Luna describe una trayectoria circular alrededor de ella. ¿Qué fuerzas actúan sobre la Luna?



CUESTIÓN ÚNICA

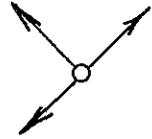
Respuesta más frecuente: c

1. Sufre la atracción de la Tierra y también la fuerza tangencial.
2. Actúa la fuerza de atracción de la Tierra sobre la Luna y la fuerza hacia afuera de la trayectoria. Estas fuerzas hacen que la Luna no se aleje ni se acerque a la Tierra.
5. Porque habría una fuerza que atraería a la Luna y habría otra que sería a causa de la velocidad en la que se está moviendo.
6. La resultante de estas dos fuerzas indica que la Luna recorre una trayectoria alrededor de la Tierra.
10. Actúa la fuerza gravitacional con la que es atraída y además la fuerza con la que se desplaza la Luna.
12. La fuerza centrífuga y la de la gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la Luna.
18. Por la fuerza de la gravedad de la Tierra sobre la Luna y la fuerza tangencial de la Luna sobre su trayectoria circular.
19. Porque si sólo se aplica una fuerza, en caso de la de la Tierra la atraería por completo hasta unirse, y con la otra sola la Luna seguiría un movimiento rectilíneo uniforme.
20. Es la fuerza de gravedad que la atrae hacia la tierra y su velocidad que impide que la Luna se acerque demasiado a la Tierra.
23. (X) Porque la Luna sigue su trayectoria. (L) Porque la Tierra atrae a la Luna.
25. Actúa la fuerza que hace que la Tierra gire.
26. Las fuerzas se deben a la atracción entre ambos cuerpos y al movimiento de la Luna.



Respuesta d

3. La fuerza que la hace girar es una de ellas y la atracción sufre por la Tierra, y por la tercera Ley de Newton la Luna repulsa a la Tierra con la misma magnitud, pero de sentido contrario que la fuerza que la atrae.



4. Al darle vueltas a una cubeta con agua esas son las fuerzas que se aplican, que es lo mismo que sucede con la Luna.

9. Existe la atracción de la Tierra y la componentes del movimiento circular.

13. La Luna es atraída por la Tierra, pero ésta responde con una fuerza de sentido contrario (de la misma intensidad) y además otra en dirección del movimiento.

15. Actúa una fuerza de atracción hacia la Tierra, una fuerza tangente a su órbita y una fuerza centrífuga.

24. Ya que la fuerza de gravedad atrae a la Luna y el espacio la jala para que salga de órbita, además que la Luna tiene una fuerza que la mantiene girando.

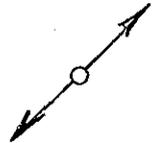
27. Deben de estar en equilibrio la fuerza de atracción de la Tierra y la Luna para que no caiga en ella, y si gira debe tener una tercera fuerza.

Respuesta a

8. Al encontrarse en equilibrio la fuerzas, la Luna presenta una tendencia a girar.

14. Las fuerzas que actúan son la atracción de la Tierra sobre la Luna, así como la gravedad de la Luna ocasionando la trayectoria.

17. Es una fuerza par, su momento con respecto a la Tierra es positivo.

Respuesta correcta b

7. Es la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre la Luna.

16. La Luna gira alrededor de la Tierra debido a la atracción que la Tierra ejerce sobre la Luna.

22. Sólo la fuerza de gravedad, porque tiene una trayectoria con velocidad angular uniforme y que tiene un radio tal que no le permite hacer caída libre.



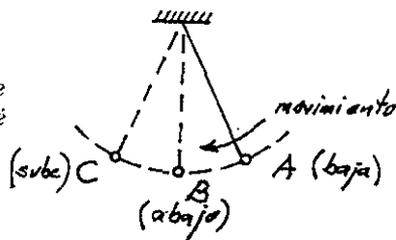
Respuesta e

11. (El alumno dibuja dos fuerzas normales dirigidas hacia la Luna y una curva en dirección de la trayectoria.) Porque la Luna sigue una trayectoria circular y, si no estuvieran las otras dos fuerzas en equilibrio, tendería a subir o bajar.



CASO 4

El péndulo simple de la figura está moviéndose de derecha a izquierda en una de sus oscilaciones. ¿Qué fuerzas actúan sobre él en las posiciones A, B y C?



CUESTIÓN 1. El péndulo desciende (posición A).

Respuesta más frecuente: d

1. La atrae la Tierra, la fuerza centrípeta y la fuerza tangencial.

4. El cuerpo ejerce una fuerza sobre el péndulo, además la fuerza de gravedad produce que se esté moviendo.

7. (K) La tensión que sufre la cuerda que sostiene a la esfera. (↓) La fuerza de gravedad que actúa sobre la esfera. (↙) El momento que ejerce sobre el otro extremo de la cuerda (el que se encuentra sujeto a la superficie fija).

8. Las fuerzas se encuentran en equilibrio, pero la tendencia del péndulo es a girar.

9. Existe la tensión del cable y las componentes del tramo del movimiento circular.

11. La cuerda siempre va a estar sosteniendo al péndulo, también hay que tomar en cuenta el peso del péndulo y la fuerza para que se mueva.

12. La fuerza de gravedad, la fuerza que opone el hilo para mantener a la pelota dentro de su trayectoria, además de la fuerza centrífuga.

13. Actúan: i) la fuerza debida al hilo que lo sostiene; ii) la fuerza en dirección de su movimiento, y iii) la fuerza debida a su peso.

14. Unas fuerzas ejercidas sobre el cuerpo son la tensión del hilo y el peso del cuerpo, además de la trayectoria del cuerpo que ejerce una fuerza de empuje.

15. Sobre el péndulo actúa su peso, una fuerza ejercida por el cordón y una fuerza tangente a su trayectoria.

18. Porque actúan la fuerza tangencial, el peso del cuerpo y la tensión que ejerce lo que está sosteniendo el péndulo.



20. Una fuerza que lo mantenga unido al cuerpo, la fuerza de gravedad y la fuerza que la obliga a cambiar de posición.

24. Porque tiene una tensión, una fuerza que lo hizo moverse y la fuerza de gravedad.

Respuesta correcta: a

2. Actúan la gravedad y la tensión en el cable.

6. La tensión en el cable del péndulo y el peso del balín dan como resultado que el péndulo descienda a la posición B.

16. El péndulo ejerce una reacción al apoyo y además ejerce una fuerza hacia el centro de la Tierra.

17. Existe la fuerza hacia abajo y la fuerza de la cuerda.

19. Soporta la fuerza de gravedad y el soporte del mismo péndulo del apoyo.

22. La Tierra ejerce una fuerza que lo hace bajar, pero la cuerda ejerce otra que lo obliga a mantener la trayectoria; de no existir esta fuerza, el movimiento sería de caída libre.

23. ↖ porque está sometido a una fuerza que lo sostiene. ↓ está sometido a la fuerza de gravedad.

25. La fuerza que lo empuja hacia abajo.

27. Actúan la fuerza de gravedad y la fuerza que ejerce el hilo para que no caiga la pelota.



Respuesta b

3. Es la fuerza que hace que se encuentre en movimiento.

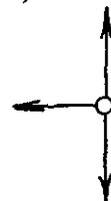
26. El movimiento de derecha a izquierda aunado a la atracción del péndulo y la Tierra producen dicha fuerza.



CUESTIÓN 2. *Se encuentra en el punto más bajo de su trayectoria (posición B).*

Respuesta más frecuente: c

1. Sigue sufriendo las tres acciones de las fuerzas anteriores (*La atrae la Tierra, la fuerza centrípeta y la fuerza tangencial*)



7. La fuerza de gravedad y la tensión de la cuerda están en equilibrio. (\leftarrow) El momento que genera con respecto al punto donde se encuentra sujeta la cuerda.

11. El péndulo en ese momento no sube ni baja, pero sigue teniendo la fuerza que lo hace seguir su trayectoria.

12. La fuerza de gravedad, la resistencia que pone el hilo para mantener a la pelota dentro de su trayectoria, así como la fuerza centrífuga que es tangente a la trayectoria del péndulo.

13. Porque al estar en el punto más bajo se anulan las fuerzas debidas al peso y al hilo y sólo queda la fuerza debida al movimiento.

14. En el punto B se ejrcen las fuerzas del peso del cuerpo, la tensión del hilo y la del impulso del cuerpo.

16. Como el péndulo lleva cierta inercia desde que comenzó su movimiento, su fuerza va en sentido a C.

18. Porque actúan el peso, la tensión y la fuerza tangencial que hace que el cuerpo trate de salir de su trayectoria.

27. Ya que lleva una aceleración del punto A y la fuerza del hilo y la gravedad tienen como resultante cero.

Respuesta correcta: b

6. La tensión del cable y el peso del balón obligan, en ese punto, a que el balón se detenga por un instante.

8. Las fuerzas están en equilibrio en ese punto, pero actúa la inercia.

9. Existen la tensión del cable y la fuerza de gravedad.

17. Existe la fuerza de gravedad y la tensión de la cuerda.

20. La fuerza de gravedad y la fuerza que lo mantiene unido a su cuerpo.

22. De la misma forma que el anterior, porque la aceleración en sentido horizontal es resultante de la fuerza que se ejerce sobre el péndulo, por: la gravedad y por la cuerda.

23. Igual a la anterior (*porque está sometido a una fuerza que lo sostiene y a la fuerza de gravedad*).

24. Ya que sigue habiendo tensión y fuerza de gravedad.

25. La fuerza se anula por estar en la misma línea de acción.



Respuesta a

3. Es la fuerza que hará que continúe con su movimiento.



4. La magnitud de la fuerza hacia arriba se iguala con la magnitud de la fuerza hacia abajo y sólo se conserva la fuerza que permite subir al péndulo.

10. Existe sólo el movimiento que realiza, ya que la fuerza de gravedad se equilibra con la tensión.

15. En este punto, la fuerza del cordón y el peso se equilibran y sólo queda la fuerza de su trayectoria.

26. El péndulo ha llegado a su punto más bajo y sólo ejerce cambio sobre él la fuerza horizontal.

Respuesta d

2. La tensión en el cable es de igual magnitud que el peso del cuerpo.



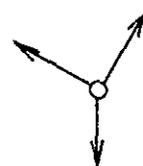
19. Las fuerzas están sobre la misma línea de acción y en sentido contrario.

CUESTIÓN 3. *El péndulo asciende (posición C).*

Respuesta más frecuente: b

1. Sigue sufriendo la acción de las tres fuerzas.

4. Las fuerzas hacia arriba y hacia abajo dejan de anularse entre sí y continúa una fuerza que permite seguir subiendo al péndulo.



6. En este punto la tensión y su peso mismo lo obligan a retroceder.

8. Se siguen ejerciendo las mismas fuerzas verticales, pero se agrega la horizontal.

9. Existe la tensión del cable, la fuerza de gravedad y una componente en dirección del movimiento.

11. La cuerda está jalando al péndulo, el peso del péndulo es hacia abajo y la fuerza que lo hace subir.

12. La fuerza debida a su peso, la fuerza centrífuga y la fuerza que opone el hilo para mantener al péndulo dentro de su trayectoria.

13. Porque las fuerzas que actúan son: i) debida al hilo que lo sostiene, ii) debida al movimiento, y iii) debida a su peso.

14. El peso ejerce una fuerza, al igual que la tensión del hilo sobre el cual se encuentra suspendido el cuerpo y la del impulso que va de mayor a menor.

15. Es el mismo caso de la posición A (*sobre el péndulo actúa su peso, una fuerza ejercida por el cordón y una fuerza tangente a la trayectoria*).

16. El péndulo debido a su inercia tiende a producir esa fuerza.

18. Por la gravedad en el peso, la tensión del péndulo y la fuerza tangencial.

20. La fuerza de gravedad, la fuerza que lo mantiene unido a su origen y la fuerza que lo impulsó.

24. Porque recobra la fuerza que lo hizo moverse, sigue habiendo tensión y fuerza de gravedad.

Respuesta correcta: c

2. Actúa la tensión del cable y el peso.

7. (↗) La tensión que sufre la cuerda. (↓) La fuerza de gravedad que actúa sobre el cuerpo en estudio.



17. Punto donde se inicia y se repite el movimiento.

22. Un caso similar, la aceleración que se produce de forma tangente a la trayectoria circular es resultante de la fuerza de gravedad y la fuerza de la cuerda.

23. Igual a la primera.

25. Las mismas fuerzas que en la cuestión 1 (*la fuerza que lo empuja hacia abajo*).

27. El péndulo toma las mismas fuerzas que en el punto A, sólo que en otro sentido.

Respuesta d

3. Es la fuerza que hace que continúe con su movimiento.

10. Sólo actúa la fuerza con la que realiza el movimiento.

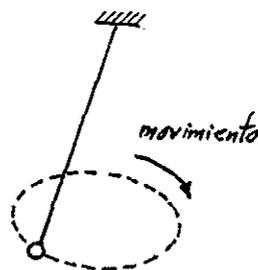
19. La fuerza es más grande que la gravedad y va en esa dirección.

26. El péndulo está subiendo hacia la izquierda, por lo que se produce esta fuerza.



CASO 5

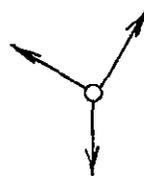
La figura representa un péndulo cónico. Se llama así porque el hilo describe un cono al moverse. El péndulo describe una trayectoria circular contenida en un plano horizontal. Señale las fuerzas que actúan sobre el péndulo en la posición mostrada.



CUESTIÓN ÚNICA

Respuesta más frecuente: b

1. Sufre la acción de su peso y la fuerza centrípeta, además de la dirección tangencial al círculo.
2. La tensión de la cuerda, el peso del cuerpo y la fuerza que va hacia afuera de la trayectoria circular.
4. La fuerza hacia abajo es la gravedad, la fuerza hacia arriba es la tensión entre el cuerpo y el péndulo y la otra fuerza permite que se pueda mover el péndulo.
7. (7) Tensión de la cuerda. (↓) La fuerza de gravedad que actúa sobre la esfera. (↻) La fuerza con la cual tiende a girar.
9. Existe la tensión del cable, la fuerza de gravedad y la fuerza al realizar el movimiento circular.
10. Actúa la fuerza gravitacional del péndulo y la tensión del hilo, así como la fuerza con la que se desplaza haciéndola girar.
12. La fuerza debida a su peso, la fuerza centrífuga y la que opone el hilo. La fuerza debida a su peso es perpendicular a la horizontal.
13. Porque actúan las fuerzas del hilo que lo sostiene, la debida al peso y la que describe el movimiento.
14. Al impulsar al cuerpo se genera una fuerza, al igual que es una fuerza el peso del cuerpo y la tensión del hilo.
15. Actúa el peso del péndulo, la fuerza que ejerce el hilo y una fuerza tangente a la trayectoria circular.



ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA

18. Por la fuerza tangencial, el peso del péndulo y la tensión que se ejerce. Deben estar en equilibrio, si no, el péndulo se rompería.

19. Porque siempre se aplica en el mismo sentido, ya que está en un plano horizontal.

20. La fuerza de gravedad, la fuerza que lo mantiene unido al cuerpo y la fuerza que lo obligó a moverse.

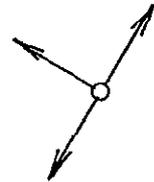
24. Ya que hay tres fuerzas, las cuales son tensión, gravedad y la fuerza que lo hizo moverse.

25. La fuerza que lo empuja hacia abajo, más la fuerza que hace que el péndulo se mueva.

27. Lleva una fuerza tangencial, otra fuerza que es la de la gravedad y la del hilo.

Respuesta a

6. La tensión del cable y el peso del cuerpo se anulan, por lo que el balón describe una trayectoria como se muestra en la figura.



11. Porque las fuerzas que lo empujan hacia arriba y hacia abajo están en equilibrio, pero hay una fuerza que lo empuja horizontalmente, que es la que provoca que se mueva.

16. El péndulo gira en el sentido de las manecillas del reloj.

Respuesta c

3. Es la fuerza que hace que el péndulo se mueva.



5. Porque la fuerza de su peso estaría en equilibrio por la fuerza que detiene al péndulo.

26. El péndulo está moviéndose hacia la parte posterior del círculo, pero pasa antes por la parte izquierda, por lo que la fuerza sería en esa forma.

Respuesta correcta: d

22. La velocidad tangente a la trayectoria circular es constante, las únicas fuerzas que actúan son la del hilo y la fuerza gravitatoria.

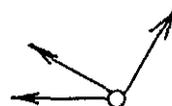


23. ↗ porque está sometido a una fuerza que es la que lo sostiene. ↓ está sometido a la fuerza de gravedad.

Respuesta e

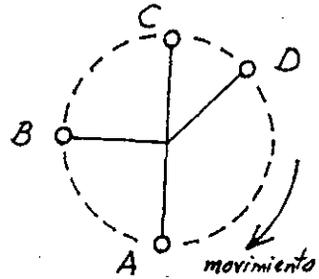
8. (Sin fuerzas.) Como las fuerzas están en equilibrio, el péndulo tiende a girar.

17. (Están tres fuerzas dibujadas: una en dirección de la cuerda, otra tangente a la trayectoria, en sentido de la velocidad, y otra horizontal hacia afuera del centro de la trayectoria.) Existe la fuerza del hilo que lo hace girar y el movimiento es hacia arriba.



CASO 6

Se ata un hilo a una piedra y se hace girar en un plano vertical, de modo que describa una trayectoria prácticamente circular. Como si se tratara de lanzar una honda. Señale la dirección de las fuerzas que actúan sobre la piedra en las cuatro posiciones indicadas.



CUESTIÓN 1. La piedra se halla en el punto más bajo de su trayectoria (posición A).

Respuesta más frecuente: a

1. La fuerza centrípeta y el peso actúan y también la de la dirección tangencial.

2. Tensión de la cuerda (hacia el centro de la circunferencia formada por la trayectoria), peso del cuerpo (vertical hacia abajo) y fuerza hacia fuera de la trayectoria (horizontal).

3. Es el peso del cuerpo, la fuerza que le imprime el movimiento y, por supuesto, la tensión que le ejerce el hilo para mantenerla dentro de la trayectoria circular.

4. La tensión y la gravedad se anulan y sólo queda una fuerza que permite que siga en movimiento la piedra.

5. Porque se le aplicaría una fuerza que la haga moverse, otra que la jale hacia abajo y una que la sostenga.

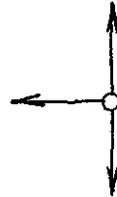
6. La tensión en el hilo y el peso del cuerpo se anulan, dando como resultado la fuerza en esa dirección.

7. (↑) La tensión de la cuerda. (↓) La fuerza con la cual tiende a salir la piedra de la circunferencia. (←) El momento que produce con respecto al extremo de la cuerda fija.

9. Existe la fuerza de gravedad, la tensión y la componente en dirección del movimiento.

11. La fuerza de arriba y abajo están en equilibrio, pero la piedra sigue la trayectoria.

13. Porque actúan: la fuerza debida al peso, al hilo que la sostiene y la que describe el movimiento.



15. Actúa sobre la piedra su peso, una fuerza hacia el eje de rotación y una fuerza tangencial, donde las dos primeras se anulan.

18. Por el peso de la piedra, la tensión y la fuerza tangencial que trata de sacarla de su trayectoria circular.

20. La fuerza de gravedad, la que impulsa a la piedra a seguir la trayectoria circular y la que la mantiene unida al hilo.

25. Existen dos fuerzas, la que hace que la piedra se mueva y la que empuja a la piedra hacia el centro de la Tierra.

27. Es el mismo que el de arriba (*lleva una fuerza tangencial, otra fuerza que es la de la gravedad y la del hilo*).

Respuesta correcta: b

14. Cuando comienza a girar el cuerpo las fuerzas que actúan sobre él son: el peso de éste y la tensión del hilo que lo sujeta.

16. Como la piedra está amarrada y no sale de la trayectoria circular que lleva, está en equilibrio.

17. Por estar en posición a la dirección en que se está girando (en un plano vertical).

19. Porque las fuerzas están en equilibrio en ese punto.

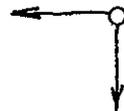
23. ↑ La piedra está sometida a la fuerza centrípeta (se está haciendo girar el hilo). ↓ La piedra está sometida a la fuerza de gravedad.

24. Por haber tensión y fuerza de gravedad.



Respuesta e

10. (*El alumno dibujó una fuerza horizontal dirigida hacia la izquierda y otra vertical, hacia abajo.*) Actúa la fuerza de gravedad y el movimiento que realiza.



21. (*Hay cuatro fuerzas dibujadas: una vertical hacia arriba, otra horizontal hacia la izquierda y dos verticales hacia abajo.*) Hacia arriba,

la fuerza del hilo. Fuerza de gravedad (\downarrow). Fuerza que provoca la dirección circular (\leftarrow). Fuerza por el impulso de estar girando (\downarrow).



Respuesta c

8. No hay ninguna fuerza que incida sobre la piedra.



Respuesta d

26. La piedra tiende a moverse en esa dirección por ser la dirección tangencial al círculo en ese momento.



CUESTIÓN 2. *Está subiendo y el hilo está en posición horizontal (posición B).*

Respuesta más frecuente: b

2. Fuerza hacia afuera de la trayectoria circular (vertical hacia arriba), peso (vertical hacia abajo), tensión del cable (hacia el centro de la circunferencia formada por la trayectoria).

3. Su peso, la fuerza que le imprime el movimiento y la tensión que ejerce el hilo sobre ella para mantenerla en la trayectoria circular.

5. Porque su peso lo jalaría hacia abajo y se le aplicaría una fuerza que la haga subir y, finalmente, se le está aplicando una fuerza que no le permite salir disparada.

9. Está la fuerza de gravedad, la tensión del cable y la fuerza en dirección tangencial.

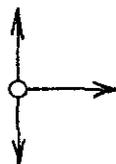
12. Su peso, la fuerza que opone el hilo para mantenerla dentro de su trayectoria, además de la fuerza centrífuga.

13. Por la misma que la anterior. (*Fuerza debida al peso, al hilo que la sostiene y a la que describe el movimiento.*)

15. Actúan las mismas fuerzas que en la posición anterior. (*Su peso, una fuerza hacia el eje de rotación y una fuerza tangencial, donde las dos primeras se anulan.*)

18. Por el peso, la tensión y la fuerza tangencial que intenta cambiar al cuerpo de su trayectoria.

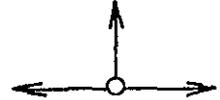
20. La fuerza de gravedad, la que la mantiene unida al hilo y la que la hace girar.



24. Debido a que hay tensión, peso y una fuerza de empuje.
27. Aquí la tangencial va a ser vertical, la del hilo horizontal y la de la gravedad vertical.

Respuesta a

4. Las fuerzas horizontales se anulan, quedando sólo la vertical.
7. (→) La tensión de la cuerda. (←) La fuerza con que es rechazada la piedra de su centro de gravedad. (↑) La fuerza con la cual tiende a girar.
8. Se mantienen equilibradas sus fuerzas horizontales.
11. Las fuerzas horizontales están en equilibrio, pero hay una que la jala hacia arriba.
14. Al tensarse el hilo se ejerce una fuerza, y el peso del cuerpo es una fuerza, la fuerza del impulso que se le da al cuerpo afecta a éste.
17. Por tener la tendencia a subir al girar.



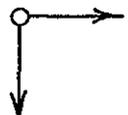
Respuesta d

10. Al colocarse en posición horizontal, la única fuerza que actúa es el movimiento, ya que la gravedad y la fuerza con la que se hace girar se encuentran en equilibrio.
16. Debido al movimiento circular, la fuerza que se aplica sobre la piedra es vertical hacia arriba.
19. Porque la fuerza va hacia arriba sin una fuerza horizontal.
26. Por la misma razón que el anterior, dirección tangencial. (La piedra tiende a moverse en esa dirección por ser la dirección tangencial al círculo en ese movimiento.)



Respuesta correcta: c

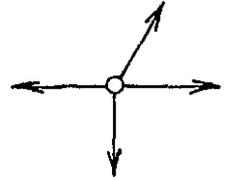
6. De nuevo la tensión y el peso se anulan y la obligan a seguir esa dirección.



23. → La piedra está sometida a la fuerza centrípeta (porque se está haciendo girar el hilo). ↓ La piedra está sometida a la fuerza de gravedad.

Respuesta e

21. (El alumno dibuja cuatro fuerzas.) ← Fuerza por el impulso de girar.
↗ Fuerza que da la dirección. ↓ Gravedad. → Del hilo.

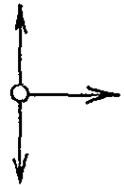


CUESTIÓN 3. La piedra se encuentra en el punto más alto (posición C).

Respuesta más frecuente: d

4. Las fuerzas verticales se anulan, quedando la fuerza horizontal.

7. (↓) La tensión de la cuerda. (↑) La fuerza con que es rechazada la piedra de su centro de gravedad. (→) El momento con respecto a la parte fija de la cuerda.



9. Tiene las mismas componentes en cualquier punto, A, B, C o D. (Fuerza de gravedad, tensión del cable y la fuerza en dirección de la trayectoria.)

11. Las fuerzas verticales están en equilibrio, pero la piedra tiende a girar por la fuerza horizontal.

13. Por lo mismo. (Fuerza debida al peso, al hilo que la sostiene y a la que describe el movimiento).

16. Sigue llevando la dirección de esa fuerza.

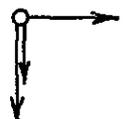
17. Por estar en posición del plano vertical.

20. La fuerza de gravedad, la que la hace girar y la que la mantiene unida al hilo.

24. Porque siguen actuando las mismas fuerzas del inciso anterior. (Tensión, peso y fuerza de empuje).

Respuesta a

2. Peso del cuerpo y la tensión del cable (vertical hacia abajo). Fuerza hacia afuera de la trayectoria (horizontal).



3. Las fuerzas del peso y la tensión del hilo van en la misma dirección, mientras que la fuerza que le imprime el movimiento es tangencial a ambas.

12. Su peso, la fuerza que opone el hilo (ambas tienen el mismo sentido y dirección) y la fuerza centrífuga.

14. Al estar en lo más alto, el peso del cuerpo se aligera provocando que la fuerza que se ejerce sobre él disminuya y cambie de dirección y sentido, pero afecta también el impulso que comienza a disminuir.

15. En este caso, las fuerzas son las mismas, pero el peso y la fuerza centrípeta tienen la misma dirección.

18. Porque la tensión y el peso son del mismo sentido y se equilibra con la fuerza tangencial.

Respuesta b

10. Existe sólo la fuerza con la que realiza el movimiento, ya que la fuerza con la que se realiza el giro se equilibra con la fuerza gravitacional.

19. Porque están en equilibrio las fuerzas verticales.

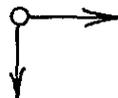
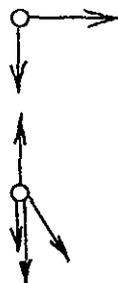
26. Aunque existe atracción entre la piedra y la Tierra, la primera no se ve afectada porque la fuerza que la hace girar lo evita.

Respuesta e

5. (Están dibujadas una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha y otra vertical, hacia abajo.) Porque su peso la jalaría hacia abajo y se le aplicaría una fuerza que la mantenga en movimiento.

21. (Aparecen cuatro fuerzas dibujadas.) ↓ Del hilo. ↓ Gravedad. ↑ Del impulso. ↘ De la dirección.

27. (El alumno ha dibujado una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha y otra vertical, hacia abajo.) Ya que como lleva una fuerza centrípeta, tiende a botar a la piedra, y necesita una fuerza F capaz de detenerla.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Respuesta correcta c

8. Las fuerzas ejercidas se dirigen hacia abajo.

23. ↓ La piedra está sometida a la fuerza de gravedad. ↓ La piedra está sometida a la fuerza centrípeta (se está haciendo girar el hilo).

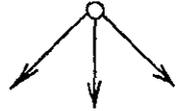


CUESTIÓN 4. *La piedra ha comenzado a descender (posición D).*

Respuesta más frecuente: d

3. El peso del cuerpo, la tensión del hilo y la fuerza que le imprime el movimiento.

5. Porque su peso la jalaría hacia abajo, también una fuerza la mantendría en la órbita que recorre, y todavía tendría efectos la fuerza que la obliga a moverse.



9. Tiene las mismas componentes. (*Fuerza de gravedad, tensión del cable y la fuerza en dirección de la trayectoria.*)

14. Las fuerzas que actúan son el peso del cuerpo, la tensión del hilo y el impulso del cuerpo.

15. Siguen actuando las mismas fuerzas. (*Su peso, una fuerza hacia el eje de rotación y una fuerza tangencial, donde las dos primeras se anulan.*)

18. La tensión se sigue ejerciendo, el peso no cambia y la fuerza tangencial trata de sacarla de su trayectoria.

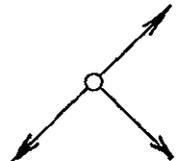
24. Porque el peso siempre va a ser perpendicular al cuerpo. Las otras dos fuerzas: una es tensión y la otra es la fuerza de empuje.

27. Presenta una tensión en el hilo, la de gravedad y la tangencial.

Respuesta b

4. Las fuerzas de la misma línea de acción se anulan, quedando sólo la fuerza que permite moverse hacia abajo.

7. (↙) La tensión de la cuerda. (↗) La fuerza con que es rechazada la piedra de su centro de gravedad. (↘) El momento con respecto a la parte fija de la cuerda.



8. Las fuerzas continúan en equilibrio. La piedra sigue la trayectoria anterior.

11. Hay dos fuerzas en equilibrio que hace que la piedra no se salga de su trayectoria, pero la piedra sigue girando.

13. Por lo mismo. (Porque actúan la fuerza debida al peso, al hilo que la sostiene y a la que describe el movimiento.)

16. La fuerza comienza a cambiar de dirección.

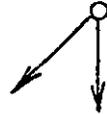
25. La fuerza que hace que la piedra rote.

Respuesta correcta: a

6. La resultante de esas dos fuerzas indica la dirección de la piedra.

17. Tiene la fuerza de la cuerda y la fuerza de gravedad.

20. La fuerza de gravedad, la fuerza que la mantiene unida al hilo.



23. Igual a la anterior, pero en dirección ↙ y ↓. (La piedra está sometida a la fuerza centripeta (se está haciendo girar el hilo) y a la fuerza de gravedad.)

Respuesta c

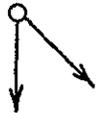
19. Se aplica una fuerza horizontal y una vertical hacia abajo produciendo el siguiente efecto externo.

26. La dirección es tangencial al círculo y la piedra va hacia abajo.

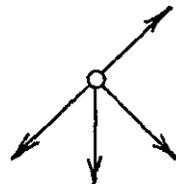


Respuesta e

10. (El alumno dibuja una fuerza dirigida hacia abajo y otra tangencial.)
Actúa la fuerza gravitacional así como el movimiento que realiza.



21. (Aparecen dibujadas cuatro fuerzas.) ↓ Gravedad. ↙ Hilo. ↗ Impulso. ↘ De dirección.



IV. RESULTADOS DEL ESTUDIO Y RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez revisada la bibliografía y expuesto el marco teórico, procedimos a organizar de modo conveniente el material que nos proporcionó el examen escrito. A la luz de dicho material y de las contestaciones de la entrevista, daremos respuesta a las preguntas que nos habíamos planteado al realizar nuestra investigación.

IV.1 Concepciones espontáneas de fuerza

La primera pregunta que nos planteamos, que es la más general, es qué tipo de conceptualizaciones de fuerza exhiben los alumnos involucrados en las tareas propuestas.

Llamaremos *concepciones espontáneas* a la que manifiestan los alumnos en sus respuestas al cuestionario, independientemente de que concuerden o no con los conceptos científicos actuales. Es muy probable que coincidan con las del modo de pensar común, es decir, de la mayoría de las personas. No obstante, los alumnos de la muestra han recibido ya cierta instrucción acerca de las fuerzas. Además de los cursos que hayan llevado en el bachillerato, han cursado la asignatura de Física Experimental de las carreras de ingeniería.

Las principales concepciones que hemos podido hallar a través del cuestionario son las siguientes. La acción de la gravedad, o de atracción de la Tierra es una fuerza; el peso es una fuerza; las fuerzas son manifestación de la energía de los cuerpos; las fuerzas tienden a lograr un equilibrio; las fuerzas son lo mismo que sus resultantes; las fuerzas son acciones entre dos cuerpos; las fuerzas tienen nombres comunes; las fuerzas producen un impulso; las fuerzas causan aceleración; las fuerzas producen una acción duradera, y las fuerzas se relacionan con la velocidad.

IV.1.1 LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD, O DE ATRACCIÓN DE LA TIERRA, ES UNA FUERZA

Los cuerpos que se proponen en los seis casos del cuestionario están sujetos a la acción de la gravedad, y en ninguno de ellos puede considerarse despreciable. Todos los alumnos encuestados la detectan. Aun en el Caso 3, de la Luna moviéndose alrededor de la Tierra, la mayoría considera tal acción.

Sin embargo, hay muchas respuestas en que la fuerza de gravedad se omite, no por descuido u olvido, sino por considerar que desaparece por la situación especial por la que atraviesa el cuerpo, tal como se puede apreciar en cada uno de los Casos.

Caso 1

En la opción propuesta *a* a la cuestión 1 (la pelota ascendiendo verticalmente) no aparece dibujada la fuerza de gravedad, pero cinco alumnos consideran que es la respuesta correcta. Se trata de los alumnos 6, 14, 16, 17 y 19.

Ninguno de los alumnos explica por qué no actúa la gravedad en esta situación, a pesar de que en la cuestión 3 (la pelota descendiendo verticalmente), el alumno 6 afirma que actúa el peso de la pelota; el alumno 16 dice que es atraída por la fuerza de la gravedad; el 17 sostiene que la atracción de la Tierra la jala hacia abajo, y el 19, que está soportando la fuerza de gravitación.

Son notables las respuestas de los alumnos 2, 3 y 11 que aseveran, el primero, que la gravedad está presente en todo el trayecto, y los dos últimos, que sobre cualquier cuerpo está siempre presente.

Los dos alumnos entrevistados oralmente también afirman la presencia de la fuerza de gravedad.

En la cuestión 2, en que la pelota alcanza el punto más alto de su trayectoria, en la respuesta *c* no se incluye la fuerza de gravedad ni ninguna otra. Doce alumnos la adoptan: 3, 4, 5, 7, 8, 11, 15, 17, 19, 20, 25 y 26.

Los alumnos 3 y 11 que, en la cuestión anterior acababan de afirmar que la gravedad estaba siempre presente, consideran que ahora no actúa. El segundo de ellos explica, además, que en el instante considerado comienza a actuar.

Los alumnos 10 y 26 explican que la fuerza de gravedad se equilibra con la fuerza con que fue lanzada. Los alumnos 18 y 19 afirman que la pelota está en equilibrio. El 20 piensa que la gravedad no actúa en ese instante, pero va actuar de nuevo.

El alumno Sapién, de la entrevista, sostiene que es la fuerza de gravedad la única que actúa en esa posición. Su compañero Carrasco también lo sostiene, pero considera que la acción de la gravedad está comenzando a actuar.

En la cuestión 3 la mayoría de los alumnos que contestaron por escrito estima que la fuerza de gravedad es la única que actúa sobre la pelota. Lo mismo ocurre con los dos alumnos entrevistados.

Caso 2

En la cuestión 1 veintidós alumnos por escrito más los dos entrevistados perciben la acción de la fuerza de la gravedad. Pero sólo tres de aquéllos y uno de los entrevistados consideran que sea la única acción que sufra el balón.

La respuesta propuesta *d* no incluye a la fuerza de gravedad. Son cuatro los alumnos que la consideran correcta: 8, 16, 17 y 19. Este último afirma que la fuerza mostrada es más grande que la gravitatoria.

Ahora el alumno 3 vuelve a insistir en que la fuerza de gravedad siempre está presente, a pesar de que negó su acción en la cuestión 2 del caso 1 y de que la volverá a negar en las tres cuestiones del caso 4.

La respuesta propuesta *c* de la cuestión 2 omite la fuerza de gravedad, y son siete los alumnos que la toman: 10, 17, 18, 19, 20, 25 y 26. Cuatro de ellos piensan que está en equilibrio el balón. El alumno 25 considera que no actúa ninguna fuerza en ese instante. El 20 afirma que volverá actuar después la gravedad.

El alumno 2 afirma por segunda vez —lo hizo en la cuestión 1 del Caso 1— que la gravedad está presente en todo el trayecto, pero escogerá la opción *d* que no la incluye en la cuestión 2 del Caso 4.

Cuatro alumnos (16, 17, 19 y 26) consideran correcta la opción *a* de la cuestión 3, que no incluye a la fuerza de gravedad. Los dos últimos, sin embargo, la mencionan, y escogen la opción por considerar que es la que señala la resultante de las fuerzas que actúan. Todos los demás, incluidos los de la entrevista, escogen opciones en que aparece la acción gravitatoria, aunque pocos, cuatro por escrito y Sapién, estiman que sea la única fuerza que actúe.

Caso 3

En todas la opciones se presenta la fuerza de atracción de la Tierra sobre la Luna. Sólo un alumno, 11, dibuja su propio diagrama y, aunque no omite la fuerza de gravedad, señala que se equilibra con una fuerza centrífuga.

Caso 4

Dos opciones de la cuestión 1, *b* y *c*, omiten la fuerza de gravedad sobre el péndulo. Ningún alumno escoge la *c*. Dos eligen la *b*, 3 y 26; pero este último considera que sí existe y elige la respuesta porque desea mostrar la resultante de las fuerzas.

En la cuestión 2 dos respuestas propuestas carecen de la fuerza de gravedad: *a* y *d*. Cinco alumnos eligen *a* (3, 4, 10, 15 y 26). Tres de ellos consideran que la fuerza de gravedad se equilibra con la tensión. Dos contestan con la opción *d* (2 y 19) y también consideran una situación de equilibrio.

Cuatro alumnos eligen la respuesta *d*, que no incluye la fuerza de gravedad (3, 10, 19 y 26). Pero el 19 afirma que la fuerza horizontal que él eligió es más grande que la gravedad. Los otros tres consideran simplemente que no existe.

Caso 5

En el caso de péndulo cónico sólo hay una cuestión. No se incluye la fuerza de gravedad en la respuestas propuestas *a* y *c*. Tres alumnos escogen la opción *a* (6, 11 y 16), pero los dos primeros explican que la gravedad se equilibra con la tensión de la cuerda. Otros tres (3, 5 y 26) eligen la *c*, y el segundo también piensa que está equilibrada.

Caso 6

Nuevamente, en todas las cuestiones la mayoría de los estudiantes escoge opciones en que se presenta la fuerza de la gravedad.

En la cuestión 1, sólo el alumno 8, que elige la respuesta *c* considera que no actúa la gravedad ni ninguna otra fuerza.

El inciso *a* no incluye la gravedad en la cuestión 2 y seis alumnos lo eligen (4, 7, 8, 11, 14 y 17). Sólo el 14 considera que actúa, pero que la afecta el impulso. Tampoco el inciso *d* incluye la fuerza de gravedad, y son cuatro los alumnos que lo eligen (10, 16, 19 y 26). Sapién, uno de los alumnos entrevistados, piensa primero en despreciar la acción de la gravedad, pero decide finalmente que tal fuerza coincide con la centrífuga.

La respuesta propuesta *b* de la cuestión 3 es la que omite la fuerza de gravedad, y los alumnos 10, 19 y 26 la eligen, pero los tres explican que dicha fuerza se equilibra con otras.

En la cuestión 4 hay dos opciones que carecen de la fuerza de gravedad. La opción *b* fue elegida por siete alumnos (4, 7, 8, 11, 13, 16 y 25), la *c*, por dos (19 y 26). Los alumnos 4, 8 y 11 afirman que está equilibrada.

IV.1.2 EL PESO ES UNA FUERZA

En el apartado anterior comprobamos que todos los alumnos saben que la Tierra ejerce una fuerza de atracción o de gravedad sobre los cuerpos. Pero ahora vamos a centrar la atención sobre el uso de la palabra *peso* en las explicaciones del cuestionario.

En la cuestión 1 del Caso 1 dos alumnos utilizan el nombre de peso para referirse a la fuerza vertical, dirigida hacia abajo, que sufre la pelota. Ninguno lo emplea en la cuestión 2, y cinco alumnos lo usan en la cuestión 3. Es decir, se utilizó siete veces en un total de ochenta y un respuestas escritas. Los estudiantes que fueron entrevistados no emplearon la palabra *peso*.

En el Caso 2 la palabra peso se emplea en más ocasiones: cinco en la cuestión 1, tres, en la 2 y cinco en la cuestión 3. En la cuestión 1 de dicho caso, el alumno 18 afirma que la fuerza de gravedad actúa sobre el peso del cuerpo. Y el alumno 13, en las cuestiones 2 y 3 explica que la fuerza vertical es debida al peso del cuerpo; este alumno utilizará la misma expresión en los casos 4, 5 y 6.

Ningún alumno habla de peso en el Caso de la Luna.

En las cuestiones 1, 2 y 3 del Caso 4 aparece el vocablo peso en cuatro, seis y cinco ocasiones, respectivamente. En la última, el alumno 12 habla de fuerza debida a su peso, y el alumno 14 dice que el peso ejerce una fuerza.

El alumno 23 afirma, en las cuestiones 1 y 2 del Caso 1, que el peso es debido a la fuerza de gravedad. Y el alumno 12, en el Caso 5, llama a la fuerza vertical "fuerza debida al peso". Tales afirmaciones muestran una clara distinción entre peso y fuerza; como si el peso fuese una propiedad de los cuerpos y no una fuerza.

Sólo una vez durante la entrevista uno de los estudiantes, Carrasco, empleó la palabra *peso*: fue en el Caso 5, en que identifica claramente acción de la Tierra y peso.

Y en el Caso 6, que tiene cuatro cuestiones, aparece el nombre de peso veintisiete veces. En la cuestión 3 el alumno 14 afirma que el peso de la piedra se aligera.

IV.1.3 LAS FUERZAS SON MANIFESTACIÓN DE LA ENERGÍA DE LOS CUERPOS

En el programa de Estática que cursan los alumnos no se incluye el concepto de energía. Sin duda todos lo estudiaron en sus cursos previos de Física, tanto en el bachillerto como en la propia Facultad. En las explicaciones del cuestionario escrito aparece la palabra energía varias veces. Los alumnos entrevistados oralmente, en cambio, no la emplearon.

En la cuestión 1 del Caso 1 el alumno 17 identifica la fuerza vertical dirigida hacia arriba con *energía potencial*. En la cuestión 2 los alumnos 20 y 25, aunque niegan que actúen fuerzas sobre la pelota, dicen que su energía cinética se transforma en potencial al llegar al punto más alto de su trayectoria. En la cuestión 3, nuevamente el alumno 17 identifica la fuerza, ahora dirigida hacia abajo, con *energía potencial*.

En la cuestión 3 del Caso 2 el alumno 17, que no habló de energía en la dos cuestiones anteriores, afirma que vuelve a entrar la energía potencial cuando el balón desciende.

En el Caso 3, de la Luna girando alrededor de la Tierra, ningún alumno menciona el concepto de energía.

Tampoco en los tres Casos siguientes se vuelve a emplear la palabra energía.

IV.1.4 LAS FUERZAS TIENDEN A LOGRAR UN EQUILIBRIO

En los diferentes cursos de Física que hayan podido llevar los estudiantes que participaron en la investigación, se habla del estado de equilibrio, llamando así a las situaciones de los cuerpos que menciona la primera ley de Newton, y que se limitan al reposo de los cuerpos y a su movimiento rectilíneo uniforme. Se suele explicar en esas clases que la resultante de los sistemas de fuerzas que actúan sobre cuerpos en dicho estado es nula.

Ninguno de los cuerpos que se consideran en los seis Casos del cuestionario está en equilibrio. No obstante, la palabras equilibrio y reposo, el verbo equilibrar, la idea de que la acción de una fuerza anule la de otra, o que la resultante de las fuerzas sea nula, aparece setenta veces en los cuestionarios contestados por escrito.

Caso 1

En la cuestión 1 de este Caso, en que la pelota lanzada por el niño asciende reduciendo su velocidad, ningún alumno piensa en el equilibrio. Pero en la cuestión 2, cuando la pelota ha llegado al punto más alto de su trayectoria y su rapidez es nula, doce alumnos eligen la respuesta *c* en que no aparece ninguna fuerza. Algunos alumnos (3, 5, 7, 11, 19 y 26) explican que en ese punto las fuerzas se equilibran; el alumno 4 dice que las fuerzas se anulan, el 8, que no hay ninguna fuerza; el 15, que las fuerzas se anulan, o sea, que la resultante es cero, y los alumnos 17 y 25 afirman simplemente que la pelota está en reposo. De los ocho estudiantes que escogen la opción *b* (en que se proponen dos fuerzas verticales, una dirigida hacia arriba y la otra hacia abajo), el 1, el 12, el 13, el 16, el 18 y el 22 dicen que la pelota está en equilibrio, y los alumnos 6 y 14 afirman que “la resultante de dichas fuerzas es cero”. Los alumnos que eligen la opción correcta, la *a*, son cinco; pero las explicaciones que dan dos de ellos, son: el 2, que la pelota está en reposo, y el 10, que la pelota se equilibra. En la cuestión 3 del mismo Caso 1, en que la pelota desciende aumentando su rapidez, el alumno 27 afirma que la pelota, en el punto máximo B, “se puso en equilibrio y de ahí comienza una caída libre”.

Caso 2

En el Caso 2 las respuestas son muy semejantes a las del Caso 1. Cuando el balón recorre el tramo ascendente de su trayectoria parabólica, cuestión 1, ninguno recurre al equilibrio. Pero en la cuestión 2, en que llega al punto más alto, once alumnos manifiestan de algún modo que piensan que el balón está en equilibrio, a pesar de que sólo siete eligen la opción *c*, en que no aparece ninguna fuerza. Las explicaciones que dan es que “la fuerza se anula”, “hay equilibrio”, “las fuerzas están equilibradas”, “el balón permanece estático”, “no existen fuerzas”, “en ese momento hay equilibrio”, “está en reposo”, “el impulso se igualó con el peso”, “las fuerzas se contrarrestan” y otras expresiones equivalentes. En la cuestión 3 del descenso del balón, no se piensa en el equilibrio.

Caso 3

Solamente cuatro alumnos recurren a la explicación del equilibrio en el Caso de la Luna. El alumno 3 considera la Tierra atrae a la Luna y que la Luna repulsa a la Tierra con una fuerza de la misma magnitud y de sentido contrario. El alumno 8 afirma que las fuerzas deben encontrarse en equilibrio para que la Luna gire. El 11, que si las dos fuerzas no estuvieran en equilibrio la Luna tendería a subir o bajar. Y el alumno 27 dice que las fuerzas de atracción de la Tierra y la Luna deben estar en equilibrio para que ésta no caiga en aquélla.

Caso 4

En el Caso del péndulo simple, en la cuestión 1 sólo el alumno 8 dice que las fuerzas están en equilibrio. En la cuestión 2, en que el péndulo pasa por su posición inferior, seis alumnos mencionan el equilibrio; los alumnos 7, 8 y 10 consideran que la fuerza de gravedad y la tensión de la cuerda están en equilibrio; el 4 afirma que las fuerzas se igualan; el 25, que se anulan, y el 27, que la resultante es cero. En la cuestión 3, el alumno 4 ahora afirma que las fuerzas se anulan y el 15, que la tensión y el peso se equilibran.

Caso 5

Del Caso del péndulo cónico, hay cinco respuestas que se refieren al equilibrio. El alumno 5 dice que su peso estaría en equilibrio por la fuerza que detiene al péndulo. El alumno 6 explica que la tensión de la cuerda y el peso se anulan; el 8, que como las fuerzas están en equilibrio, el péndulo tiende a girar; el 11, que las fuerzas hacia arriba y hacia abajo se equilibran; y el 18, que las fuerzas deben estar en equilibrio, porque si no, el péndulo (seguramente se refiere a la cuerda) se rompería.

Caso 6

En la cuestión 1 del Caso 6, en que la piedra atada al hilo pasa por su posición más baja, los alumnos 4 y 6 afirman que la tensión y la gravedad se anulan; el alumno 15 explica que el peso y la fuerza que se dirige hacia el eje de rotación se anulan, y los alumnos 11 y 19 dicen que las fuerzas están en equilibrio; y el 16, que la piedra está en equilibrio. En la cuestión 2, los alumnos 6 y 15 explican que las fuerzas se anulan, y los alumnos 8, 10 y 11, que las fuerzas están en equilibrio. En la cuestión 3, cuando la piedra llega a su posición más alta, el alumno 4 afirma que las fuerzas verticales se anulan, y los alumnos 10, 11, 18 y 19, que las fuerzas se equilibran. En la cuestión 4 el alumno 4 da la misma explicación que en la cuestión anterior, el 15 insiste en su respuesta a las cuestiones 1 y 2, y los alumnos 8 y 11 nuevamente creen que las fuerzas están en equilibrio.

Se da un ejemplo completamente opuesto: el alumno 13, en la cuestión 1 del Caso 1, contesta con la opción *d* y la razón que da es que “si pongo *b*, significa que está en equilibrio.”

IV.1.5 LAS FUERZAS SON LO MISMO QUE SUS RESULTANTES

Los estudiantes que ingresan a la carrera de ingeniería han oído hablar de resultantes de sistemas de fuerzas en sus distintos cursos de Física. Cuando un sistema actúa sobre una partícula, su resultante, si existe, es una fuerza que produce los mismos efectos externos que aquél.

En el apartado anterior, en que tratamos acerca del equilibrio, aparecieron muchas respuestas al cuestionario en que los alumnos consideraban que dicho estado se producía porque la resultante de las fuerzas era “nula”, o “cero”, o porque las fuerzas “se anulaban”; muy pocas veces se consideraba que el equilibrio fuera debido a que no actuara sobre el cuerpo ninguna fuerza en absoluto.

Además, en la cuestión 2 del Caso 1, en que la pelota arrojada por el niño alcanza el punto más alto de su trayectoria, los alumnos 6 y 15 afirman explícitamente que actúan fuerzas, pero que su resultante es cero.

En la cuestión 3 del Caso 2, cuando el balón desciende acercándose a la canasta, escoge la opción *a* (una fuerza vertical dirigida hacia abajo), pero explica que se trata de la resultante de la fuerza de gravedad y la de la componente horizontal de la del lanzamiento.

En la cuestión 1 del Caso 4, en que el péndulo simple posee un movimiento descendente, el alumno 26 elige la respuesta *b* (una sola fuerza en dirección de la velocidad) porque “el movimiento de derecha a izquierda aunado a la atracción del péndulo y la Tierra producen dicha fuerza”. En la cuestión 2 del mismo Caso, el alumno 22 escoge su respuesta con una sola fuerza y afirma que se trata de la resultante; el alumno 27, que opta por la respuesta sin fuerzas, dice que las que actúan tienen resultante cero. Dos alumnos que eligen la opción *d*, en que se propone una fuerza en dirección de la velocidad, explican: el 2, que la tensión en el cable es de igual magnitud que el peso del cuerpo; y el 19, que las fuerzas están sobre la misma línea de acción y en sentido contrario. En la cuestión 3 el alumno 22 escoge la respuesta con una sola fuerza vertical, pero dice que es resultante de la fuerza de gravedad y la fuerza de la cuerda.

En el Caso 5, además de los cinco alumnos que consideran en equilibrio, ningún otro sustituye las fuerzas por su resultante.

Pero en el Caso 6, cuestión 2, el alumno 4 afirma que las fuerzas horizontales se anulan, quedando sólo la vertical. Y en la cuestión 4, en que la piedra se mueve en el tramo descendente, el alumno 6, aunque elige la respuesta correcta, sostiene que la resultante de esas dos fuerzas indica la dirección de la piedra.

IV.1.6 LAS FUERZAS SON ACCIONES ENTRE DOS CUERPOS

Los alumnos que contestaron el cuestionario quizá hayan aprendido que una fuerza es una acción capaz de alterar el movimiento de los cuerpos. Evidentemente, se trata de una interacción entre dos cuerpos, ya que sólo con un cuerpo se puede modificar el movimiento de otro. La tercera ley de Newton lo especifica con mucha claridad al establecer que *a toda fuerza o acción se opone siempre una reacción igual y contraria; es decir, las acciones mutuas de los cuerpos son iguales y tienen direcciones opuestas*. Con tanta claridad queda expresado, que el enunciado, como se ve, es doble, y presenta una sola afirmación con dos redacciones distintas.

En los Casos 4, 5 y 6, de los péndulos simple y cónico y de la piedra atada con un hilo, todos los alumnos reconocen que la cuerda ejerce una acción sobre el cuerpo en estudio. Todos los alumnos encuestados reconocen también que la fuerza de gravedad es una acción de la Tierra.

No obstante, en las respuestas de los alumnos se observa que consideran fuerzas cuya causa no parece ser otro cuerpo, como estableceremos más adelante.

Por el momento, consideraremos algunos otros rasgos de la comprensión de la interacción entre dos cuerpos.

Del Caso 1, en la cuestión 1, la opción *b* propone dos fuerzas verticales, una dirigida hacia arriba y otra hacia abajo. El alumno 7 afirma que la fuerza vertical es la resistencia que opone la fuerza de gravedad; y el alumno 24, que por la tercera ley de Newton, ya que a toda acción corresponde una reacción.

En el Caso 3, de la Luna girando alrededor de la Tierra, el alumno 3 elige la respuesta *d*, en que aparecen dos fuerzas normales en direcciones contrarias y otra en dirección de la velocidad, y explica que por la tercera Ley de Newton la Luna repulsa a la Tierra con la misma magnitud, pero de sentido contrario que la fuerza que la atrae. Cosa semejante afirma el alumno 13, que dice que las Luna es atraída por la Tierra, pero ésta responde con una fuerza de sentido contrario (de la misma intensidad).

El alumno 12, en el Caso 5, sostiene que una de las fuerzas es la que opone el hilo. La misma explicación da en el Caso 6 en las cuestiones 2 (la piedra ascendiendo sobre su trayectoria circular) y 3 (la piedra en su posición más alta).

IV.1.7 LAS FUERZAS TIENEN NOMBRES COMUNES

Con mucha frecuencia los alumnos se refieren a las fuerzas designándolas con un nombre especial. Tales nombres responden, sin duda, a determinadas concepciones. No hemos referido ya a algunos de ellos en las páginas anteriores, como fuerza de gravedad, fuerza de atracción, peso, acción y reacción. Otras denominaciones que utilizaron son las que mencionamos a continuación.

TENSIÓN

En los Casos 4, 5 y 6 el cuerpo está atado con una cuerda. En efecto, la cuerda ejerce una fuerza sobre los péndulos o sobre la piedra y su nombre es tensión, puesto que la longitud de la cuerda tiende a alargarse.

Es bastante general el uso de la palabra tensión para referirse a ella. Veintidós veces se utiliza en las explicaciones escritas del Caso 4, ocho, en las del Caso 5 y veintiséis en las del 6. Todas las veces está correctamente empleada. El alumno Carrasco la utiliza en la entrevista al referirse a los Casos 4 y 5.

Pero conviene tener en cuenta que aparece en cincuenta y seis ocasiones en un total de doscientas dieciséis veces en que pudo emplearse. Es decir, se utilizaron con mayor frecuencia expresiones como fuerza de la cuerda, acción de la cuerda, fuerza que ejerce el hilo y otras semejantes, que son más complejas y menos específicas.

FUERZA TANGENTE O TANGENCIAL

Veintiséis veces se emplea el adjetivo tangente o tangencial para referirse a fuerzas cuya dirección es, efectivamente, tangente a las trayectorias curvilíneas de los cuerpos en estudio.

En su utilización, se observa que los alumnos quieren explicar la existencia de fuerzas en esa dirección dándole ese nombre, sin atender a la causa que las produce. De hecho, no existe en ninguno de los Casos fuerza cuya línea de acción tenga esa dirección.

No se emplea ninguna vez en el Caso 1, en que el movimiento es rectilíneo.

FUERZA CENTRÍFUGA

La palabra centrífuga, de origen latino, cuyo significado etimológico se refiere a huir del centro, se aplica correctamente a las fuerzas que tienden a lograr que los cuerpos se alejen de su centro de rotación.

En las explicaciones del cuestionario tres alumnos (7, 12 y 15) la utilizan un total de ocho veces, en los Casos 3, 4, 5 y 6. Pero en ninguno de ellos actúa sobre los cuerpos en estudio una fuerza que tienda a alejarlos del centro de rotación.

Llama la atención que el alumno 12, que es quien más se refiere a la fuerza centrífuga, diga, en la cuestión 2 del caso 4 que la fuerza centrífuga es tangente a la trayectoria; y que en los Caso 5 y 6 elija una fuerza tangencial que él llame centrífuga.

El alumno Sapién, al contestar todas las cuestiones del Caso 6, menciona la fuerza centrífuga y explica que ella trata de sacar la piedra hacia afuera.

FUERZA CENTRÍPETA

El verbo latino *pétere* significa *tender hacia*, o *dirigirse a*. Fuerza centrípeta es nombre que algunas veces se atribuye a las fuerzas cuyo sentido se dirija hacia un punto o centro de la trayectoria de una partícula.

Cuatro alumnos (1, 15, 23 y 17) emplean el nombre de fuerza centrípeta en sus respuestas. Tres veces la utiliza el alumno 1, otras tres el 23, y sólo una vez los alumnos 15 y 27. Aparece fundamentalmente en el Caso 6, refiriéndose a la tensión del hilo que sostiene a la piedra girando, es decir, su uso es correcto. La emplea incorrectamente el alumno 1 en los Caso 4 y 5.

El alumno Sapién, uno de los entrevistados, afirma, en el Caso 3, que la fuerza de gravitación de la Tierra sobre la Luna "está actuando como fuerza centrípeta" y que tiene valor uniforme. En el Caso 6 vuelve a emplear el mismo término, refiriéndose a la tensión de la cuerda.

OTROS NOMBRES

Dos alumnos se refieren a fuerza *normal* para referirse a las acciones perpendiculares a la tangente de la trayectoria. Uno de ellos habla de fuerza *binormal*.

El alumno 7, cuatro veces en sus explicaciones afirma que la fuerza que señala es un *momento*. Y el alumno 17 dice en el Caso 3, en que escoge la opción *a*, con dos fuerzas colineales de sentido contrario, que es una fuerza *par*. Varios hablan de fuerza de *empuje*.

Dos veces el alumno 1 llama fuerza de *Arquímedes* a una fuerza en dirección de la velocidad.

El nombre de *componente* se utiliza doce veces. Seis de ellas pertenecen a las respuestas del alumno 9: *componente de la fuerza con que fue lanzada*, *componentes del movimiento circular*, *componente en dirección del movimiento*, etc. Hay que tener en cuenta que llamar componente a una fuerza implica relacionarla con la resultante del sistema al que pertenece. En ninguna ocasión la palabra ha sido empleada adecuadamente.

IV.1.8 LAS FUERZAS PRODUCEN UN IMPULSO

En Mecánica, la acción de una fuerza que se aplica durante un lapso de tiempo sobre un cuerpo recibe el nombre de impulso. La noción común de este concepto no difiere del científico sustancialmente.

En los Casos del cuestionario, salvo el del péndulo simple, los cuerpos estudiados han sido impulsados antes de que se encuentren en las situaciones sobre las que se proponen las diferentes cuestiones.

Varios alumnos recurren al concepto de impulso para explicar las fuerzas que actúan sobre los cuerpos.

En el Caso 1, el alumno 25 escoge la opción *b* de la cuestión 1, en que aparecen dos fuerzas verticales, una dirigida hacia arriba y otra hacia abajo, y explica que lleva el impulso que le da el niño.

En la cuestión 1 del Caso 2, el alumno 14 elige la respuesta *b*, en la que se muestra una fuerza en dirección de la velocidad, y afirma que se ejerce una fuerza para que el balón sea impulsado hacia la canasta.

En el Caso 4, del péndulo simple, el alumno 14 considera, tanto en las cuestiones 2 y 3, que la fuerza en dirección de la velocidad es la fuerza del impulso del cuerpo, aclarando, para la cuestión 3, en que el péndulo asciende, que dicho impulso va de mayor a menor.

Tres alumnos llaman impulso a la fuerza que se propone en dirección tangente a la trayectoria en las cuatro cuestiones del Caso 6: el alumno 20 una vez, explicando que es la fuerza que impulsa a la piedra; el alumno 21 tres, llamándola fuerza del impulso; y el 14 otras tres veces, diciendo, además, que la fuerza del impulso afecta al cuerpo, y luego, que comienza a disminuir.

IV.1.9 LAS FUERZAS CAUSAN LA ACELERACIÓN

Aceleración, en el lenguaje coloquial, significa prontitud, rapidez o velocidad. Difiere esencialmente de su contenido mecánico, que es la razón del cambio de la velocidad al tiempo, y es una cantidad vectorial, es decir, se caracteriza por su magnitud y su dirección.

La segunda ley de Newton que, en opinión de muchos estudiosos, es la más trascendental del gran sabio de la univesidad de Cambridge, establece que el cambio del movimiento es proporcional a la fuerza impresa y ocurre según la dirección de dicha fuerza. Con el tiempo, y con fines de claridad, frecuentemente se ha enunciado diciendo que la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración, y en su misma dirección. Por tanto, se ha sustituido el producto de la constante de proporcionalidad por la cantidad de movimiento (producto, a su vez, de la masa por la magnitud de la velocidad) con un nuevo término llamado aceleración, el cual se define como señalamos en el párrafo anterior. Para ello se requiere juntamente que se adopte un sistema de unidades tal que permita que la unidad de fuerza produzca la unidad de aceleración a la unidad de masa.

Simbólicamente podemos explicar esas modificaciones de la siguiente manera (los vectores se representan con negritas):

$$F = k \cdot d(mv)/dt$$

$$\mathbf{F} = k m \cdot dv/dt$$

$$\mathbf{F} = k m \mathbf{a}$$

Eligiendo unidades apropiadas: $k = 1$

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

La simbología es posterior a Newton. Incluso se ha adoptado para las expresiones $d(mv)/dt$ y dv/dt la nomenclatura de Leibniz, su contemporáneo alemán.

Se puede asumir que los alumnos de Estática conocen el enunciado moderno de la segunda ley y la última de las fórmulas escritas, pero difícilmente conocen con precisión la definición de aceleración, puesto que no ha cursado la Cinemática.

En todas las cuestiones propuestas en los Casos del examen, los cuerpos están sufriendo una aceleración a causa de las fuerzas que actúan sobre ellos.

Sólo tres alumnos en cinco cuestiones hablan de la aceleración de los cuerpos, todos en el Caso 1, de la pelota lanzada por el niño. El alumno 3, en la cuestión 1, elige la opción *b*, en que se muestran del fuerzas verticales de sentido contrario, afirmando que se le imprime una aceleración. El alumno 22, en la cuestión 1 opta por la respuesta *c*, en que sólo aparece el peso, y explica que no lleva aceleración hacia arriba; en la cuestión 2 (la pelota en el punto más alto de su trayectoria) escoge la opción *a*, en la que nuevamente se presenta sólo el peso, y sostiene que la aceleración es hacia arriba; y en la cuestión 3 repite su respuesta y afirma que sólo existe la aceleración de *g*. En la cuestión 2 el alumno 16 elige la opción de dos fuerzas verticales y explica que la aceleración es igual a la gravedad.

IV.1.10 LAS FUERZAS PRODUCEN UNA ACCIÓN DURADERA

Un cuerpo puede ejercer una fuerza sobre otro de dos maneras. Una de ellas es por contacto, como una locomotora jalando un carro, o como una grúa levantando un contenedor. También la puede ejercer a distancia, tal como actúan las fuerzas de gravedad y las electromagnéticas. Ya consideramos antes, ampliamente, las concepciones de los alumnos acerca de la atracción entre los cuerpos, en especial del peso. Las fuerzas magnéticas son objeto de estudio en los programas de Electricidad y Magnetismo, no de Mecánica de la Facultad de Ingeniería, ni juegan ningún papel en la presente investigación.

Si termina un contacto entre dos cuerpos, desaparecen las acciones que mutuamente se ejercían. Por otro lado, el contacto entre los cuerpos es siempre visible, es más, evidente por sí mismo. Y su suspensión también. Así, si un carro se desconecta de la locomotora, acto perfectamente observable, la fuerza que se ejercían entre sí deja de existir. Lo mismo ocurre cuando el cable de la grúa se separa del contenedor.

No obstante todo lo anterior, que responde a la definición de fuerza y al contenido de la leyes de Newton, muy particularmente a la tercera, los alumnos parecen no comprenderlo dadas las respuestas que dan al cuestionario.

Caso 1

La mayor parte de los estudiantes, dieciséis para ser precisos, en la cuestión 1, eligen la opción *b*. En dicha opción se propone que actúan dos fuerza verticales, una dirigida hacia arriba y otra hacia abajo. Los alumnos, refiriéndose a la que tiene sentido hacia arriba, dan las siguientes explicaciones: el 2, que en la subida actúa la fuerza que le imprime el niño; el 3, que la pelota está ascendiendo debido a la fuerza que le imprime una aceleración; el 5, que el niño le aplicó una fuerza vertical; el 7 dice que es la fuerza con que es lanzada; el 9, que es de cuando fue lanzada; el 10, que actúa la fuerza aplicada a la pelota al lanzarla; el 11 afirma que la pelota sube porque es mucho mayor la fuerza que se le aplica para que subiera; el 12, que es la fuerza que obtiene la pelota por ser lanzada por el niño; el 15 sostiene que sobre la pelota actúa la fuerza que le aplicó el niño; el 20, que es la fuerza con que se ha lanzado la pelota; y el 26, que actúa una fuerza vertical hacia arriba, porque la pelota fue lanzada. El alumno Carrasco en la entrevista sostiene que una fuerza vertical hacia arriba hace que se rompa la fuerza de la gravedad.

En la misma cuestión 1 del Caso 1, otros alumnos que escogen otras respuestas, dan explicaciones semejantes en torno a la fuerza susodicha. El alumno 19 afirma que se acaba de aplicar una fuerza vertical hacia arriba y el 27, que lleva una "fuerza de empuje (niño)".

Cuando la pelota llega la punto más alto de su trayectoria, en la cuestión 2, los más contestan con la opción *c*, en que la pelota se presenta libre de fuerzas. Las explicaciones que dan algunos de ellos son: el alumno 3, que la fuerza de empuje ya no es más fuerte que la de la atracción de la Tierra, sino que se equilibran; el 4, que la magnitud de la fuerza hacia arriba es igual a la magnitud de la fuerza hacia abajo, las fuerzas se anulan; el 5, que porque al llegar al

punto más alto la fuerza aplicada por el niño y la fuerza de gravedad están en equilibrio; el 7, que tanto la fuerza con que fue lanzada como la resistencia de la fuerza de gravedad están en equilibrio. El alumno 11 afirma que es ese momento la pelota está suspendida porque es cuando se le terminó la fuerza que jala hacia arriba; el 15, que sobre la pelota siguen actuando las mismas fuerzas (la que se aplica para que suba y el peso), pero ambas son de la misma magnitud y dirección, pero se sentido contrario y se anulan; el 19, que aquí ya la fuerza aplicada y la fuerza de gravitación son iguales y el cuerpo está en reposo; y el 26, que son las dos fuerzas del inciso anterior (con la que fue lanzada y la atracción hacia el centro de la Tierra), pero en esta ocasión en equilibrio.

Los alumnos que eligen la opción *b*, con dos fuerzas verticales de sentido contrario, presentan las siguientes consideraciones: el alumno 1, que la fuerza ascendente es igual a la descendente; el 6, que en ese instante actúan dos fuerzas: la vertical hacia arriba y la fuerza del cuerpo; el 12, que las fuerzas que actúan son la fuerza de gravedad y la fuerza que aplicó el niño para lanzarla; y el alumno 18, porque en el punto donde la fuerza de gravedad y la fuerza con que ha sido lanzada la pelota se equilibran.

En la cuestión 3, acerca de la pelota descendiendo, encontramos también explicaciones como: la fuerza hacia arriba se ha terminado, que da el alumno 4; y el alumno 24 afirma que la pelota perdió la fuerza de subida.

Caso 2

En el Caso del balón lanzado hacia la canasta, la mayoría de los alumnos escoge, para la cuestión 1 (ascenso del balón), la respuesta *b*, en la que se propone una fuerza tangente a la trayectoria y otra vertical dirigida hacia abajo. Las explicaciones de los alumnos acerca de la fuerza tangencial son: del 3, debido a la fuerza que le imprime o le obliga a moverse; del 4, que la fuerza inclinada es producida por el jugador; del 5, porque la pelota es afectada por la fuerza aplicada por el jugador; del 6, porque el jugador aplica una fuerza en ese sentido; del 7, es la fuerza con que fue lanzada; el alumno 10 afirma que es la fuerza con que es lanzada; el 12, que es la fuerza debida al lanzamiento; el 15, que sobre el balón actúa una fuerza que le aplicó el jugador; el 20, que actúa sobre él la fuerza con que se ha lanzado; el 26, que es la fuerza que le imprimió el jugador. Los alumnos 17 y 19 eligen la opción *d* (sólo aparece la fuerza tangencial), y el primero explica que es empujada por una fuerza inicial en dirección hacia arriba, y el segundo, que la fuerza es aplicada en esa dirección. En la entrevista, el estudiante Carrasco explica que esa fuerza es la que hace el jugador al lanzar el balón.

En la cuestión 2, que se refiere al balón en el punto más alto de su trayectoria, la respuesta más frecuente es la *d*, en que se propone una sola fuerza horizontal. Los alumnos aclaran la razón de su elección: el 5, porque la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo; el 9, que existe la componente de la fuerza con que fue lanzada; el 12, que se trata de la fuerza debida al lanzamiento de la pelota; y el 15, que la componente vertical hacia arriba de la fuerza que aplicó el jugador se ha igualado con el peso del cuerpo. Alumnos que escogen otras respuestas dan las explicaciones siguientes; el 10, que existe un equilibrio de fuerzas, tanto de la gavedad

como la fuerza con la que se lanzó; y el 26, que hay equilibrio entre la componente vertical de la fuerza de lanzamiento y la de la gravedad.

A la cuestión 3, los alumnos dan las siguientes explicaciones sobre la fuerzas que actúan sobre el balón cuando desciende hacia la canasta: el 5, que la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo cada vez más; el 9, que existe la fuerza de gravedad y la componente con que fue lanzada; el 12, es la fuerza debida al lanzamiento; el 13, porque todavía hay una fuerza hacia la canasta; el 15, que sólo actúa sobre el balón el peso y la componente horizontal de la fuerza que se le aplicó al balón por medio del jugador; el 20, que la fuerza con se el blón se lanzó sigue actuando sobre él; y el alumno 25, que son la fuerza de gravedad y la fuerza que el muchacho le aplicó al balón. En la entrevista, Carrasco, que elige la opción *b*, explica que la fuerza en dirección tangente a la trayectoria se debe a que “el jugador al aventar el balón hizo que una fuerza tendiera hacia al izquierda” (sic).

IV.1.11 LAS FUERZAS SE RELACIONAN CON LA VELOCIDAD

Ya explicamos anteriormente que, de acuerdo con la segunda ley de Newton, las fuerzas causan la aceleración de los cuerpos, es decir, el cambio de la velocidad. Y, conforme a la primera ley, los cuerpos en estado de movimiento rectilíneo uniforme requieren de la aplicación de una fuerza externa que los obligue a cambiar dicho estado. Tales ideas no parecen estar asentadas en la mente de los alumnos que resolvieron el cuestionario, sino que asocian las fuerzas a las velocidades, según puede apreciarse en sus respuestas.

Caso 1

La respuesta más frecuente de los alumnos es la *b* en la cuestión 1; en ella, las fuerzas que actúan sobre la pelota arrojada por el niño son dos verticales, una dirigida hacia arriba y otra hacia abajo. El alumno 3 explica que la pelota está ascendiendo debido a la fuerza. Carrasco, en la entrevista oral, también elige la opción *b*. Los alumnos que eligen la opción *a*, en que se presenta una sola fuerza dirigida hacia arriba, son cinco, y el alumno 19 dice que la pelota tiene ese efecto externo. Cuatro alumnos contestan con la respuesta *d*, en que hay dos fuerzas verticales hacia arriba y otra hacia abajo; el alumno 1 afirma que la pelota va hacia arriba, por lo tanto la fuerza vertical hacia arriba es mayor que la vertical en dirección opuesta, y el 18, que puesto que al ir hacia arriba, la pelota lleva más fuerza que la fuerza de gravedad.

En la cuestión 2, en que la pelota llega al punto más alto de su trayectoria y que, por tanto su velocidad es nula, la respuesta más elegida por los alumnos es la *c*, en que se presenta la pelota sin ninguna fuerza actuando sobre ella.

En la cuestión 3, la opción más escogida es *d*. Es la respuesta correcta, pues en ella sólo aparece el peso de la pelota, que tiene la dirección de su velocidad. El alumno 3 afirma que el peso del cuerpo hace que descienda la pelota. El 14, que al llegar a C, la fuerza cambia de dirección.

Caso 2

El inciso *b* de la cuestión 1 propone que el balón está sujeto a la acción de la gravedad y de una fuerza en dirección de su velocidad, y es la opción más elegida por los alumnos. El alumno 2 explica que las fuerzas que actúan son la gravedad y la fuerza que está en dirección del lanzamiento. La misma respuesta ofrece Carrasco en la entrevista.

En la cuestión 2, cuando el balón alcanza el punto más alto de su trayectoria, la respuesta que escoge la mayoría de alumnos es la *d*, en la cual aparecen el peso y una fuerza en dirección de la velocidad. Cuatro alumnos, además, eligen la opción *e* y los cuatro dibujan una fuerza en dirección de la velocidad.

La respuesta más frecuente en la cuestión 3, en que el balón desciende hacia la canasta, es la *b*, en que se presentan nuevamente el peso y otra fuerza en dirección de la velocidad; es también la respuesta elegida por uno de los alumnos entrevistados. El alumno 6 explica que el peso del cuerpo y la dirección de la fuerza indican que la pelota sigue la trayectoria deseada; y el 10, que actúa la fuerza de gravedad y sigue con cierta dirección.

Caso 3

En el Caso de la Luna girando en torno a la Tierra, la opción más elegida es la *c*. En ella se presenta una fuerza dirigida hacia la Tierra y otra en dirección de la velocidad. Las explicaciones de algunos de ellos son las siguientes: del alumno 1, que sufre la atracción de la Tierra y también la fuerza tangencial; del 5, porque habría una fuerza que atraería a la Luna y habría otra que sería a causa de la velocidad; del 10, que actúa la fuerza gravitacional con que es atraída y además la fuerza con la que se desplaza la Luna; y el 26, que las fuerzas se deben a la atracción entre ambos cuerpos y al movimiento de la Luna.

Siete alumnos optan por la respuesta *d*, en que, además de las dos fuerzas del inciso anterior, se añade otra en dirección opuesta a la fuerza de gravedad. El alumno 13 afirma, refiriéndose a la fuerza en dirección de la velocidad, que es en dirección del movimiento; el 15, que actúa una fuerza tangente a su órbita; el 24, que es una fuerza que la mantiene girando; y el 27, que si gira, debe tener una tercera fuerza.

Caso 4

La opción *d* de la cuestión 1 muestra al péndulo descendiendo por la acción de la tensión, del peso y de una fuerza en dirección de la velocidad. Es la respuesta más frecuente de los alumnos participantes. El alumno 11 explica que la cuerda siempre va a estar sosteniendo al péndulo, también hay que tomar en cuenta el peso del péndulo y la fuerza para que se mueva; el 13, que actúan: i) la fuerza debida al hilo que lo sostiene; ii) la fuerza en dirección de su movimiento, y iii) la fuerza debida a su peso. El alumno 14, refiriéndose a la fuerza en dirección de la velocidad, dice que la trayectoria del cuerpo ejerce una fuerza de empuje; y el 20, que es la fuerza que lo obliga a cambiar de posición.

En la opción *b* se presenta una sola fuerza, en dirección de la velocidad. La eligen dos alumnos. El 3 explica que es la fuerza que hace que se encuentre en movimiento, y el 26, que el movimiento de derecha a izquierda aunado a la atracción del péndulo y la Tierra producen dicha fuerza.

En la cuestión 2, relativa a la posición más baja del péndulo, la opción más elegida es la *c*, en que se proponen tres fuerzas; dos verticales y una en dirección de la velocidad. Refiriéndose a esta última, el alumno 11 explica que es la que lo hace seguir su trayectoria; y el 13, que es la fuerza debida al movimiento.

La opción *a* muestra al péndulo sujeto a una sola fuerza en dirección de la velocidad. Es escogida por cinco alumnos. El 3 afirma que es la fuerza que hará que continúe su movimiento; y el 10, que existe sólo el movimiento que realiza.

La respuesta más frecuente en la cuestión 3 es la *b*. En esa opción el péndulo vuelve a mostrarse sujeto a la acción de la tensión, del peso y de otra fuerza en dirección de la velocidad. Sobre esta fuerza, el alumno 4 explica que es la que permite seguir subiendo al péndulo: el 9, que es la componente en dirección del movimiento; el 11, que es la fuerza que lo hace subir; y el 13, que es debida al movimiento.

Cuatro alumnos eligen la opción *d*, en que el péndulo sufre la acción de una sola fuerza en dirección de la velocidad. El 3 afirma que es la fuerza que hace que continúe su movimiento, y el 10, que sólo actúa la fuerza con la que realiza el movimiento.

Caso 5

El inciso *b* es el más elegido por los alumnos. En él aparece el péndulo cónico sujeto a la tensión, al peso y a una fuerza en dirección de la velocidad. El alumno 1 explica que sufre la acción de su peso y la fuerza centrípeta, además de la dirección tangencial al círculo; el 4, que la fuerza hacia abajo es la gravedad, la fuerza hacia arriba es la tensión entre el cuerpo y el péndulo y la otra fuerza permite que se pueda mover el péndulo. Refiriéndose a la fuerza en dirección de la velocidad, el alumno 7 dice que es la fuerza con la cual tiende a girar; el 10, que es la fuerza con que se desplaza, haciéndola girar; el 13, que es la que describe el movimiento; y el 15, que es la fuerza tangente a la trayectoria circular.

Tres alumnos optan por la respuesta *c*, en que se propone sólo una fuerza, y en dirección de la velocidad. El alumno 3 afirma que es la fuerza que hace que el péndulo se mueva.

Caso 6

En las cuatro cuestiones del Caso de la piedra atada a un hilo, las respuestas más frecuentes son aquellas en que se presentan tres fuerzas: el peso, la tensión de la cuerda y otra tangente a la trayectoria, es decir, en dirección de la velocidad. Algunas de las explicaciones que dan los alumnos en relación a la última de las fuerzas son las siguientes. El alumno 3 afirma que es la fuerza que le imprime el movimiento; el 5, porque se le aplicaría una fuerza que la haga moverse; el mismo alumno repite la explicación en las cuatro cuestiones. El alumno 9 considera que existe la componente en dirección del movimiento; el 20, que esa fuerza es la que impulsa a la piedra a seguir la trayectoria circular; el 25, que es la que hace que la piedra se mueva. El alumno 10, en la cuestión 2 afirma que la única fuerza que actúa es el movimiento, y en la cuestión 3, que existe sólo la fuerza con la que realiza el movimiento. En la entrevista, el alumno Carasco dice que esa fuerza es el movimiento.

IV.2 Rasgos más recurrentes de las concepciones espontáneas

La segunda pregunta de investigación que nos formulamos, es ¿cuáles son los rasgos del concepto de fuerza más recurrentes? Conforme a cada una de las concepciones espontáneas de los alumnos hemos encontrado los siguientes rasgos.

LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD, O DE ATRACCIÓN DE LA TIERRA, ES UNA FUERZA

La idea de que los cuerpos caen a causa de su peso puede tenerse por espontánea, en cuanto que fue y es la explicación que se ha dado siempre. Pero no es general, y menos espontáneo, que la Luna esté sujeta a esa fuerza. Antes de la formulación de la ley de la gravitación universal por Newton hace poco más de tres siglos, era impensable.

En el caso de los alumnos a quienes se les aplicó el cuestionario, podemos considerar generalizada la idea de que la Tierra ejerce una fuerza de gravedad (o de atracción) sobre los cuerpos que se encuentran cerca de ella, incluso sobre la Luna, que se halla a una distancia de sesenta radios terrestres.

Sin embargo, aunque todos los alumnos saben de su existencia no todos piensan que dicha fuerza se ejerza siempre; son muchas las cuestiones en que claramente señalan que la gravedad no actúa. Muy notables son las ideas de que la gravedad deje de actuar, comience a actuar o "actúe de nuevo". Esto ocurre sobre todo en los casos en que el cuerpo tiene una trayectoria ascendente y de modo muy especial cuando se detiene después de su ascenso, como en el caso de la pelota arrojada verticalmente por el niño. También ocurre en el caso del balón lanzado por el jugador, aunque el balón ni siquiera se detenga, sino que su velocidad deja de tener componente vertical. La explicación habrá que buscarla a través de otras concepciones de fuerza.

Son sólo siete de los veintisiete encuestados los que en todas las cuestiones de los seis casos eligen opciones en que aparece la fuerza de gravedad (1, 9, 12, 21, 23, 24 y 27). Distinto es el caso de varios estudiantes que, aunque la omitan en sus respuestas justificándose con la explicación de que se compensa con la acción de otras fuerzas, sí consideran su existencia.

EL PESO ES UNA FUERZA

La formulación de la ley de la gravitación universal causó un gran revuelo en su época. Fue sin duda uno de los descubrimientos que más fama dio a Newton, puesto que daba razón tanto de la caída de los cuerpos como del movimiento de los planetas alrededor del sol y de los satélites alrededor de los planetas. La novedad no estribaba tanto en que la Tierra atrajera a los cuerpos próximos, sino su universalidad: que todos los cuerpos se atraeran unos a otros.

Conviene tener presente que el nombre de gravitación de la ley proviene de la palabra latina *grávitas*, que significa peso. Galileo, Newton y todos los físicos de los siglos XVI y XVII llamaban *graves* a los cuerpos que caían.

Debe ser claro que el peso es la fuerza con que los cuerpos se atraen. Es decir, peso y fuerza de gravedad son sinónimos. Y, en los casos del cuestionario, peso es la fuerza con que la

Tierra atrae a los cuerpos. Esta es probablemente la definición de peso que aprendieron los estudiantes que participaron en la investigación en sus cursos anteriores. Sin embargo, todo indica que no todos los alumnos identifican *peso* con *fuerza de la gravedad*, particularmente en el Caso de la Luna. Y, de modo más especial, en aquellas respuestas que hablan de fuerza debida al peso, o que el peso ejerza una fuerza, puesto que implica que los alumnos atribuyen al cuerpo una propiedad, más que ver una acción de la Tierra sobre él.

Esta distinción entre peso y fuerza de gravedad, junto con las inconsistencias que observamos en el apartado anterior, puede dar razón de los errores generalizados que cometieron los alumnos, semanas después, en su curso de Estática, al dibujar los diagramas de cuerpo libre en los dos problemas siguientes.

En el primero se trata de determinar las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo C de la figura 1, suponiendo despreciable el peso de la cuerda y nula la fricción de la polea. En el inciso a se han dibujado correctamente las fuerzas que actúan sobre C, y en el inciso c se muestra el diagrama elaborado por muchos de los alumnos. En él se ve claramente que han considerado que el peso de B actúa sobre el cuerpo C, consideración inadmisibles si se tiene en cuenta que dicho peso es la fuerza que la Tierra ejerce sobre B.

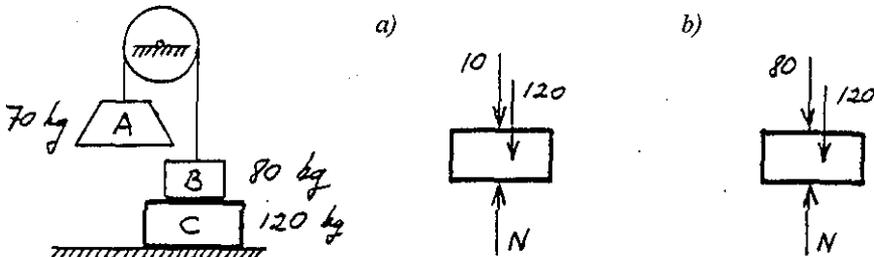


Figura 1

El segundo problema, mostrado en la figura 2, es también de cuerpos en reposo. Se ha pedido determinar el máximo valor que puede alcanzar el ángulo α , sabiendo que μ es el coeficiente de fricción entre las superficies en contacto. En el inciso a se presenta el diagrama de cuerpo libre correcto y en el b, el de muchos alumnos. Puede observarse el mismo razonamiento del problema anterior.

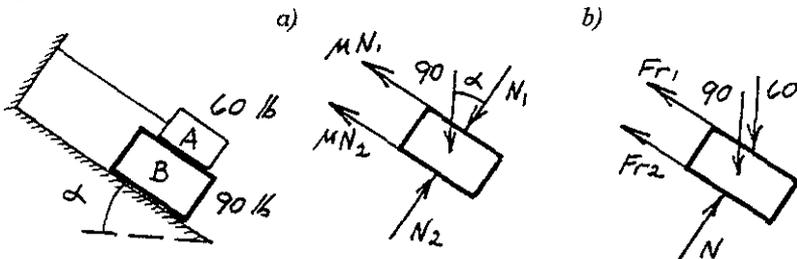


Figura 2

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

LAS FUERZAS SON MANIFESTACIÓN DE LA ENERGÍA DE LOS CUERPOS

Ciertamente son pocos, tres, los alumnos que en este cuestionario recurren al concepto de energía para explicar el movimiento de los cuerpos. Pero sin duda existe en la mente de cierta cantidad de estudiantes la confusión entre fuerza y energía; quizá por la semejanza que se da a las dos palabras en el lenguaje coloquial.

Parece que el recurso a la energía ocurre cuando el cuerpo en movimiento no está en contacto con ningún otro, como en los Casos 1 y 2.

Arnold. B. Arons (*Student patterns of thinking and reasoning, part two. The Physics Teacher*, I-84, p. 22), sostiene que "los alumnos creen que pueden salir airosos de cualquier pregunta embarazosa insertando la palabra *energía* en sus respuestas, aunque tal concepto no haya sido definido aún". Quizá tengamos aquí un ejemplo.

LAS FUERZAS TIENDEN A LOGRAR UN EQUILIBRIO

Es notablemente excesiva la consideración, por parte de los alumnos examinados, de que las fuerzas deban estar en equilibrio. Máxime teniendo en cuenta que en ninguna de las situaciones en que se encuentran los cuerpos estudiados aparecen fuerzas equilibradas.

Claramente se aprecia que los alumnos creen que un cuerpo sin velocidad está en reposo y, por tanto, en equilibrio, como en la cuestión de la pelota lanzada verticalmente la llegar al punto más alto de su trayectoria. Vuelve a presentarse tal creencia, aunque en menor grado, en el caso del balón en la cima de su recorrido parabólico, en que la velocidad no posee componente vertical.

También se observa con frecuencia el pensamiento de que los cuerpos moviéndose en trayectorias circulares están en equilibrio: si las fuerzas que actúan no tienen componente en dirección de la velocidad.

Por otra parte, parece muy confusa la noción de equilibrio de un cuerpo. Lo cual se aprecia muy particularmente en cuatro de las respuestas: en dos de ellas se afirma el equilibrio del cuerpo "en ese momento"; en otra, "por unos momentos" y, en la cuarta, "por unos instantes".

LAS FUERZAS SON LO MISMO QUE SUS RESULTANTES

Puesto que resultante de un sistema de fuerzas es otro sistema capaz de producir los mismos efectos externos sobre el cuerpo, aunque más simple, el exceso de respuestas de los alumnos que suponen un estado de equilibrio en las cuestiones propuestas, implica otro exceso igual de confusión entre un sistema de fuerzas y su resultante.

La sustitución de las fuerzas por su resultante que realizan los estudiantes, queda patente en las explicaciones del apartado anterior.

LAS FUERZAS SON ACCIONES ENTRE DOS CUERPOS

Aunque se trata de sólo cinco alumnos, se nota una grave deficiencia en la comprensión de las acciones entre los cuerpos y, especialmente, en el entendimiento de la tercera ley de Newton.

Aunque la también llamada ley de la acción y la reacción establece que si un cuerpo ejerce sobre otro una fuerza, éste responde ejerciendo otra fuerza igual y contraria sobre el primero, muchos alumnos consideran la acción y la reacción actuando sobre el mismo cuerpo estudiado.

LAS FUERZAS TIENEN NOMBRES COMUNES

Fuera del caso del empleo del nombre de tensión, se observa que los alumnos pueden recurrir a palabras atípicas para tratar de esconder una falta de comprensión de la presencia o ausencia de fuerzas actuando sobre un cuerpo.

Sobre todo en el Caso 6, de la piedra atada a una cuerda, los alumnos recurren al nombre de fuerza centrífuga para explicar por qué la piedra sigue su trayectoria circular. Pero consideran que se trata de una fuerza que actúa sobre la piedra; no se percatan que, en todo caso, sería la fuerza ejercida por la la piedra sobre la cuerda.

LAS FUERZAS PRODUCEN UN IMPULSO

Aunque los cuerpos considerados han sido sujetos a impulsos, los alumnos que utilizan el término impulso lo hacen inconsistentemente, por un lado, e incorrectamente, por otro.

El alumno 14, que es quien más veces utiliza el término, no lo emplea en las cuestiones 1, 3 y 5. Los otros tres alumnos que recurren a él (20, 21 y 25), sólo lo utilizan en uno de los Casos.

Queda patente, por las expresiones con que explican sus respuestas, que identifican impulso con una fuerza, más que considerarlo como efecto de ésta.

LAS FUERZAS CAUSAN LA ACELERACIÓN

Es completamente cierto en la Mecánica clásica que las fuerzas producen aceleraciones. Y, por tanto, todas las fuerzas que actúan sobre los cuerpos en estudio se podrían relacionar con la aceleración que causan en ellos. Los alumnos, pocos, que tratan de lograrlo, no lo consiguen de ninguna manera; les resulta completamente oscura tal relación.

LAS FUERZAS PRODUCEN UNA ACCIÓN DURADERA

En los Casos de la pelota y el balón, el movimiento se produce por una fuerza que aplican el niño y el jugador, respectivamente. La acción de tales fuerzas se suspende al terminar el contacto entre los cuerpos. Y, en todas las cuestiones, tal acción ha sido ya suspendida.

Llama la atención que gran cantidad de alumnos piensen que las fuerzas iniciales aplicadas por esas personas siga actuando sobre los cuerpos durante todo el movimiento o sobre parte de él. Consideran, por tanto, que las fuerzas no sólo se ejercen por contacto, sino que tienen una acción actual duradera: que siguen estando presentes de alguna manera.

No obstante, muchos alumnos estiman que las fuerzas que causaron el movimiento siguen actuando, pero su intensidad o magnitud disminuye.

Este modo de razonar, sin embargo, no lo aplican a los Casos 3, 4, 5 y 6.

LAS FUERZAS SE RELACIONAN CON LA VELOCIDAD

Otro aspecto notable del examen, es que en la inmensa mayoría de las respuestas a todas las cuestiones se considera que existe una fuerza en la dirección de la velocidad. Lo cual sólo es cierto en la cuestión 3 del Caso 1, en que la pelota lanzada por el niño desciende por la acción de su peso.

Los alumnos, como la generalidad de las personas, identifican movimiento con velocidad; lo cual es bastante lógico y aceptable.

Es posible que las flechas que indican el sentido del movimiento en las figuras de los Casos 3, 4, 5 y 6 del cuestionario hayan podido inducir a ciertos alumnos a elegir opciones que contuvieran fuerzas en esa dirección.

Afirmaciones como “fuerza en dirección del movimiento”, “la única fuerza que actúa es el movimiento” o, en el caso de trayectorias curvilíneas, “fuerza tangencial”, implican que los alumnos identifican fuerza con velocidad.

Algunos alumnos piensan que la fuerza es causa de la velocidad, como se deduce de aseveraciones como “fuerza para que se mueva”.

Otros, en cambio, consideran que la velocidad causa la fuerza, lo cual se aprecia en explicaciones del tipo “fuerza que es a causa de la velocidad”.

Y esta fuerte relación entre fuerza y velocidad se hace patente cuando eligen respuestas en que no hay fuerzas cuando el cuerpo no tiene velocidad.

Esta asociación que la mayor parte de los alumnos establece entre fuerza y velocidad no representa ninguna dificultad mientras estudian Estática, pero se convertirá en fuente de serios problemas cuando cursen Dinámica, ya que entonces los cuerpos en estudio estarán moviéndose. Si se plantea, por ejemplo, el problema de un cuerpo de 50 kg lanzado hacia arriba de un plano liso inclinado 30° , los alumnos dibujarán un diagrama de cuerpo libre como el que se muestra en el inciso *b* de la figura 1; en el inciso *a* se presenta el diagrama correcto.

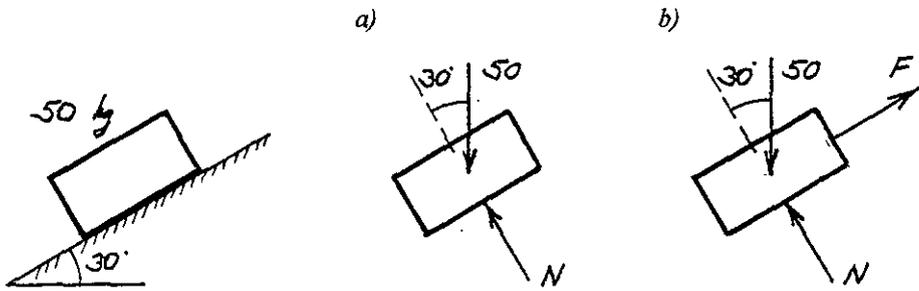


Figura 1

Y, para el problema de un balón de 20 N de peso, arrojado verticalmente hacia arriba con cierta velocidad inicial, que sufre una resistencia R del aire, muchos estudiantes dibujarán el diagrama del inciso *b* de la figura 2. Nuevamente, el diagrama de cuerpo libre correcto es el del inciso *a*.

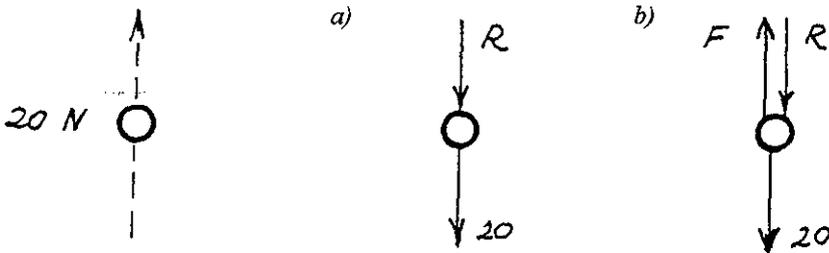


Figura 2

La totalidad de los alumnos que han considerado fuerzas en dirección de la velocidad (fuera de la cuestión 3 del Caso 1) y que son la inmensa mayoría, no tienen en cuenta que las fuerzas son acciones de un cuerpo sobre otro. Pues ¿qué cuerpo es el que produce la fuerza que señalan? También habría que incluir en este supuesto a los que estiman que la trayectoria es la que obliga al cuerpo a moverse de forma determinada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3 Concordancia de algunos rasgos con las notas del concepto científico

Otra de las preguntas que nos habíamos planteado al emprender la presente investigación, se refiere a cuáles de los rasgos identificados sobre las concepciones espontáneas de *fuerza*, que exhiben los alumnos que contestaron el cuestionario, concuerdan con las notas del concepto científico y cuáles no. Para dar una respuesta satisfactoria a esta interrogante, vamos a recurrir al material organizado en el apartado IV.1, sobre las conceptualizaciones de los alumnos, teniendo a la vista un elenco adecuado de los rasgos que se pueden considerar propios de la Mecánica clásica, para poder formular las comparaciones pertinentes.

Las notas que se pueden considerar propias del concepto científico de *fuerza*, conforme a la revisión bibliográfica que hemos realizado (Cfr. II.1), son las siguientes:

1. Fuerza es una acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado, bien sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta.
2. La fuerza centrípeta es aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos, o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia un centro.
3. Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que una fuerza lo obligue a cambiar dicho estado. Los cuerpos en reposo o moviéndose en línea recta con velocidad constante están en equilibrio.
4. El cambio de la cantidad de movimiento es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza y ocurre en la dirección en que se ejerce la fuerza. En otras palabras, la aceleración que sufre un cuerpo es proporcional a la intensidad de la fuerza y tiene la misma dirección que ésta.
5. A toda fuerza o acción se opone otra fuerza igual, o reacción, de sentido contrario.
6. Toda fuerza es producida por un cuerpo sobre otro cuerpo.
7. Todos los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.
8. Resultante de un sistema de fuerzas es una fuerza, o el sistema de fuerzas más simple, que pueda producir los mismos efectos externos sobre el cuerpo en el que dicho sistema de fuerzas actúa.
9. La resultante de dos fuerzas concurrentes es la que se puede dibujar a escala en la diagonal del paralelogramo formado por dichas fuerzas, y cuya línea de acción pasa por el punto de concurrencia de aquéllas.
10. La resultante de un sistema de fuerzas en equilibrio es nula.

11. El peso es la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos. Se llama también fuerza de gravedad.

12. Las fuerzas pueden producirse por el contacto entre dos cuerpos. Las fuerzas de gravedad y las electromagnéticas se producen a distancia, es decir, no requieren de contacto entre los cuerpos.

13. Energía es la capacidad de los cuerpos de producir trabajo. O sea, de mover a otros cuerpos.

14. Impulso de una fuerza constante es el producto de la magnitud de la fuerza por el tiempo en que actúa. En el caso de fuerzas de tamaño variable, se calcula tomando intervalos de tiempo infinitamente pequeños.

15. Por aceleración se entiende la razón del cambio de velocidad al tiempo. El cambio de la velocidad puede ser de magnitud, de dirección, o de ambas simultáneamente.

16. La fuerza que tiende a alargar la longitud de un cuerpo se llama tensión. Recibe el mismo nombre el esfuerzo correspondiente. Compresión se denominan tanto la fuerza como el esfuerzo por los que se tiende a acortar la longitud de un cuerpo.

Una vez caracterizadas las fuerzas, desde el punto de vista científico, podemos proceder a comparar las conceptualizaciones de los alumnos que participaron en la investigación, tanto con el cuestionario escrito como en la entrevista. Conviene tener en cuenta que los cuerpos considerados en los seis Casos del cuestionario están sujetos a la acción de fuerzas, algunas por contacto y otras a distancia; que ninguno de ellos está en equilibrio y, por tanto, todos están sufriendo una cierta aceleración en todos los instantes de su movimiento, y que los seis cuerpos recibieron un impulso antes de encontrarse en las situaciones sobre las que se formularon las preguntas.

LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD, O DE ATRACCIÓN DE LA TIERRA, ES UNA FUERZA

La piedra lanzada por el niño, en el Caso 1, queda sujeta exclusivamente a la fuerza causada por la gravedad de la Tierra, la cual provoca que la velocidad inicial de la piedra se vaya reduciendo hasta lograr que se detenga a cierta altura, y que luego regrese al punto de partida aumentando su rapidez. El balón arrojado por el jugador del Caso 2, también queda sujeto exclusivamente a la acción de la gravedad durante todo su movimiento; puesto que se desprecia la resistencia del aire, ninguna fuerza altera la componente horizontal de la velocidad, que permanece constante durante todo el trayecto. Por tal razón, en el punto más alto de su trayectoria su velocidad es mínima, e igual a dicha componente horizontal.

En el Caso 3, la Luna está describiendo una trayectoria circular gracias a la fuerza de gravedad de la Tierra, que es la única que actúa. La gravedad es, en este caso, una fuerza centrípeta, cuyo centro es el centro de la Tierra.

Los cuerpos de los Casos restantes, el péndulo simple, el péndulo cónico y la honda también están experimentando la atracción de la Tierra, pero no es la única fuerza que actúa sobre ellos; las cuerdas están ejerciendo una fuerza adicional.

Que la acción de la gravedad sea una fuerza es, pues, una conceptualización que concuerda con el concepto científico. Y es una conceptualización muy frecuente entre los alumnos. Sin embargo, algunos de ellos supusieron que la fuerza de la gravedad no actuaba en diversas posiciones de los cuerpos, por ejemplo, sobre la pelota lanzada por el niño mientras ascendía y, sobre todo, al llegar al punto más alto. Quizá esto se deba a que los estudiantes no supieran explicar por qué la pelota se detiene. Pensamiento muy semejante se presentó respecto al balón lanzado hacia la canasta, durante su elevación.

EL PESO ES UNA FUERZA

Hemos dicho arriba que por *peso* se entiende la fuerza de atracción, o de gravedad, que la Tierra ejerce sobre otros cuerpos. *Peso*, por tanto, es lo mismo que fuerza de gravedad. Aunque la conceptualización del peso como una fuerza es científicamente correcto, hemos de notar, sin embargo, que la generalidad de los alumnos no identifica peso y fuerza de gravedad.

Todo lo que dijimos en el apartado anterior acerca de la atracción de la Tierra, queda incluido en esta preconcepción, pero conviene tener presente que, en el caso de varios estudiantes, además de no percibir la sinonimia que acabamos de señalar, consideran que el peso es una propiedad intrínseca de los cuerpos: no llegan a entender que se trata de una acción de la Tierra.

Tendríamos que llamar la atención también sobre otro punto. La Luna se mueve en su órbita por la atracción de la Tierra, es decir, por su peso; pero ningún alumno llama así a esa acción.

LAS FUERZAS SON ACCIONES ENTRE DOS CUERPOS

Los cuerpos de los Casos del cuestionario están sujetos a fuerzas causadas necesariamente por otros cuerpos. La pelota lanzada por el niño, al peso, causado por la Tierra, lo mismo que el balón, la Luna, los péndulos y la piedra. Los péndulos y la piedra también están sujetos a una tensión ocasionada por las cuerdas que los mantienen en sus trayectorias. Y nada más.

Otra de las preconcepciones de los alumnos se refiere a que las fuerzas son acciones entre dos cuerpos, tal como lo pone de manifiesto la tercera ley de Newton. Concuerdan claramente con las notas científicas las consideraciones de que las cuerdas de los péndulos y de la honda son cuerpos que ejercen fuerzas sobre otros. Asimismo, que el peso es una acción de la Tierra.

No obstante, hay alumnos que, deseando aplicar la tercera ley de Newton, piensan que la acción y la reacción se dan en el mismo cuerpo, lo cual es imposible. Si una cuerda jala una piedra —acción—, la piedra jala simultáneamente a la cuerda —reacción—.

Aunque se reconoce en muchas ocasiones la acción mutua de los cuerpos, en otras no. Hay muchas respuestas en que se supone la acción de fuerzas que no son causadas por ningún cuerpo. Sobre todo cuando los alumnos añaden fuerzas en dirección de la velocidad. Se trata de fuerzas que se tendrían que suprimir al intentar contestar a la pregunta ¿qué cuerpos las ejercen?

Un punto que quedaría pendiente sería saber si un estudiante podría decir cuál es la reacción correspondiente al peso de un cuerpo; si sería capaz de afirmar que si la Tierra jala a un balón —acción—, entonces el balón jala a la Tierra —reacción—.

NOMBRES DE LAS FUERZAS

Tensión y fuerza centrípeta

En tres de los seis Casos del cuestionario, aparece la acción de cuerdas que producen una tensión sobre los cuerpos en estudio. La tensión que ejerce el hilo sobre la piedra atada a él, en el Caso 6, es una fuerza centrípeta. También es una fuerza centrípeta la atracción de la Tierra que sufre la Luna.

En las respuestas al cuestionario, muchos alumnos denominaron a las fuerzas con algunos nombres comunes. Son correctos, conforme al uso científico, los nombres de tensión y de fuerza centrípeta. La palabra tensión lo emplearon frecuentemente los estudiantes para referirse a la acción de las cuerdas sobre los péndulos y a la del hilo sobre la piedra, que son, en efecto los únicos casos en que existe una tensión en los problemas del cuestionario. También algunos estudiantes se refirieron a la fuerza centrípeta correctamente.

Fuerza centrífuga

El nombre de fuerza centrífuga (de *centrum* y *fugere*) es científicamente correcto en los casos en que una acción tiende a alejar al cuerpo de un punto, como de su centro. Sin embargo, su empleo es poco frecuente, ya que este tipo de fuerzas no representa una situación especial, como en el caso de la fuerza centrípeta. La utilización de este nombre por parte de los alumnos es poco frecuente y, aunque algunos, atinadamente, saben que se trata de una fuerza que debe tender a alejar al cuerpo de su centro, otros lo entienden mal, pues creen que su dirección debe ser tangente a la trayectoria. Lo que es claro es que ninguno de los cuerpos de los Casos del cuestionario está sujeto a una fuerza centrífuga.

Peso, acción, reacción y fuerza normal

Los nombres de peso, acción, reacción y de fuerza normal, que son de procedencia científica, fueron empleados por los alumnos, a veces correcta, a veces incorrectamente. Lo relativo a la concepción de peso (y de fuerza de gravedad) está tratado más arriba con suficiente amplitud. También hemos hablado suficientemente de los nombres de acción y reacción en el apartado de *acciones entre dos cuerpos*; pero quizá convenga aclarar que cuando se habla de reacción, se está pensando antes en una acción del cuerpo en estudio sobre otro.

En el lenguaje científico se llama normal a una recta o vector que es perpendicular a cierta dirección. En Mecánica, por fuerza normal se entiende aquella cuya dirección es ortogonal a una superficie de contacto entre dos cuerpos, o bien a la tangente a la trayectoria del cuerpo en estudio.

LAS FUERZAS CAUSAN LA ACELERACIÓN

Aunque la palabra aceleración no se utilizaba en tiempos de Newton, en la actualidad posee un contenido científico muy preciso. La diferencia quizá más importante entre la Mecánica clásica y la pregalilea consiste en que según ésta las fuerzas producen velocidades, según aquella aceleraciones; lo que Newton establece con su segunda ley, es que a toda fuerza corresponde un cambio de velocidad.

Los cuerpos de los seis Casos del cuestionario sufren aceleración. La pelota lanzada por el niño y el balón arrojado por el jugador, de los Casos 1 y 2 respectivamente, tienen una aceleración cuya dirección se dirige hacia el centro de la Tierra. La aceleración de los otros cuatro cuerpos está dirigida hacia el centro de su trayectoria circular.

Algunos estudiantes intentaron relacionar las fuerzas con la aceleración, pero no pudieron superar dos de las dificultades que esto lleva consigo. Por un lado, no es fácil determinar mediante la sola observación la dirección de la aceleración de los cuerpos, pues no se "ve", como sí se "ve" la velocidad. Por otro, saber que la aceleración de un cuerpo lleva la dirección de la resultante del sistema de fuerzas que actúa sobre él, no la de una fuerza particular.

Hasta aquí hemos declarado cuáles de las concepciones de los alumnos coinciden con los conceptos científicos actuales, aunque, como se ha visto, no haya una conformación plena. A continuación señalaremos las diferencias más importantes entre las ideas con que los alumnos seleccionados han accedido al curso de Estática y los conceptos científicamente correctos.

Concepciones cuyos rasgos no concuerdan con las notas del concepto científico

Nuestra investigación ha pretendido lograr conocer algunos aspectos de la situación de los conocimientos de los alumnos que comienzan los cursos de Mecánica clásica. Y si es importante estar al tanto de aquellos conceptos, podríamos decir, correctos sobre los cuales fundar los nuevos conocimientos, es igualmente importante, o más, saber qué concepciones erróneas se podrán convertir en posibles obstáculos para adquirir la formación científica propia de un ingeniero.

LAS FUERZAS SON MANIFESTACIÓN DE LA ENERGÍA DE LOS CUERPOS

Siendo la energía, en cualquiera de sus formas, cinética, potencial, etc., una capacidad de los cuerpos, la identificación de las fuerzas que actúan en cierto instante es completamente inde-

pendiente de ella. En todas las ocasiones en que apareció la palabra energía, su empleo fue incorrecto, y se puede deducir que el concepto de energía que poseen los alumnos que la utilizaron también lo es.

LAS FUERZAS TIENDEN A LOGRAR UN EQUILIBRIO

Como ya señalamos, todos los cuerpos considerados en el cuestionario sufre una aceleración. Por tanto, no están en equilibrio.

Conforme a la primera ley de Newton, para que un cuerpo esté en equilibrio se requiere que se encuentre en reposo o que tenga movimiento rectilíneo uniforme. Tanto el reposo como el movimiento rectilíneo uniforme son estados, es decir, situaciones estables de los cuerpos.

Quando los alumnos en sus explicaciones hablan de reposo de alguno de los cuerpos de los Casos, cometen en general uno de dos errores. Uno, considerar que el hecho de que un cuerpo se detenga instantáneamente signifique que esté en reposo. Otro, que los cuerpos que se mueven en trayectorias circulares con velocidad de magnitud constante estén en equilibrio.

En la Mecánica anterior a Galileo y a Newton, en que se consideraba que las fuerzas causaban las velocidades, quizá fuera lógico pensar que sería nula la resultante del sistema de fuerzas que actuara sobre un cuerpo cuya velocidad fuera nula. Otra idea que sostenían algunos sabios de entonces era que el movimiento circular de los astros en el cielo era natural y que no requería de fuerzas para conservarse; podríamos inferir, por tanto, que consideraban en equilibrio a los cuerpos con movimientos circulares.

LAS FUERZAS SON LO MISMO QUE SUS RESULTANTES

Sin duda el concepto de resultante de un sistema de fuerzas es muy importante en los estudios de Mecánica clásica. De hecho, casi la mitad del programa del curso de Estática está dedicado a la determinación de resultantes de diversos sistemas de fuerzas, las cuales pueden reducirse siempre a una sola fuerza, a un par de fuerzas o a una fuerza y un par de fuerzas. Pero es difícil que antes de llegar a su curso de Estática los alumnos posean claro el concepto y más que estén en condiciones de llegar a discernir las características de la resultante de un sistema de fuerzas concreto, por simple que sea.

En los tres primeros Casos del cuestionario, los cuerpos están sujetos a la acción de una sola fuerza y ella es, lógicamente, una fuerza resultante, puesto que no existe otro sistema de fuerzas más simple que sea capaz de producir los mismos efectos externos. En los tres Casos restantes, la fuerza resultante se encuentra alojada en el plano del movimiento y dirigida hacia el centro de la trayectoria.

Ninguno de los alumnos que participaron en la investigación se refiere correctamente a la resultante del sistema de fuerzas que actúa sobre los cuerpos considerados. Es especialmente

errónea la idea de que la resultante de las fuerzas que actúan sobre la piedra atada al hilo tenga una dirección tangente a la trayectoria.

Es frecuente que los estudiantes consideren que las fuerzas son realidades abstractas. Por ello tienden a sustituir la realidad física, la acción de un cuerpo sobre otro, que es la fuerza, por la resultante.

LAS FUERZAS PRODUCEN UN IMPULSO

Es innegable que el impulso es producido por una fuerza. Además, los seis cuerpos del cuestionario recibieron un impulso para alcanzar las condiciones sobre las que se formulan las preguntas.

El error más frecuente de los alumnos acerca del impulso, es identificarlo con las fuerzas.

LAS FUERZAS PRODUCEN UNA ACCIÓN DURADERA

Los antiguos tuvieron muchas dificultades para explicar por qué una esfera lanzada sobre una superficie horizontal continuaba moviéndose una vez retirada la mano que la empujó. Muchos quisieron explicarlo atribuyendo diversas afecciones al aire circundante. Más tarde se ideó la ley del *impetus*. Pero veían la necesidad de la permanencia de una fuerza. No fue sino Galileo quien pensó en la inercia, es decir, en la incapacidad de la esfera para alterar por sí misma su estado movimiento rectilíneo uniforme.

En muchas de las respuestas y de las explicaciones que se dieron al cuestionario, parece revivir la idea de que es necesario que haya una fuerza que empuje constantemente a los cuerpos mientras se estén moviendo. O, mejor dicho, que la fuerza que el niño aplicó al aventar la pelota sigue actuando mientras ésta asciende. Lo mismo pasaría con la acción del jugador sobre el balón de basket.

Niegan así algunos estudiantes que al retirarse el contacto entre los cuerpos termine su acción mutua, se acabe la fuerza.

LAS FUERZAS SE RELACIONAN CON LA VELOCIDAD

El problema de los antiguos para explicar el movimiento rectilíneo de la esfera de que hablamos en el apartado anterior, es consecuencia de la idea de que las fuerzas causan la velocidad; incluso, que la fuerza es proporcional a la velocidad y tiene su misma dirección.

En su segunda ley, Newton afirma que la fuerza es proporcional al cambio de la cantidad de movimiento y tiene su dirección. O sea las fuerzas y las velocidades están íntimamente relacionadas, pero no conforme a la Mecánica medieval. Por cantidad de movimiento se entiende el producto de la masa del cuerpo por su velocidad, por tanto el cambio de la cantidad de movi-

mento implica un cambio de velocidad. En otras palabras, las fuerzas producen cambios de velocidad: por la acción de una fuerza un cuerpo pasa de no tener velocidad a tenerla, o de tener poca a tener mucha velocidad; o de tener velocidad en una dirección a tenerla en otra.

Una concepción fuertemente exhibida por los alumnos seleccionados es la de que las fuerzas están relacionadas con la velocidad. Pero la mayor parte de las veces la relación que establecen es de causa-efecto y, por tanto, errónea. Es clara la tendencia a pensar que existe una fuerza en dirección de la velocidad, la cual es tangente a la trayectoria. En el Caso 1, de la pelota en su ascenso, muchos consideraron que había una fuerza ascendente, en el 2, una fuerza tangente a la trayectoria del balón, y otras tantas también tangentes a las trayectorias de la Luna, los péndulos y la honda.

En otros casos se considera la relación inversa: que la velocidad es causa de la fuerza.

Otra relación falsa de fuerza con velocidad es la que asocia fuerza nula con velocidad nula, como vimos en el apartado correspondiente al equilibrio.

IV.4 Conceptos con que se relacionan las concepciones espontáneas

La cuarta pregunta de investigación, ¿con qué otros conceptos de la Mecánica relacionan los estudiantes su concepción espontánea de fuerza?, muestra los conceptos que aparecen en las explicaciones de los alumnos y constituyen parte los recursos intelectuales de los estudiantes para justificar sus respuestas. Aunque no son muchos, y algunos ya los hemos comentado en los capítulos anteriores, deseamos completarlos y ordenarlos en este lugar para facilitar el conocimiento de las concepciones espontáneas de los alumnos.

GRAVEDAD

El vocablo gravedad los utilizan muchas veces los alumnos en sus explicaciones. Su concepción es generalmente correcta, aunque con frecuencia no identifiquen fuerza de gravedad con peso. Pocos perciben que *grave* es lo mismo que *de peso* o *pesado*.

TRAYECTO Y TRAYECTORIA

Las palabras trayecto o trayectoria son utilizadas con frecuencia por los alumnos, tanto los que contestaron por escrito como los entrevistados oralmente. Con ellas se refieren a la línea que describen las partículas al moverse. Alguna vez piensan que es la que ocasiona que el móvil se mueva en determinada forma.

CUERPO

El concepto de cuerpo es muy general y su uso muy amplio. En la presentación del cuestionario se empleó la palabra cuerpo. No parece que exista ninguna dificultad en su comprensión. No obstante, sospechamos que, precisamente por su generalidad y su frecuente empleo, pocos alumnos sean capaces de dar una definición apropiada.

MAGNITUD

Aunque en el cuestionario sólo se pedía identificar las fuerzas que actuaban sobre los cuerpos, varios alumnos se refirieron a la magnitud de las fuerzas para dar sus explicaciones. Todo parece indicar que los estudiantes saben que la magnitud, tamaño, o intensidad de una fuerza es una de sus características. Alguna vez se refieren a ella con las expresiones “más fuerza que...”, o “es más fuerte que...”

DIRECCIÓN

En la presentación del cuestionario se pide explícitamente señalar la dirección de las fuerzas. Los alumnos se refieren con corrección a dicha dirección en sus explicaciones. Se trata, y así los entienden ellos, de otra de las características de una fuerza. Inclusive, no parece haber dificultad alguna para diferenciar dirección y sentido: dicen, por ejemplo, “vertical, hacia arriba”, u “horizontal, hacia la izquierda”, etc. y aun “la misma dirección, pero sentido contrario”.

POSICIÓN

En los enunciados de los Casos se habla de la posición de los cuerpos. Los alumnos en sus respuestas utilizan con frecuencia esa misma palabra y saben que es el lugar que ocupa el cuerpo.

ENERGÍA CINÉTICA Y POTENCIAL

En los capítulos anteriores hemos hecho referencia al empleo de la palabra energía. No obstante, queremos hacer notar que, en varias ocasiones, los alumnos no sólo piensan en energía en general, sino que la califican de cinética o de potencial. Su comprensión de estos conceptos dista mucho de ser correcta.

COMPONENTE

Cuando se piensa en resultantes, es frecuente llamar componentes a las fuerzas que forman un sistema. Lo más usual es dar el nombre de componentes a las dos fuerzas ortogonales que producen los mismos efectos externos que cierta fuerza. Igualmente, es común llamar componentes de un vector a aquéllos que sumados dan éste.

En las explicaciones de los alumnos, se recurre a este concepto algunas veces, refiriéndose a las fuerzas. Aunque un alumno emplea la misteriosa expresión “componentes del movimiento circular”.

MOMENTO

El concepto de momento es muy amplio en la Mecánica clásica. Existe el momento de una fuerza, el momento lineal, el momento angular; los momentos estáticos del peso, de la masa, del volumen, de la superficie, de la línea; y los momentos de inercia, o segundos momentos, del peso, la masa, el volumen, la superficie y la línea.

Varios alumnos utilizan la palabra momento en sus explicaciones. Pero tal uso no conviene en esos lugares.

INERCIA

La primera ley de Newton también recibe el nombre de ley de la inercia. Etimológicamente significa "incapacidad". Por inercia se entiende en Mecánica la oposición de un cuerpo a cambiar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme; es proporcional a la masa.

Algunos alumnos, pocos, utilizaron este vocablo en sus respuestas. Tendrían que haberla empleado con más frecuencia para explicar por qué los cuerpos conservan su movimiento.

IV.5 Otros recursos de los estudiantes para la explicación de fuerza

Explicar las causas del movimiento de los cuerpos ha sido una de las preocupaciones del hombre desde el comienzo de las ciencias. La quinta pregunta de investigación pretende justamente tratar de saber qué tipo de explicaciones pueden darse a tal fenómeno, sin recurrir a los conceptos propios de la Mecánica, y reza de la siguiente manera: ¿qué otros recursos emplean los alumnos para la explicación de fuerza?

Los primeros filósofos griegos, muy en particular Heráclito y Parménides, trataron de investigar, ya en el siglo V antes de J. C., qué era el movimiento y cuál era su causa. Entre los partidarios de unos y de otros hubo grandes polémicas, por ejemplo en torno a las aporías de Zenón de Elea, discípulo de Parménides (Cfr. Gamba, 1961). El tema del movimiento fue siempre un tema importante de la antigua Cosmología. A pesar de que el interés primordial de la Filosofía está centrado en las causas remotas, los filósofos griegos intentaron también conocer las causas próximas. Y si sobre aquéllas pudieron dar respuestas muy completas, no así acerca de éstas.

La noción de movimiento es muy común y generalizada. El interés por todo aquello que se mueve es prácticamente universal. Pensemos, por ejemplo, en los juguetes de los niños, en los juegos mecánicos de las ferias, en los automóviles de los jóvenes y de los adultos; en el afán por volar que tiene el hombre de hoy y que tuvo el hombre de los pasados siglos, así como el interés por viajar de un lugar a otro, independientemente de las necesidades comerciales: en la afición a los deportes, tanto como diversión cuanto como espectáculo, etc.

Sin embargo, el entendimiento de cómo las fuerzas causan el movimiento es un conocimiento muy complejo. Los alumnos que participaron en la investigación, para tratar de explicarlo recurrieron a muchos conceptos de la Mecánica, pero también a otras ideas, ajenas o no a dicha ciencia, cuya clasificación no hemos podido completar en los capítulos anteriores. Una pregunta de investigación que nos planteamos es precisamente acerca de qué tipo de recursos adicionales recurren los alumnos en sus explicaciones. Para mostrarlos, seguiremos el orden de los Casos del cuestionario.

Caso 1

En la primera cuestión del Caso 1 un alumno habla de anulación de las fuerzas. El alumno Carrasco, en la entrevista, sostiene que hay una fuerza que rompe la fuerza de gravedad.

En la cuestión 2, otro estudiante considera que la gravedad es una resistencia al movimiento. Uno más piensa que la fuerza disminuye a cero, refiriéndose a una fuerza que ni siquiera existe.

Otro explica que la atracción de la gravedad se da entre el centro de la Tierra y la pelota, al contestar a la cuestión 3. Señala otro estudiante que una vez que la pelota alcanza su altura máxima comienza una caída libre —la consideración es correcta—. Otro alumno piensa que la

pelota pierde fuerza y la recupera, a pesar de que no hay ninguna acción de un cuerpo que la ejerza. Y, por fin, un estudiante explica que la energía potencial de la pelota se transforma en energía cinética. Esta última es una explicación correcta también, pero fuera del contexto de la pregunta.

Caso 2

El alumno 10, en la cuestión 1, afirma que existe la dirección en que fue lanzada, para justificar la presencia de una fuerza tangente a la trayectoria del balón. Algo semejante dice el alumno 18: “lleva una dirección inclinada”. El alumno 8 elige la opción *d* (una sola fuerza en dirección tangente a la trayectoria) y explica que la caída del balón es consecuencia de la primera fuerza aplicada. El alumno 22 afirma que el balón toma un estado de movimiento uniforme.

En la cuestión 2 nuevamente hay alumnos que hablan de anulación o de reducción de las fuerzas. El alumno 17 afirma que “vuelve a entrar la energía cinética”.

La idea que la fuerza se vaya reduciendo, se recobre o se anule reaparece en la cuestión 3.

Caso 3

En el Caso de la Luna, el alumno 4 escoge la respuesta *d*, en que aparecen tres fuerzas: una hacia la Tierra, otra en sentido contrario y otra tangente a la trayectoria. Su explicación es que “al darle vueltas a una cubeta con agua esas con la fuerzas que se aplican, que es lo mismo que sucede con la Luna”.

Un estudiante, el 8, que elige la opción *a* (dos fuerzas colineales de sentido contrario) afirma que la Luna presenta una tendencia a girar, por encontrarse las fuerzas en equilibrio. Otro explica que si las fuerzas no estuvieran en equilibrio, la Luna tendería a subir o bajar.

Uno de los alumnos entrevistados oralmente intenta recurrir al movimiento de la Tierra alrededor del sol para explicar el movimiento de la Luna.

Caso 4

En la cuestión 1 del Caso del péndulo simple, cierto alumno considera que actúan sobre él tres fuerzas (opción *d*), pero afirma que una de ellas es la que lo obliga a cambiar de posición. Parecería considerar el alumno que las otras dos no intervinieran en el movimiento.

Caso 5

En el Caso del péndulo cónico, un alumno señala que, además de otras fuerzas, el cuerpo sufre “la dirección tangencial al círculo”.

Llama la atención que el alumno 12 diga que el peso sea perpendicular a la horizontal. ¿Por qué no dice que es vertical? ¿Podría el alumno definir horizontal?

Nuevamente el alumno 8 explica que como las fuerzas están en equilibrio el péndulo tiende a girar.

Caso 6

En la cuestión 1 del Caso de la honda un alumno explica que al estar las fuerzas en equilibrio, la piedra sigue la trayectoria.

Varios alumnos, tanto por escrito como en la entrevista, en sus explicaciones afirma que la piedra trata de escapar de su trayectoria circular.

Y en la cuestión 3 el alumno 21 afirma que sobre la piedra actúa, entre otras, la fuerza de la dirección.

IV.6 Dificultades en la identificación de las fuerzas

En la identificación de fuerzas, ¿cuáles son las dificultades más notorias? Es la última pregunta de investigación que nos hemos planteado.

Si los estudiantes tuvieran claro y distinto el concepto de fuerza en sus mentes, les resultaría muy sencillo reconocer la presencia de las fuerzas que actuaran sobre los cuerpos. No se ha de perder de vista que las fuerzas son realidades físicas, tan perceptibles, que pueden hasta alterar el movimiento de los cuerpos. Pero a causa de las confusiones sobre la naturaleza específica de las fuerzas, los alumnos hallan serias dificultades para saber qué fuerzas se encuentran actuando sobre un determinado cuerpo y, más todavía, cuáles son las características de tales fuerzas.

En el cuestionario que se aplicó a los alumnos para la investigación, hay dos tipos fundamentales de dificultad. Por un lado, omitir fuerzas que ciertamente están actuando sobre los cuerpos considerados; y, por otro, añadir fuerzas que de ninguna manera actúan sobre ellos.

La omisión de fuerzas es mucho menos frecuente que la adición. En las respuestas escritas del cuestionario se eligieron 86 respuestas en que faltaba alguna de las fuerzas y 228 respuestas en las que sobraban fuerzas actuando sobre los cuerpos. Damos este dato numérico por su elocuencia y por la facilidad con que pudo obtenerse, no porque tengamos algún interés estadístico en esta investigación.

Cuatro son las posiciones de cuerpos de los Casos en que con más frecuencia se eligieron opciones en que faltaba alguna fuerza. En primer lugar, la llegada al punto más alto de la trayectoria de la pelota lanzada verticalmente por el niño. En segundo, el balón de basketbol en el vértice de su trayectoria parabólica. Después, la posición más baja del péndulo simple. El último caso de omisión fue la piedra atada al hilo al alcanzar el punto más alto de la circunferencia. En estas cuatro posiciones generalmente se omitió el peso, pero también hubo omisiones de las tensiones causadas por las cuerdas, sobre todo cuando los alumnos consideraron al cuerpo en equilibrio y eligieron la opción en que no aparecía ninguna fuerza.

En el Caso de la Luna, el Caso 3, ninguno de los alumnos participantes omitió la acción de la gravedad de la Tierra.

Las fuerzas añadidas, las superfluas, son fundamentalmente de dos tipos.

En los movimientos circulares varios alumnos dibujaron fuerzas que llamaron centrífugas. Algunos las dibujaron en dirección opuesta al centro de la trayectoria, pero otros en dirección tangente a ésta.

Sin duda, la fuerza sobrante más elegida fue la que lleva la dirección de la velocidad, es decir, vertical hacia arriba en el ascenso de la pelota del Caso 1, o tangente a la trayectoria en los demás Casos, en que la trayectoria es curvilínea. Quizá tengamos aquí uno de los conceptos que históricamente tuvieron más persistencia a lo largo de los siglos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 A modo de resumen

El objeto principal del presente trabajo de investigación fue conocer las conceptualizaciones acerca de la fuerza con que acceden los alumnos de la Facultad de Ingeniería a sus cursos de Mecánica clásica, particularmente al curso de Estática. Para ello nos planteamos varias preguntas a las que hemos contestado en el capítulo anterior.

Las preguntas de investigación a que nos referimos fueron las siguientes. En primer lugar, qué conceptualizaciones acerca de la fuerza exhibían los alumnos al acceder a los cursos de Mecánica de la Facultad. Inmediatamente después, cuáles eran los rasgos más importantes de esas conceptualizaciones. También nos preguntamos qué tanto coincidían esos rasgos con el concepto científico. Una vez introducidos en tal investigación, también nos formulamos la cuestión de qué tipo de recursos intelectuales empleaban los alumnos para tratar de explicar las respuestas que dieron a las tareas que les propusimos. Finalmente, quisimos saber en dónde radicaban las dificultades de nuestros estudiantes en la detección de las fuerzas.

Después de la revisar la bibliografía relativa a las ciencias cognitivas, al concepto de fuerza y a la psicología y pedagogía conectada con nuestro tema, procedimos a la elaboración de un cuestionario que nos permitiera recoger las ideas de los alumnos acerca de las fuerzas. El cuestionario lo aplicamos primero por escrito a un grupo de alumnos de la materia de Estática, que es la primera de las materias correspondientes a la Mecánica clásica, y luego oralmente a dos alumnos de la misma materia de un curso posterior.

Las respuestas y las explicaciones del cuestionario las ordenamos sistemáticamente para generar un elenco de las concepciones espontáneas que exhibieron los alumnos. A continuación señalamos sus rasgos más recurrentes y las notas centrales de tales conceptualizaciones. Más adelante comparamos los rasgos de los conceptos espontáneos de los alumnos con las notas del concepto científico. Otro aspecto que estudiamos fue el relacionado con los recursos que emplearon los estudiantes para explicar sus respuestas a los problemas planteados. Y, por último, señalamos algunas de las posibles causas por las que los alumnos tuvieron dificultades al identificar las fuerzas que actuaban sobre los cuerpos que se consideraron.

Las concepciones espontáneas que encontramos fueron las siguientes: la acción de la gravedad, o de atracción de la Tierra, es una fuerza; el peso es una fuerza; las fuerzas son manifestación de la energía de los cuerpos: las fuerzas tienden a lograr un equilibrio; las fuerzas son lo mismo que sus resultantes; las fuerzas son acciones entre dos cuerpos; se da nombres comunes a ciertas fuerzas, por ejemplo tensión, fuerza centrípeta, fuerza centrífuga, fuerza de empuje, fuerza tangente o tangencial, fuerza par, componente y fuerza binormal; las fuerzas producen impulso, las fuerzas causan la aceleración; las fuerzas producen una acción duradera, y las fuerzas se relacionan con la velocidad. De cada una de éstas especificamos los rasgos de su contenido, y procedimos a compararlos con los de los conceptos científicos.

Concuerdan con el concepto científico sobre todo las siguientes conceptualizaciones: que la gravedad, o peso de los cuerpos, es una fuerza; que las fuerzas son acciones entre dos cuerpos; son apropiados nombres como tensión y fuerza centrípeta; las fuerzas producen un impulso, y que las fuerzas causan la aceleración. En cambio, no resultan del todo coincidentes las siguientes: que las fuerzas sean manifestación de la energía de los cuerpos; tiendan a lograr un equilibrio; sean lo mismo que sus resultantes; produzcan una acción duradera, o sean causantes de la velocidad.

La mayor parte de las orientaciones didácticas que propondremos al final de este trabajo pretenden corregir, en la medida en que lo vemos posible, los rasgos erróneos más frecuentes que hemos detectado en las distintas conceptualizaciones,

V.2 Limitaciones del estudio y recomendaciones

En el intento por conocer los distintos conceptos que tienen los alumnos de la Facultad de Ingeniería que acceden a los cursos de Mecánica, hemos elegido, aleatoriamente, un grupo de alumnos, por un lado, y a un par de alumnos de un grupo distinto, por otro. A aquéllos les hemos aplicado el cuestionario por escrito, con éstos hemos tenido una entrevista.

La información que hemos obtenido a partir de nuestra investigación no puede extrapolarse sin más para toda la población estudiantil, incluso de la Facultad. Los resultados tienen un valor orientativo y se encuentran en la línea de otros estudios realizados anteriormente, como los que mencionamos en los antecedentes (*Cfr.* I.5). Debe reconocerse, sin embargo, que lo que hemos conseguido es un conocimiento más próximo del estado cognoscitivo de los alumnos con los que trabajamos cotidianamente.

Por otro lado, el Cuestionario contiene sólo seis Casos. Tales Casos también han sido seleccionados entre los millares de otros posibles. Aunque nos han permitido contrastar las respuestas de unos y otros alumnos, detectar los rasgos centrales, compararlos con los conceptos científicos, etc., quizá otros problemas nos hubieran llevado por otros derroteros.

Es claro que hay tipos de fuerzas que no están considerados en el Cuestionario; por ejemplo, las fuerzas de fricción, que se generan entre dos superficies en contacto que tienden a deslizarse entre sí; ni las fuerzas entre un cuerpo en movimiento dentro de un fluido, ni las causadas por un cuerpo elástico, ni otras muchas que, como éstas, aparecen con frecuencia en los problemas de Mecánica. Desde luego, su inclusión hubiera significado una elaboración muchísimo más compleja de esta investigación.

Hubiéramos deseado estar en condiciones de elaborar un esquema sobre el pensamiento de los alumnos acerca de las fuerzas y su relación con el movimiento de los cuerpos; es decir, querríamos haber podido retratar la estructura cognitiva de los estudiantes. Sin embargo, nos ha resultado absolutamente imposible apropiarnos cabalmente de su modo de pensar, tanto por las

limitaciones de los instrumentos, cuanto porque sus afirmaciones, al no coincidir con la realidad, carecen de consistencia interna.

No quisiéramos dejar de mencionar dos pequeños defectos del cuestionario que quizá hayan podido influir negativamente en su contestación. En cuatro de los dibujos de las Casos, del 3 al 6 inclusive, se incluye una flecha, en forma de arco de circunferencia, para indicar el sentido del movimiento. Es posible que esa flecha haya inducido a más de un alumno a pensar que se requería una fuerza en esa dirección. Por otra parte, el dibujo del péndulo cónico, Caso 5, está en perspectiva, y también están en perspectiva las opciones propuestas como respuestas, pero no son del todo claras las figuras ni las direcciones de las fuerzas que ahí se muestran; quizá hubiera sido mejor dibujar en cada una de las opciones la trayectoria completa del péndulo.

Respecto a la realización de la entrevista, hemos de señalar que consideramos que pudo haber sido mucho más ilustrativa. Primero, eligiendo mejor a los alumnos, en vez de haberlos escogido aleatoriamente. Después, entrevistándolos por separado, de modo que el pensamiento de uno no influyera tanto en el del otro. Y, también, consiguiendo, por medio de las preguntas del profesor, profundizar más en el pensamiento de los entrevistados.

V.3 Orientaciones didácticas

No fue objeto de esta tesis elaborar una propuesta didáctica para la enseñanza de las materias de Mecánica clásica. Sin embargo, los resultados pueden sugerir orientación sobre algunos puntos en los que convendría insistir en las clases, puesto que la finalidad del conocimiento de las concepciones espontáneas de los alumnos no es otra que la de mejorar la enseñanza.

DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE

Con objeto de que los alumnos se familiaricen con el hecho de que las fuerzas son acciones entre dos cuerpos, consideramos importante que el profesor cuide la enseñanza de la elaboración de los diagramas de cuerpo libre.

La resolución de los problemas de las materias de Estática y Dinámica exige la elaboración de los llamados diagramas de cuerpo libre. Se trata de dibujos que representan al cuerpo en estudio, aislado de los demás, con sus características geométricas, y las fuerzas externas que actúan sobre él. Con el diagrama de cuerpo libre a la vista se pueden plantear fácilmente tanto las ecuaciones de equilibrio, si se trata de un problema estático, como las ecuaciones dinámicas. Claro está que si se omiten fuerzas, se dibujan en direcciones incorrectas, se añaden fuerzas, o se comete cualquier otro error, será imposible obtener la solución buscada.

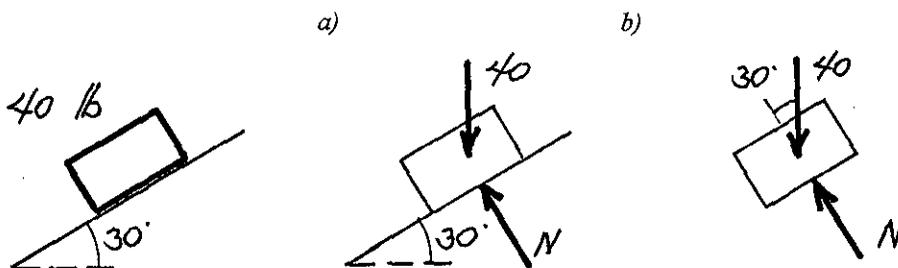


Figura 1

Una primera recomendación sería que en los dibujos apareciera efectivamente "libre" el cuerpo en estudio. Es frecuente encontrar diagramas en que además del cuerpo de interés se dibuje también parte de alguno de los cuerpos con que está en contacto. Por ejemplo, que al tratarse de un cuerpo que se desliza sobre una superficie inclinada lisa, se incluya en el diagrama el plano inclinado, como se muestra en el inciso *a* de la figura 1; en el inciso *b* se presenta el diagrama correcto. O bien, añadir parte de la guía lisa sobre la que se mueve un collarín unido a un resorte, como se ve en el inciso *a* de la figura 2, en vez de dibujar el diagrama de la forma mostrada en el inciso *b*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Consideramos que sería importante, frente a un diagrama de cuerpo libre, habituar a los alumnos a tener muy en cuenta cuáles son los límites del cuerpo en estudio y cuáles los contactos con otros cuerpos, pues es ahí donde han de aparecer las fuerzas externas.

También convendría acostumbrarlos a preguntarse, una vez dibujadas las fuerzas, qué cuerpo ejerce cada una de ellas.

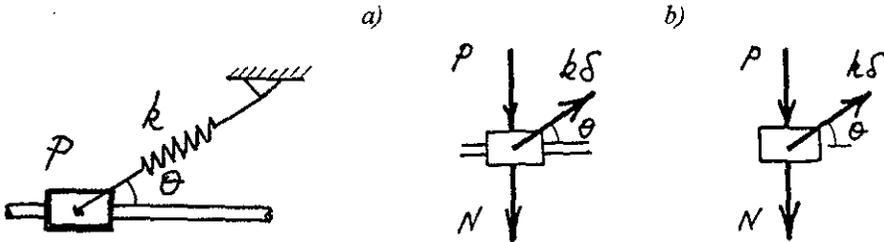


Figura 2

Por último, sugerimos que, al enseñar a dibujar diagramas de cuerpo libre, se incluyan ejemplos de cuerpos que no estén en equilibrio, para evitar, en lo posible, la tendencia espontánea de los alumnos a pensar que los cuerpos tienden a estar en equilibrio, como se pudo apreciar en los resultados de nuestra investigación. Esto tiene la dificultad de que los diagramas se aprenden a dibujar en el curso de Estática.

TIPO DE PROBLEMAS

Nos parece imprescindible proponer problemas en los que se aprecian las acciones de los cuerpos entre sí, y que impliquen la realización de diagramas de diferentes cuerpos en los que se requieran las acciones de uno sobre el otro, de tal manera que los alumnos aprendan a representar las acciones y las reacciones con la misma magnitud (si es desconocida, con la misma letra) y tamaño, pero con sentido contrario. De otra manera quizá sea muy difícil la comprensión de la tercera ley de Newton. Conviene recordar que ninguno de los alumnos que participaron en la presente investigación exhibió un conocimiento adecuado de esta ley.

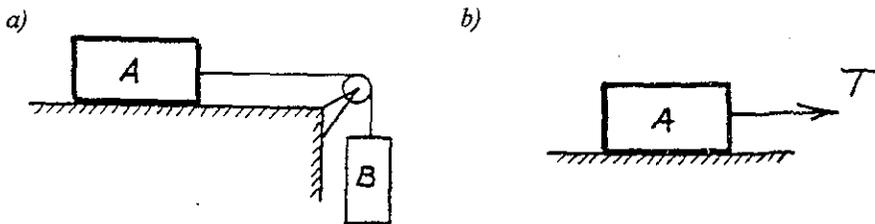


Figura 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por la misma razón consideramos conveniente evitar, en lo posible, problemas en los que se muestran vectores actuando sobre los cuerpos. Además, porque la misma representación vectorial se utiliza para las velocidades y las aceleraciones. Cuando los alumnos ven los problemas presentados de esta manera difícilmente perciben la realidad física de las fuerzas. Es decir, sería mucho más recomendable plantear un problema en la forma mostrada en el inciso *a* de la figura 3, en vez de emplear el modelo del inciso *b*; máxime teniendo en cuenta que, en el caso del equilibrio de esos cuerpos, la presentación del inciso *a* no añadiría ninguna dificultad adicional.

PROBLEMAS DE EQUILIBRIO

Aunque al tratar sobre los diagramas de cuerpo libre ya consideramos la concepción espontánea de los alumnos al respecto, conviene volver al tema. Nos parece bastante generalizada la tendencia a resolver problemas de equilibrio en que los cuerpos se encuentran en reposo. Lo cual es bastante lógico, pues los problemas de equilibrio se abordan en el curso de Estática, cuyo nombre se relaciona directamente con el reposo. No obstante, consideramos que sería más formativo incluir con frecuencia en los problemas cuerpos que se muevan en línea recta con velocidad constante; o que giren con rapidez angular constante alrededor de un eje que pase por su centro de masa, el cual permanezca fijo; o que giren con rapidez angular constante alrededor de su centro de masa, el cual se mueva en línea recta con velocidad constante. Pues se trata de cuerpos que también están en equilibrio.

Posibles ejemplos son todos los que se refieren a vehículos, automóviles, trenes, aviones o embarcaciones, que posean movimiento rectilíneo uniforme. Otro posible ejemplo concreto sería el del tambor y la polea unidos que giran con velocidad angular constante por la acción de un cuerpo atado a la polea y una barra que frena el tambor, como se muestra en la figura 4. En los incisos *a* y *b* se presentan, respectivamente, los diagramas de cuerpo libre del tambor unido a la polea y la barra del freno.

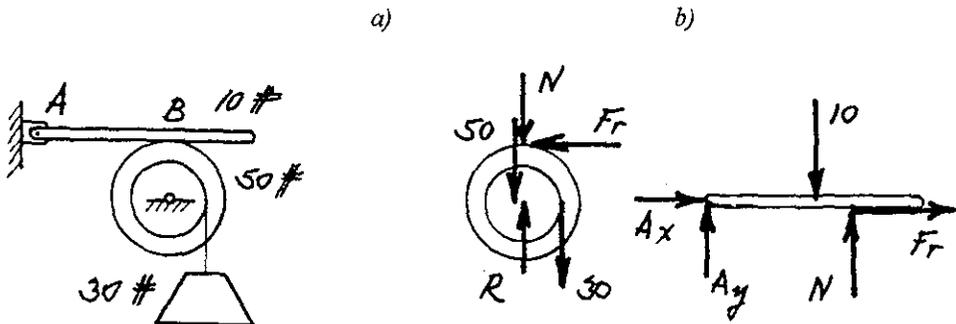


Figura 4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SOBRE RESULTANTES DE SISTEMAS DE FUERZAS

Con el fin de ayudar a los alumnos a distinguir entre las fuerzas, que realmente son las que actúan sobre un cuerpo, y sus resultantes (Cfr. IV.1.5), que son conceptuales, quizá resultara provechoso utilizar en los cursos problemas en que la fuerza resultante tuviera que actuar fuera del cuerpo, tal como el caso de la viga sujeta a dos tensiones cuya resultante se desea determinar (vid. Fig. 5); en este problema, la línea de acción de la fuerza resultante de las dos tensiones (inciso *a*) pasa dos metros a la derecha del extremo derecho de la viga, como se muestra en el inciso *b*.

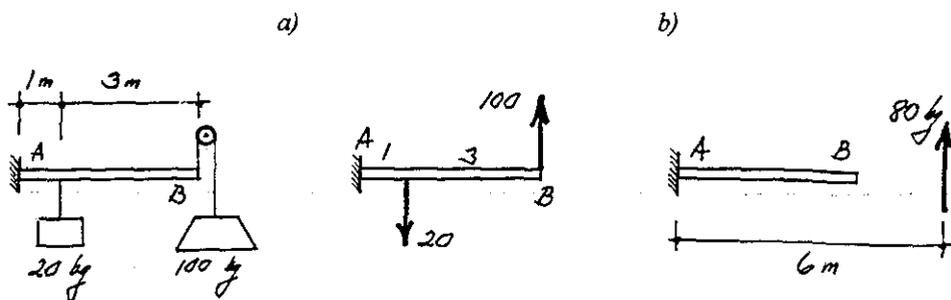


Figura 5

FUERZAS Y ACELERACIONES

Hemos visto, en los resultados de la investigación, la enorme dificultad que tienen los alumnos para relacionar las fuerzas con las aceleraciones. Dijimos arriba, al hablar de los diagramas de cuerpo libre, que podría resultar inconveniente incluir en ellos otro tipo de vectores (velocidades, aceleraciones, etc.). No obstante, para que los alumnos puedan habituarse a rela-

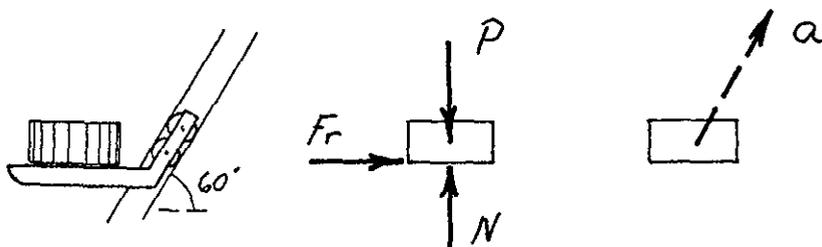


Figura 6

cionar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo con la aceleración que le producen, puede ser útil dibujar, al lado del diagrama de cuerpo libre, otro diagrama, que podríamos llamar cinemático,

en el que se muestre la dirección de la aceleración del cuerpo. De hecho, muchas veces tal dirección será la que determine las características del sistema de referencia que deberá elegirse. Esto es aplicable tanto a problemas de movimiento rectilíneo como curvilíneo de la partícula. También puede emplearse, y quizá con mejores resultados, en los casos del movimiento de los cuerpos rígidos; pero entonces se deberá dibujar la aceleración del centro de masa y la aceleración angular del cuerpo.

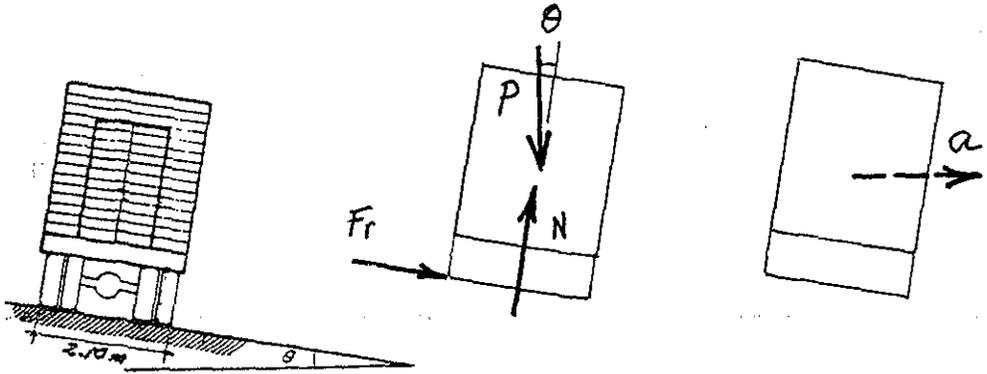


Figura 7

En la figura 6 se presenta el problema de movimiento rectilíneo de un brazo transportador que eleva cilindros. En la 7, un camión recorriendo una curva horizontal con rapidez constante. Y en la Fig. 8, un péndulo compuesto. En las tres figuras se muestran también los diagramas de cuerpo libre y los diagramas cinemáticos.

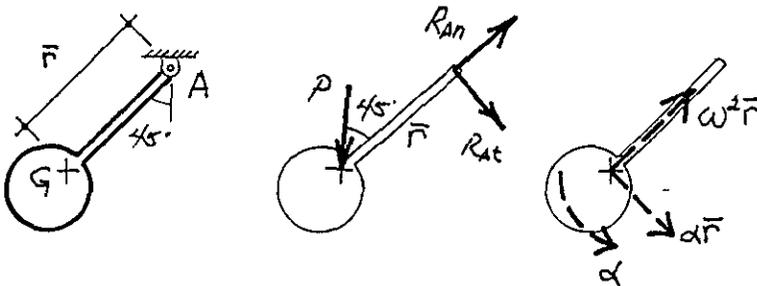


Figura 8

FUERZAS Y VELOCIDADES

Para ayudar a los alumnos a erradicar la idea de que las fuerzas causen las velocidades, puede ser muy conveniente elegir problemas en que todas las fuerzas tienen direcciones claramente diferentes a la de la velocidad. Un caso sería, por ejemplo, el de un cuerpo lanzado verti-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

calmente hacia arriba, que sufre la resistencia del aire (*vid.* Fig. 9). Durante su ascenso, el cuerpo está sujeto a la acción de dos fuerzas, el peso y la resistencia del aire, ambas en sentido contrario al de la velocidad. Otro ejemplo podría ser el de una embarcación que navegara sin ninguna propulsión, sufriendo el empuje del agua que tiende a detenerla.



Figura 9

Otros problemas que pueden servir de ejemplo son todos los relativos a los proyectiles en que se pueda despreciar la resistencia del aire, como los problemas de los Casos 1 y 2 del cuestionario que empleamos en nuestra investigación, de una pelota arrojada por un niño hacia arriba y de un balón lanzado por un jugador de basketbol. En ellos, la velocidad tiene una dirección tangente a la trayectoria y la única fuerza que ejerce alguna acción sobre ellos es su peso, el

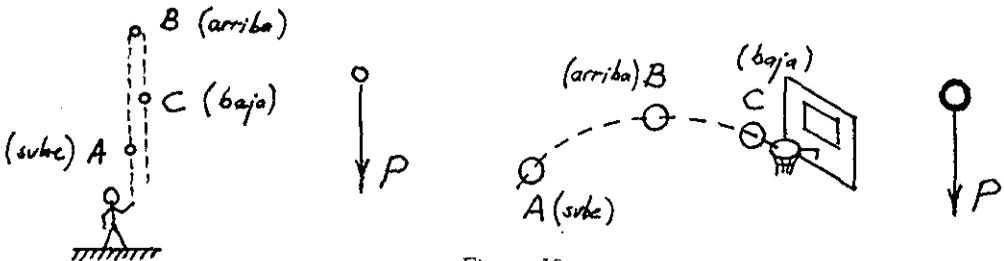


Figura 10

cual es vertical; sus correspondientes diagramas de cuerpo libre aparecen en la Figura 10. Nos estamos refiriendo a problemas que se deben plantear en los cursos de Cinética (o de Dinámica, como se nombran en la Facultad de Ingeniería), en los que se trata de relacionar las causas con sus efectos —fuerzas con aceleraciones—. Generalmente los problemas de proyectiles aparecen en los capítulos de Cinemática y se emplean para ejemplificar el uso de las componentes cartesianas de la aceleración, pero es bastante raro encontrarlos como problemas de Cinética.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. REFERENCIAS

- ACEVEDO, J.A.; BOLÍVAR, J. P.; LÓPEZ-MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M., 1989. "Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico." *Enseñanza de las Ciencias*, volumen 7 (1), páginas 27 a 34.
- ANAND, D. K. y CUNNIFF, P.F., 1980. en *Mecánica para Ingenieros*, Compañía Editorial Continental, México, 1980.
- ARONS, A. B., 1984. "Student patterns of thinking and reasoning. Part two." *The Physics Teacher*, I-84.
- ARONS, A. B., 1970. *Evolución de los Conceptos de la Física*. Trillas, México.
- AUSUBEL, D. P.; NOVACK, J. D. y HAMESIAN, H., 1976. *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, México.
- BAR, V.; ZINN, B. y GOLDMUNTZ, R., 1994. "Children's Concepts about Weight and Free Fall." *Science Education*, páginas 149 a 169 del volumen 78 (2).
- BEDFORD, A. y FOWLER, W., 1996. *Estática, Mecánica para Ingeniería*. Addison-Wesley Iberoamericana, México.
- BEER, F. P. y JOHNSTON, E. R., JR., 1967. *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. Mc Graw-Hill, México.
- BIGGE, M. L., 1990. "¿Cómo describen el proceso de aprendizaje las dos familias de teorías contemporáneas del aprendizaje?" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 103-131.
- DE IBARROLA, M., 1991. "Enfoques sociológicos para el estudio de la educación" en Gómez Villanueva, José y Hernández Guerrero, Alfonso. *Antología: El debate social en torno a la educación. Enfoques predominantes*, UNAM-ENEP Acatlán, México, pp. 11-30.
- DELVAL, J., 1990. "La formación del conocimiento y el aprendizaje escolar" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 253-267.
- DRIVER, R., 1989. Student's conceptions and the learning of science, *International Journal Science Education*, Vol. 11, Special Issue, pp. 481-490.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V., 1985. *A Constructivist Approach to Curriculum Development of Science*. Paper prepared for the Symposium Personal Construction of Meaning Educational Seeings, BERA, Sheffield.
- DÍAZ-BARRIGA ARCEO, F. y HERNÁNDEZ ROJAS, G., 1999. *Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo. Una Interpretación Constructivista*. Mc Graw Hill, México.

- DURKHEIM, E., 1991. "La educación: su naturaleza, su función" en Gómez Villanueva, José y Hernández Guerrero, Alfonso. *Antología: El debate social en torno a la educación. Enfoques predominantes*, UNAM-ENEP Acatlán, México, pp. 27-39.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J., 1998. "Dificultades de aprendizaje de los conceptos de "carga" y de "campo eléctrico" en estudiantes de bachillerato y universidad." *Enseñanza de las Ciencias*, páginas 131 a 146 del volumen 16 (1).
- GAMBRA, R., 1961. *Historia Sencilla de la Filosofía*. Ediciones Rialp, Madrid, España.
- GARDNER, H., 1987. *La Nueva Ciencia de la Mente*. Paidós, Argentina.
- HIBBELER, R.C., 1995. *Ingeniería Mecánica*. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- HIGDON, A.; STILES, W. B.; DAVIS, A. W.; EVCES, C. R. y WEESE, J. A., 1982. *Ingeniería Mecánica*. Editorial Prentice-Hall internacional, Colombia, 1982.
- HUANG, T.C., 1974. *Mecánica para Ingenieros*. Fondo Educativo Interamericano, México.
- HUDDLESTON, J. V., 1961. *Engineering Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, U. S. A.
- JIMÉNEZ GÓMEZ, E., SOLANO MARTÍNEZ, I. Y MARÍN MARTÍNEZ, N., 1994. "Problemas de terminología en estudios realizados acerca de "lo que el alumno sabe" sobre ciencias." *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 12(2), pp. 235-245.
- JIMÉNEZ GÓMEZ, E., SOLANO MARTÍNEZ, I. Y MARÍN MARTÍNEZ, N., 1997. "Estudio de la progresión en la delimitación de las "ideas" del alumno sobre fuerza." *Enseñanza de las Ciencias*, páginas 309 a 328 del volumen 15 (3).
- JUAN PABLO II, 1994. Carta a las Familias, N° 16. Ediciones Clavería, México.
- KAMII, C., 1991. "Principios pedagógicos derivados de la teoría de Piaget: su trascendencia para la práctica educativa" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 360-371.
- McGILL, D. y KING, W. W., 1991. *Mecánica para Ingeniería, Estática*. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- MERIAM, J.L., 1980. *Engineering Mechanics*. John Wiley & Sons, Nueva York, EE.UU.
- MICHINEL MACHADO, J.L. y D'ALESSANDRO MARTÍNEZ, A., 1994. "El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje." *Enseñanza de las Ciencias*, páginas 369 a 380 del volumen 12(3).

- NEWTON, SIR ISAAC, 1687. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini, iussu Societatis Regiæ ac Typis Iosephi Streater (Londres, William Dawson and sons). Las traducciones son de la edición de Altaya, S. A., Barcelona, España, de 1993.
- NIKITIN, E.M., 1980. *Mecánica Teórica para las Escuelas de Peritaje*. Editorial MIR, Moscú.
- OSBORNE, R. y FREYBERG, P., 1985. *Learning in Science, "The implication of children's Science"*. (Heinemann: Londres).
- OYARZÁBAL, J. B. DE, 1984. *Ensayos sobre Mecánica Clásica*, programa del libro de texto universitario, UNAM.
- PAIN, S., 1990. "Análisis del aprendizaje" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 84-100.
- PARSONS, T., 1991. "El salón de clases como sistema social: algunas de sus funciones dentro de la sociedad norteamericana" en en Gómez Villanueva, José y Hernández Guerrero, Alfonso. *Antología: El debate social en torno a la educación. Enfoques predominantes*, UNAM-ENEP Acatlán, México, pp. 41-55.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R., 1989. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Siglo veintiuno editores, México.
- PIRIE, S. y SCHWARZENBERGER, R., 1988. "Mathematical discussion and mathematical understanding". *Educational Studies in Mathematics*, 19, 459-470.
- POLO, L., 1995. *Introducción a la Filosofía*. Ediciones Universidad de Navarra, S.A. Pamplona, España.
- PORLÁN ARIZA, R., 1998. Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.
- PYTEL, A. y KIUSALAAS, J., 1999. *Ingeniería Mecánica*. International Thompson Editores, México.
- RANDALL, C., 1991. "La teoría del conflicto y la teoría funcional de la estratificación educativa" en Gómez Villanueva, José y Hernández Guerrero, Alfonso. *Antología: El debate social en torno a la educación. Enfoques predominantes*, UNAM-ENEP Acatlán, México, pp. 77-96.
- RICHMOND, P.G., 1991. "Introducción a Piaget" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 217-226.
- RILEY, W. F. y STURGES, L., D., 1995. *Ingeniería Mecánica. Estática*. Editorial Reverté, Barcelona, España.

- SHAMES, I. H., 1967. *Engineering Mechanics. Statics and Dynamics*. Prentice-Hall, Inc. Engelwood Cliffs, New Jersey. U.S.A.
- SCHANK, R., 1998. *Aprendizaje virtual*. Mc Graw-Hill Internacional de México.
- SCHOENFELD, A. H., 1987. *Cognitive Science and Mathematics Education*. Collection of papers, University of California-Berkeley.
- SEELY, F. B. y ENSIGN, N. W., 1960. *Mecánica Analítica para Ingenieros*. UTEHA, México.
- SOLAR G. J. y MARTÍNEZ M. J., 1999. *Estática básica para ingenieros*. Apuntes de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
- SWENSON, L. C., 1991. "Jean Piaget, una teoría maduracional-cognitiva" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 205-216.
- VILLANI, A. y PACCA, J., 1990. "Conceptos espontáneos sobre colisiones." *Enseñanza de las Ciencias*, en el volumen 8 (3), páginas 238 a 243.
- WOOLFOLK, A. y LORRAINE MC., N., 1990. "Concepciones cognitivas del aprendizaje" en *Teorías del aprendizaje*, antología, UPN-SEP, pp. 199-204.

VII. ANEXOS

VII.1 Anexo 1. Respuestas de los alumnos al cuestionario escrito

A continuación recogemos las letras de las opciones con que contestaron los alumnos a las cuestiones de los Casos del cuestionario, así como las explicaciones que dieron a cada una de ellas. Hemos corregido la ortografía en la medida de lo posible.

ALUMNO 1

Caso 1

- Cuestión 1 *d* La pelota va hacia arriba, por lo tanto la fuerza vertical hacia arriba es mayor que la vertical en dirección opuesta.
- Cuestión 2 *b* Llega a un punto en el que la fuerza ascendente es igual a la descendente y después sólo actúa la fuerza descendente.
- Cuestión 3 *c* La fuerza vertical hacia abajo es mayor que la fuerza de Arquímedes.

Caso 2

- Cuestión 1 *c* El balón sigue la trayectoria de de parábola y actúa una fuerza que es la que lo hace subir y una que lo jala hacia abajo.
- Cuestión 2 *a* Llega a un equilibrio de fuerzas.
- Cuestión 3 *d* Hay una fuerza tangencial a su trayectoria, su peso y la fuerza de Arquímedes, que es la menor de todas.

Caso 3

- c* Sufre la atracción de la Tierra y también la fuerza tangencial.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Lo atrae la Tierra, la fuerza centrípeta y la fuerza en dirección tangencial.
- Cuestión 2 *c* Sigue sufriendo las tres acciones de las fuerzas anteriores.
- Cuestión 3 *b* Sigue sufriendo las acción de las tress fuerzas.

Caso 5

- b* Sufre la acción de su peso y la fuerza centrípeta. Además de la dirección tangencial al círculo.

Caso 6

- Cuestión 1 *a* La fuerza centrípeta y el peso actúan y también la de la dirección tangencial.
- Cuestión 2 *b*
- Cuestión 3 *a*
- Cuestión 4 *d*

ALUMNO 2

Caso 1

- Cuestión 1 *b* La fuerza de gravedad actúa en todo el trayecto y en la subida actúa la fuerza que imprime el niño.
- Cuestión 2 *a* En ese momento el cuerpo está en reposo, pero la fuerza de gravedad sigue actuando.
- Cuestión 3 *d* Las fuerzas que actúan son la de la gravedad y la resistencia del aire, pero esta última es despreciable.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* Las fuerzas que actúan son la gravedad y la fuerza que está en dirección del lanzamiento.
- Cuestión 2 *d* En B la fuerza vertical hacia arriba es nula por lo que las fuerzas que actúan son las señaladas.
- Cuestión 3 *c* La fuerza de gravedad actúa en todo el recorrido y la fuerza horizontal es la que hace que el balón no caiga verticalmente.

Caso 3

- c* Actúa la fuerza de atracción de la Tierra sobre la Luna y la fuerza hacia afuera de la trayectoria. Estas fuerzas hacen que la Luna no se aleje ni se acerque a la Tierra.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* Actúan la gravedad y la tensión en el cable.

- Cuestión 2 *d* La tensión en el cable es de igual magnitud que el peso del cuerpo.
- Cuestión 3 *c* Actúan la tensión del cable y el peso.
- Caso 5
- b* La tensión de la cuerda, el peso del cuerpo y la fuerza que va hacia afuera de la trayectoria circular.
- Caso 6
- Cuestión 1 *a* Tensión de la cuerda (hacia e centro de la circunferencia formada por la trayectoria), peso del cuerpo (vertical hacia abajo), fuerza hacia afuera de la trayectoria (horizontal).
- Cuestión 2 *b* Fuerza hacia afuera de la trayectoria circular (vertical hacia arriba), peso (vertical hacia abajo), tensión del cable (hacia el centro de la circunferencia formada por la trayectoria).
- Cuestión 3 *a* Peso del cuerpo y la tensión del cable (vertical hacia abajo), fuerza hacia afuera de la trayectoria (horizontal).
- Cuestión 4 *d*

ALUMNO 3

Caso 1

- Cuestión 1 *b* Se debe a que la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre diferentes cuerpos está siempre presente. Previamente se observa que la pelota está ascendiendo debido a la fuerza que le imprime una aceleración.
- Cuestión 2 *c* Debido a que la fuerza de empuje ya no es más fuerte que la de la atracción de la Tierra, sino que se equilibran unas a otras. No hay fuerza actuando.
- Cuestión 3 *d* Es el peso del cuerpo que hace que descienda la pelota.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* Debido a la fuerza que le imprime o le obliga a moverse y porque la atracción que ejerce la Tierra sobre los cuerpos está siempre presente.
- Cuestión 2 *e* (El alumno dibuja una fuerza horizontal hacia la derecha.) Que es la fuer-

za que hará que la pelota continúe su movimiento.

Cuestión 3 *b* Que son la fuerzas que hacen que descienda hacia la Tierra.

Caso 3

d La fuerza que la hace girar es una de ellas, la atracción que la Luna sufre por la Tierra y por la tercera ley de Newton la Luna repulsa a la Tierra con la misma magnitud, pero de sentido contrario que la fuerza que la atrae.

Caso 4

Cuestión 1 *b* Es la fuerza que hace que se encuentre en movimiento.

Cuestión 2 *a* Es la fuerza que hará que continúe con su movimiento.

Cuestión 3 *d* Es la fuerza que hace que continúe con su movimiento.

Caso 5

c Es la fuerza que hace que el péndulo se mueva.

Caso 6

Cuestión 1 *a* Es el peso del cuerpo, la fuerza que le imprime el movimiento y, por supuesto, la tensión que le ejerce el hilo para mantenerlo dentro de la trayectoria circular.

Cuestión 2 *b* Su peso, la fuerza que le imprime el movimiento y la tensión que ejerce el hilo sobre él para mantenerlo en la trayectoria circular.

Cuestión 3 *a* Las fuerzas del peso y la tensión del hilo van en la misma dirección, mientras que la fuerza que le imprime el movimiento es tangencial a ambas.

Cuestión 4 *d* El peso del cuerpo, la tensión del hilo y la fuerza que le imprime el movimiento.

ALUMNO 4

Caso 1

Cuestión 1 *b* La fuerza hacia arriba tiene una mayor magnitud que la fuerza hacia abajo, por eso es que está subiendo la pelota.

Cuestión 2 *c* La magnitud de la fuerza hacia arriba es igual a la magnitud de la fuerza

hacia abajo (no hay movimiento), las fuerzas se anulan.

Cuestión 3 *d* La fuerza hacia arriba se ha terminado, quedando la fuerza hacia abajo (desciende la pelota).

Caso 2

Cuestión 1 *b* La fuerza hacia abajo es la gravedad y la inclinada es producida por el jugador (la fuerza hace que el balón suba y se dirija hacia adelante).

Cuestión 2 *d* El balón comienza a bajar, pero sigue hacia adelante, la fuerza hacia arriba es nula.

Cuestión 3 *b* El balón baja más de lo que avanza, pero se sigue moviendo hacia adelante y descendiendo.

Caso 3

d Al darle vuelta a una cubeta con agua, esas son las fuerzas que se aplican, que es lo mismo que sucede con la Luna.

Caso 4

Cuestión 1 *d* El cuerpo ejerce una fuerza sobre el péndulo, además la fuerza de gravedad produce que se esté moviendo.

Cuestión 2 *a* La magnitud de la fuerza hacia arriba se iguala con la magnitud de la fuerza hacia abajo y sólo se conserva la fuerza que permite subir al péndulo.

Cuestión 3 *b* La fuerza hacia arriba y hacia abajo dejan de anularse entre sí y continúa una fuerza que permite seguir subiendo al péndulo.

Caso 5

b La fuerza hacia abajo es la gravedad, la fuerza hacia arriba es la tensión entre el cuerpo y el péndulo y la otra fuerza permite que se pueda mover el péndulo.

Caso 6

Cuestión 1 *a* La tensión y la gravedad se anulan y sólo queda una fuerza que permite que siga en movimiento la piedra.

Cuestión 2 *a* Las fuerzas horizontales se anulan, sólo quedando la vertical.

Cuestión 3 *d* Las fuerzas verticales se anulan, quedando la fuerza horizontal.

Cuestión 4 *b* Las fuerzas de la misma línea de acción se anulan, quedando sólo la fuerza que permite moverse hacia abajo.

ALUMNO 5

Caso 1

Cuestión 1 *b* Porque el niño le aplicó una fuerza vertical y hacia arriba a la pelota, pero también la fuerza de gravedad se está aplicando verticalmente y hacia abajo.

Cuestión 2 *c* Porque al llegar al punto más alto, la fuerza aplicada por el niño y la fuerza de gravedad están en equilibrio.

Cuestión 3 *d* Porque la fuerza aplicada por el niño ya no existe y la pelota sólo es afectada por la gravedad.

Caso 2

Cuestión 1 *b* Porque la pelota es afectada por la fuerza aplicada por el jugador y por la fuerza de su peso.

Cuestión 2 *d* Porque la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo.

Cuestión 3 *b* Porque la fuerza de gravedad es constante, mientras que la fuerza aplicada por el jugador se va reduciendo cada vez más.

Caso 3

c Porque habría una fuerza que atraería a la Luna y habría otra que sería a causa de la velocidad en la que se está moviendo.

Caso 4

Cuestión 1 Porque al cuerpo sólo se le está aplicando...

Cuestión 2

Cuestión 3

Caso 5

c Porque la fuerza de su peso estaría en equilibrio por la fuerza que detiene al péndulo.

Caso 6

- Cuestión 1 *a* Porque se le aplicaría una fuerza que la haga moverse, otra que la jale hacia abajo y una que la detenga.
- Cuestión 2 *b* Porque su peso la jalaría hacia abajo, y se le aplicaría una fuerza que la haga subir y, finalmente, se le está aplicando una fuerza que no le permite salir disparada.
- Cuestión 3 *c* Porque su peso la jalaría hacia abajo y se le aplicaría una fuerza que la mantenga en movimiento.
- Cuestión 4 *d* Porque su peso la jalaría hacia abajo, y también una fuerza lo mantendría en la órbita que recorre y todavía tendría efectos la fuerza que la obliga a moverse.

ALUMNO 6

Caso 1

- Cuestión 1 *a* La fuerza es vertical hacia arriba.
- Cuestión 2 *b* En ese instante actúan dos fuerzas: la vertical hacia arriba y el peso del cuerpo, por lo que la resultante es cero.
- Cuestión 3 *d* Al momento de descender, el peso del cuerpo es la fuerza que actúa.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* La fuerza aplicada en el balón es la mostrada por el inciso *b*), debido a que el jugador aplica una fuerza en ese sentido, pero el peso del cuerpo lo obliga a seguir una parábola.
- Cuestión 2 *d* El peso del cuerpo obliga al balón a caer, describiendo una parábola en su trayectoria.
- Cuestión 3 *b* El peso del cuerpo y la dirección de la fuerza indican que la pelota sigue la trayectoria deseada.

Caso 3

- c* La resultante de estas dos fuerzas indica que la Luna describe una trayectoria alrededor de la Tierra.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* La tensión en el cable del péndulo y el peso del balín dan como resultado que el péndulo descienda a la posición B.
- Cuestión 2 *b* La tensión del cable y el peso del balín obligan, en ese punto, a que el balín se detenga por un instante.
- Cuestión 3 *b* En este punto la tensión y su peso mismo lo obliga a retroceder.

Caso 5

- a* La tensión del cable y el peso del cuerpo se anulan, por lo que el balín describe una trayectoria como se muestra en la figura.

Caso 6

- Cuestión 1 *a* La tensión en el hilo y el peso del cuerpo se anulan, dando como resultado la fuerza en esa dirección.
- Cuestión 2 *c* De nuevo la tensión y el peso se anulan y lo obligan a seguir esa dirección.
- Cuestión 3 *c* Como en esta posición...
- Cuestión 4 *a* La resultante de esas dos fuerzas indica la dirección de la piedra.

ALUMNO 7

Caso 1

- Cuestión 1 *b* (\uparrow) la fuerza con que es lanzada y (\downarrow) la resistencia que opone la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *c* Tanto la fuerza con que fue lanzada como la resistencia de la fuerza de gravedad están en equilibrio.
- Cuestión 3 *a* Una es el peso del cuerpo y otra es la fuerza de gravedad con que la Tierra atrae a la pelota.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* (\nearrow) fuerza con que fue lanzada y (\downarrow) la fuerza de gravedad que actúa sobre el balón.

- Cuestión 2 *b* La fuerza con que fue lanzado ya no existe, sólo existe la fuerza de gravedad.
- Cuestión 3 *b* (\searrow) la fuerza del peso del balón (\downarrow) la fuerza de gravedad que actúa sobre el balón.
- Caso 3
- b* (\swarrow) la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre la luna.
- Caso 4
- Cuestión 1 *d* (\searrow) la tensión que sufre la cuerda que sostiene a la esfera, (\downarrow) la fuerza de gravedad que actúa sobre la esfera, (\swarrow) el momento que ejerce con respecto al otro extremo de la cuerda (el que se encuentra sujeto a la superficie fija).
- Cuestión 2 *c* La fuerza de gravedad y la tensión de la cuerda están en equilibrio. (\leftarrow) el Momento que genera con respecto al punto donde se encuentra sujeta la cuerda.
- Cuestión 3 *c* (\swarrow) la tensión que sufre la cuerda. (\downarrow) la fuerza de gravedad que actúa sobre el cuerpo en estudio.
- Caso 5
- b* (\swarrow) tensión de la cuerda. (\downarrow) la fuerza de gravedad que actúa sobre la esfera. (\leftarrow) la fuerza con la cual tiende a girar.
- Caso 6
- Cuestión 1 *a* (\uparrow) la tensión de la cuerda. (\downarrow) la fuerza con la cual tiende a salir la piedra de la circunferencia. (\leftarrow) el momento que produce con respecto al extremo de la cuerda fija.
- Cuestión 2 *a* (\rightarrow) la tensión de la cuerda. (\leftarrow) la fuerza con que es rechazada la piedra de su centro de gravedad. (\swarrow) la fuerza con la cual tiende a girar.
- Cuestión 3 *d* (\downarrow) la tensión de la cuerda. (\uparrow) la fuerza con que es rechazada la piedra de Su centro de gravedad. (\rightarrow) el momento con respecto a la parte fija de la cuerda.

- Cuestión 4 *b* (✓) la tensión de la cuerda. (✓) la fuerza con que es rechazada la piedra de su centro de gravedad. (✓) el momento con respecto a la parte fija de la cuerda.

ALUMNO 8

Caso 1

- Cuestión 1 *b* La fuerza que el niño aplica al lanzar la pelota va en dirección horizontal (*sic*) hacia arriba, la que ejerce la gravedad es horizontal hacia abajo.
- Cuestión 2 *c* En ese punto no hay ninguna fuerza que actúe sobre la pelota.
- Cuestión 3 *d* La gravedad está ejerciendo una fuerza que se dirige hacia abajo.

Caso 2

- Cuestión 1 *d* La fuerza que se ejerce sobre el balón va dirigida hacia la canasta, el alcance del punto máximo de la parábola y la caída del balón son consecuencia de la primera fuerza aplicada.
- Cuestión 2 *d* La fuerza ejercida inicialmente hace que al llegar al punto mostrado el balón continúe la trayectoria inicial, que va en dirección de la canasta.
- Cuestión 3 *c* El balón, debido a la fuerza de gravedad, tiene una tendencia a caer; sin embargo, como tiene una trayectoria previamente definida, continúa con ella.

Caso 3

- a* Al encontrarse en equilibrio las fuerzas, La Luna presenta una tendencia a girar.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Las fuerzas están en equilibrio, pero la tendencia del péndulo es a girar.
- Cuestión 2 *b* Las fuerzas están en equilibrio es ese punto, pero actúa la inercia.
- Cuestión 3 *b* Se siguen ejerciendo las mismas fuerzas verticales, pero se agraga la horizontal.

Caso 5

d Como las fuerzas se equilibran, el péndulo tiene tendencia a girar.

Caso 6

Cuestión 1 *c* No hay ninguna fuerza que incida sobre la piedra.

Cuestión 2 *a* Se mantienen equilibradas sus fuerzas horizontales.

Cuestión 3 *c* Las fuerzas ejercidas se dirigen hacia abajo.

Cuestión 4 *b* Las fuerzas continúan en equilibrio, la piedra sigue la trayectoria anterior.

ALUMNO 9

Caso 1

Cuestión 1 *b* La fuerza hacia arriba es de cuando fue lanzada y la que está hacia abajo es la de gravedad.

Cuestión 2 *a* En el punto más alto la velocidad es igual a cero, pero se sigue ejerciendo la fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *d* Actúa la fuerza de gravedad.

Caso 2

Cuestión 1 *c* Existe la componente normal, binormal y tangencial de la fuerza.

Cuestión 2 *d* Existe la aceleración de la gravedad y la componente de la fuerza con que fue lanzada.

Cuestión 3 *b* Existe la fuerza de gravedad y la componente con que fue lanzada.

Caso 3

d Existe la atracción de la Tierra y las componentes del movimiento circular.

Caso 4

Cuestión 1 *d* Existe la tensión del cable y las componentes del tramo del movimiento circular.

Cuestión 2 *b* Existe la tensión del cable y la fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *b* Existe la tensión del cable, la fuerza de la gravedad y una componente en

dirección del movimiento.

Caso 5

b Existe la tensión del cable, la fuerza de gravedad y la fuerza al realizar el movimiento circular.

Caso 5

Cuestión 1 *a* Existe la fuerza de gravedad, la tensión y la componente en dirección del movimiento.

Cuestión 2 *b* Está la fuerza de gravedad, la tensión del cable y la fuerza en dirección de la trayectoria.

Cuestión 3 *d* Tiene las mismas componentes en cualquier punto, A, B, C o D.

Cuestión 4 *d* Tiene las mismas componentes.

ALUMNO 10

Caso 1

Cuestión 1 *b* Actúa la fuerza aplicada a la pelota al lanzarla y actúa la fuerza de gravedad.

Cuestión 2 *a* Ya que la pelota, cuando está en el punto más alto, es porque se equilibra la fuerza; y después sólo actúa la fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *d* Existe sólo una fuerza que con la masa de la pelota forma una fuerza descendente.

Caso 2

Cuestión 1 *b* Actúa la fuerza de gravedad y la fuerza con que es lanzado, además existe la dirección en la que es lanzado.

Cuestión 2 *c* Existe un equilibrio de fuerzas, tanto de la gravedad como la fuerza con que se lanzó.

Cuestión 3 *b* Actúa la fuerza de gravedad y sigue con cierta dirección.

Caso 3

C Actúa la fuerza gravitacional con la que es atraída, y además la fuerza con

la que se desplaza la Luna.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Actúa la fuerza gravitacional, la tensión del...
- Cuestión 2 *a* Existe sólo el movimiento que realiza, ya que la fuerza de gravedad se equilibra con la...
- Cuestión 3 *d* Sólo actúa la fuerza con la que realiza el movimiento.

Caso 5

- b* Actúa la fuerza gravitacional del péndulo y la tensión del hilo, así como la fuerza con la que se desplaza haciéndola girar.

Caso 6

- Cuestión 1 *e* *(Dibuja una fuerza vertical dirigida hacia abajo y otra horizontal hacia la izquierda)* Actúa la fuerza de gravedad y el movimiento que realiza.
- Cuestión 2 *d* Al colocarse en posición horizontal, la única fuerza que actúa es el movimiento, ya que la gravedad y la fuerza con la que se hace girar se encuentran en equilibrio.
- Cuestión 3 *b* Existe sólo la fuerza con la que realiza el movimiento, ya que la fuerza con la que se realiza el giro se equilibra con la fuerza gravitacional.
- Cuestión 4 *e* *(Dibuja una fuerza vertical hacia abajo y una tangente a la trayectoria)* Actúa la fuerza gravitacional así como el movimiento que realiza.

ALUMNO 11

Caso 1

- Cuestión 1 *b* La pelota sube porque es mucho mayor la fuerza que se le aplicó para que subiera, aunque la fuerza de gravedad siempre está presente.
- Cuestión 2 *c* En ese momento la pelota está suspendida porque es cuando se le termina la fuerza que jala hacia arriba y comienza a actuar la fuerza de gravedad (están en equilibrio).
- Cuestión 3 *d* Porque la pelota es jalada por la fuerza de gravedad.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* La pelota va con un movimiento inclinado hacia arriba, pero la fuerza de gravedad la jal hacia abajo.
- Cuestión 2 *c* Las fuerzas de arriba y abajo están en equilibrio, pero sigue su trayectoria.
- Cuestión 3 *b* La pelota sigue su trayectoria inclinada hacia abajo.
- Caso 3
- e* (Dibuja dos fuerzas normales dirigidas hacia la Luna y una curva en dirección de la trayectoria) Porque la Luna sigue una trayectoria circular y, si no estuvieran las otras dos fuerzas en equilibrio, tendería a subir o bajar.
- Caso 4
- Cuestión 1 *d* La cuerda siempre va a estar sosteniendo el péndulo, también hay que tomar en cuenta el peso del péndulo y la fuerza para que se mueva.
- Cuestión 2 *c* El péndulo en ese momento no sube ni baja, pero sigue teniendo la fuerza que lo hace seguir su trayectoria.
- Cuestión 3 *b* La cuerda está jalando al péndulo, el peso del péndulo es hacia abajo y la fuerza que lo hace subir.
- Caso 5
- a* Porque las fuerzas que lo empujan hacia arriba y hacia abajo están en equilibrio, pero hay una fuerza que lo empuja horizontalmente, que es la que provoca que se mueva.
- Caso 6
- Cuestión 1 *a* La fuerza de arriba y abajo están en equilibrio, pero la piedra sigue su trayectoria.
- Cuestión 2 *a* Las fuerzas horizontales están en equilibrio, pero hay una que la jala hacia arriba.
- Cuestión 3 *d* Las fuerzas verticales están en equilibrio, pero la piedra tiende a girar por la fuerza horizontal.
- Cuestión 4 *b* Hay dos fuerzas en equilibrio que hacen que la piedra no se salga de su trayectoria, pero la piedra sigue girando.

ALUMNO 12

Caso 1

- Cuestión 1 *b* La fuerza que obtiene la pelota por ser lanzada por el niño es mayor que la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *b* En este punto las fuerzas que actúan son la fuerza de gravedad y la fuerza que aplicó el niño para lanzarla, ambas son de magnitudes iguales, pero de sentido contrario.
- Cuestión 3 *d* Sólo actúa la fuerza de gravedad en este punto.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la pelota.
- Cuestión 2 *d* La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la pelota.
- Cuestión 3 *b* La fuerza debida al lanzamiento de la pelota y la fuerza de gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la pelota.

Caso 3

- c* La fuerza centrífuga y la de la gravedad; la primera es tangente a la trayectoria de la Luna.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* La fuerza de gravedad, la fuerza que opone el hilo para mantenerla dentro de su trayectoria, además de la fuerza centrífuga.
- Cuestión 2 *c* La fuerza de gravedad, la resistencia que pone el hilo para mantener a la pelota dentro de su trayectoria, así como la fuerza centrífuga que es tangente a la trayectoria del péndulo.
- Cuestión 3 *b* La fuerza debida a su peso, la fuerza centrífuga y la fuerza que opone el hilo para mantener al péndulo dentro de su trayectoria.

Caso 5

- b* La fuerza debida a su peso, la fuerza centrífuga y la que opone el hilo; la fuerza debida a su peso es perpendicular a la horizontal.

Caso 6

Cuestión 1 *a*Cuestión 2 *b* Su peso, la fuerza que opone el hilo para mantenerla dentro de su trayectoria, además de la fuerza centrífuga.Cuestión 3 *a* Su peso, la fuerza que opone el hilo (ambas tienen el mismo sentido y dirección) y la fuerza centrífuga.Cuestión 4 *d*

ALUMNO 13

Caso 1

Cuestión 1 *d* Porque si pongo *b* significa que está en equilibrio.Cuestión 2 *b* La pelota está en equilibrio en ese momento.Cuestión 3 *d* Es la fuerza debida a su peso.

Caso 2

Cuestión 1 *c* Actúan: una fuerza ascendente, una en dirección de la canasta y otra debida al peso del balón.Cuestión 2 *d* Porque ya no está en ascenso el balón, pero todavía actúa una fuerza hacia la canasta y otra debida a su peso.Cuestión 3 *b* Porque todavía hay una fuerza hacia la canasta, pero en descenso, y otra debida a su peso.

Caso 3

d La Luna es atraída por la Tierra, pero ésta responde con una fuerza en sentido contrario (de la misma intensidad) y además otra en dirección del movimiento.

Caso 4

Cuestión 1 *d* Actúan: i) la fuerza debida al hilo que la sostiene; ii) la fuerza en dirección de su movimiento, y iii) la fuerza debida a su peso.Cuestión 2 *c* Porque al estar en el punto más bajo se anulan las fuerzas debida al peso y

al hilo que la sostiene, y sólo queda la fuerza debida al movimiento.

Cuestión 3 *b* Porque las fuerzas que actúan son: i) debida al hilo que la sostiene; ii) debida al movimiento, y iii) debida a su peso.

Caso 5

b Porque actúan las fuerzas del hilo que lo sostiene, la debida al peso y la que describe el movimiento.

Caso 6

Cuestión 1 *a* Porque actúan las fuerzas debida al peso, al hilo que la sostiene y la que describe el movimiento.

Cuestión 2 *b* Por la misma que la anterior.

Cuestión 3 *d* Por lo mismo.

Cuestión 4 *b* Por lo mismo.

ALUMNO 14

Caso 1

Cuestión 1 *a* Al llegar a la posición A la fuerza inicial es vertical hacia arriba.

Cuestión 2 *b* Al llegar al punto B la fuerza disminuye a cero para cambiar su dirección.

Cuestión 3 *d* Al llegar a C, la fuerza cambia de dirección.

Caso 2

Cuestión 1 *b* Se ejerce una fuerza para que el balón sea impulsado hacia la canasta para darle una trayectoria, pero además se manifiesta la fuerza que ejerce el peso del balón.

Cuestión 2 *d* La trayectoria dada proporciona una fuerza que dirige al cuerpo, pero ésta al llegar al punto más alto de la parábola cambia ligeramente su ángulo de inclinación para completar la trayectoria del cuerpo.

Cuestión 3 *c* Al llegar al punto C la trayectoria queda completa, disminuyéndose las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo.

Caso 3

- a* La fuerzas que actúan son la atracción de la Tierra sobre la Luna, así como la gravedad de la Luna ocasionando la trayectoria.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Unas fuerzas ejercidas sobre el cuerpo son la tensión del hilo y el peso del cuerpo, además de la trayectoria del cuerpo que ejerce una fuerza de empuje.
- Cuestión 2 *c* En el punto B se ejercen las fuerzas del peso del cuerpo, la tensión del hilo y la del impulso del cuerpo.
- Cuestión 3 *b* El peso ejerce una fuerza, al igual que la tensión del hilo sobre el cual se encuentra suspendido el cuerpo, y la del impulso que fue de mayor a menor.

Caso 5

- b* Al impulsar el cuerpo se genera una fuerza, al igual que es una fuerza el peso del cuerpo y la tensión del hilo.

Caso 6

- Cuestión 1 *b* Cuando comienza a girar el cuerpo las fuerzas que actúan sobre él son: el peso de éste y la tensión del hilo que lo sujeta.
- Cuestión 2 *a* Al tensarse el hilo se ejerce una fuerza, y el peso del cuerpo es una fuerza, la fuerza del impulso que se da al cuerpo afecta a éste.
- Cuestión 3 *a* Al estar en lo más alto, al peso del cuerpo se aligera provocando que la fuerza que se ejerce sobre él disminuya y cambie de dirección y sentido, pero afecta también el impulso que comienza a disminuir.
- Cuestión 4 *d* Las fuerzas que actúan son el peso del cuerpo, la tensión del hilo y el impulso del cuerpo.

ALUMNO 15

Caso 1

- Cuestión 1 *b* Sobre la pelota actúa la fuerza que le aplicó en niño y el peso de la misma.
- Cuestión 2 *c* Sobre la pelota siguen actuando las mismas fuerzas, pero en ese momento

ambas son de la misma magnitud y dirección, pero sentido contrario y se anulan, o sea, su resultante es cero.

Cuestión 3 *d* Sólo actúa el peso de la pelota.

Caso 2

Cuestión 1 *b* Sobre el balón actúa la fuerza que le aplicó el jugador y el peso de éste.

Cuestión 2 *d* Sobre el balón siguen actuando las mismas fuerzas, pero la componente vertical hacia arriba de la fuerza que aplicó el jugador se ha igualado con el peso del cuerpo.

Cuestión 3 *b* Sólo actúa sobre el balón el peso y la componente horizontal de la fuerza que se le aplicó al balón por medio del jugador.

Caso 3

d Actúa una fuerza de atracción hacia la Tierra, una fuerza tangente a su órbita y una fuerza centrífuga.

Caso 4

Cuestión 1 *d* Sobre el péndulo actúa su peso, una fuerza ejercida por el cordón y una fuerza tangente a su trayectoria.

Cuestión 2 *a* En este punto, la fuerza del cordón y el peso se equilibran y sólo queda la fuerza de su trayectoria.

Cuestión 3 *b* Es el mismo caso de la posición A.

Caso 5

b Actúa el peso del péndulo, la fuerza que ejerce el hilo y una fuerza tangente a la trayectoria circular.

Caso 6

Cuestión 1 *a* Actúa sobre la piedra su peso, una fuerza hacia el eje de rotación y una fuerza tangencial donde las dos primeras se anulan.

Cuestión 2 *b* Actúan las mismas fuerzas que en la posición anterior.

Cuestión 3 *a* En este caso, las fuerzas son las mismas, pero el peso y la fuerza centrípeta tienen la misma dirección.

Cuestión 4 *d* Siguen actuando las mismas fuerzas.

ALUMNO 16

Caso 1

- Cuestión 1 *a* La fuerza que se ejerce sobre la pelota es hacia arriba y en dirección vertical.
- Cuestión 2 *b* Cuando la pelota está en el punto más alto llega un momento en que su aceleración es igual a la de la gravedad; permanece en equilibrio por unos instantes.
- Cuestión 3 *d* La pelota cae atáida por la fuerza de gravedad en dirección del centro de la Tierra.

Caso 2

- Cuestión 1 *d* El sentido de la fuerza debe ser en dirección de la canasta.
- Cuestión 2 *a* Antes de comenzar a descender llega a estar en equilibrio, que sería el punto más alto de su trayectoria.
- Cuestión 3 *a* El balón toma esta dirección porque su movimiento describe una parábola.

Caso 3

- b* La Luna gira alrededor de la Tierra debido a la atracción que la Tierra ejerce sobre la Luna.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* El péndulo ejerce una reacción al apoyo y además ejerce una fuerza hacia el centro de la Tierra.
- Cuestión 2 *a* Como el péndulo lleva cierta inercia desde que comenzó su movimiento, su fuerza va en sentido a C.
- Cuestión 3 *b* El péndulo debido a su inercia tiende a producir esa fuerza.

Caso 5

- a* El péndulo gira en sentido de las manecillas del reloj.

Caso 6

- Cuestión 1 *b* Como la piedra está amarrada y no sale de la trayectoria circular que lleva, está en equilibrio.
- Cuestión 2 *d* Debido al movimiento circular, la fuerza que se aplica sobre la piedra es vertical hacia arriba.
- Cuestión 3 *d* Sigue llevando la dirección de esa fuerza.
- Cuestión 4 *b* La fuerza comienza a cambiar su dirección.

ALUMNO 17

Caso 1

- Cuestión 1 *a* Lleva una fuerza vertical hacia arriba. Energía potencial.
- Cuestión 2 *c* Hace una pausa. Energía cinética.
- Cuestión 3 *d* La fuerza de atracción de la Tierra la jala hacia abajo logrando que cambie de dirección. Se vuelve otra vez a convertir en energía potencial.

Caso 2

- Cuestión 1 *d* Es empujada por una fuerza inicial en dirección hacia arriba.
- Cuestión 2 *c* Vuelve a entrar la energía cinética.
- Cuestión 3 *a* Vuelve a entrar la energía potencial y la fuerza de gravedad para cambiar el sentido que llevaba el balón.

Caso 3

- a* Es una fuerza par. Su momento con respecto a la Tierra es positivo.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* Existe la fuerza hacia abajo y la fuerza de la cuerda.
- Cuestión 2 *b* Existe la fuerza de gravedad y la tensión de la cuerda.
- Cuestión 3 *c* Punto donde se inicia y se repite el movimiento.

Caso 5

- e* Existe la fuerza del hilo que la hace girar y el movimiento es hacia arriba.

Caso 6

- Cuestión 1 *b* Por estar en posición a la dirección en que se está girando (en un plano vertical).
- Cuestión 2 *a* Por tener la tendencia a subir al girar.
- Cuestión 3 *d* Por estar en posición del plano vertical.
- Cuestión 4 *a* Tiene la fuerza de la cuerda y la fuerza de la gravedad.

ALUMNO 18

Caso 1

- Cuestión 1 *d* Puesto que al ir hacia arriba la pelota lleva más fuerza que la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *b* Porque en el punto donde la fuerza de gravedad y la fuerza con que ha sido lanzada la pelota se equilibran.
- Cuestión 3 *d* Puesto que solamente actúa sobre ella la fuerza de gravedad.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* Porque al lanzarla, lleva una dirección inclinada y la fuerza de gravedad actúa sobre el peso del cuerpo y también la tangencial.
- Cuestión 2 *c* Porque la pelota ha llegado a un punto donde las fuerzas están equilibradas.
- Cuestión 3 *b* Porque actúa a fuerza tangente y la de la gravedad.

Caso 3

- c* Por la fuerza de gravedad de la Tierra sobre la Luna y la fuerza tangencial de la Luna sobre su trayectoria circular.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Porque actúan la fuerza tangencial, el peso del cuerpo y la tensión que ejerce lo que está sosteniendo el péndulo.

- Cuestión 2 *c* Porque actúan el peso, la tensión y la fuerza tangencial, que hace que el cuerpo trate de salir de su trayectoria.
- Cuestión 3 *b* Por la gravedad en el peso, la tensión del péndulo y la fuerza tangencial.
- Caso 5
- b* Por la fuerza tangencial, el peso del péndulo y la tensión que se ejerce. Deben estar en equilibrio, si no el péndulo se rompería.
- Caso 6
- Cuestión 1 *b* Por el peso de la piedra, la tensión y la fuerza tangencial que trata de sacarla de su trayectoria circular.
- Cuestión 2 *b* Por el peso, la tensión y la fuerza tangencial que intenta cambiar al cuerpo de su trayectoria.
- Cuestión 3 *a* Porque la tensión y el peso son del mismo sentido y se equilibran con la fuerza tangencial.
- Cuestión 4 *d* La tensión se sigue ejerciendo, el peso no cambia y la fuerza tangencial trata de sacarla de su trayectoria.

ALUMNO 19

Caso 1

- Cuestión 1 *a* Se acaba de aplicar una fuerza vertical hacia arriba y el cuerpo tiene su efecto externo.
- Cuestión 2 *c* Aquí ya la fuerza aplicada y la fuerza de gravitación son iguales y el cuerpo está en reposo (aunque no se note).
- Cuestión 3 *b* Está soportando la fuerza de gravitación y es en esa dirección.

Caso 2

- Cuestión 1 *d* La fuerza es aplicada en esa dirección y es más grande que la gravitatoria.
- Cuestión 2 *c* El balón se encuentra en equilibrio con las dos fuerzas que actúan sobre él.
- Cuestión 3 *a* El balón sufre la fuerza aplicada de gravitación con una cierta dirección provocada por la otra fuerza.

Caso 3

- c* Porque si sólo se aplica una fuerza, en caso de la de la Tierra la atraería por completo hasta unirse, y con la otra sola la Luna seguiría un movimiento rectilíneo uniforme.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* Soporta la fuerza de gravedad y el soporte del mismo péndulo del apoyo.
- Cuestión 2 *d* Las fuerzas están sobre la misma línea de acción y en sentido contrario.
- Cuestión 3 *d* La fuerza es más grande que la gravitacional y va con esa dirección.

Caso 5

- b* Porque siempre se aplica en el mismo sentido, ya que está en un plano horizontal.

Caso 6

- Cuestión 1 *b* Porque las fuerzas están en equilibrio en ese punto.
- Cuestión 2 *d* Porque la fuerza va hacia arriba sin una fuerza horizontal.
- Cuestión 3 *b* Porque están en equilibrio las fuerzas verticales.
- Cuestión 4 *c* Se aplica una fuerza horizontal y una vertical hacia abajo produciendo el siguiente efecto externo.

ALUMNO 20

Caso 1

- Cuestión 1 *b* Son la fuerza de gravedad y la fuerza con la que se ha lanzado la pelota, las fuerzas que actúan sobre ella.
- Cuestión 2 *c* La pelota se encuentra en un punto donde su energía cinética pasa a energía potencial para convertirse de nuevo en cinética. No actúa ninguna fuerza sobre ella.
- Cuestión 3 *d* La pelota es atraída por la fuerza de gravedad que la hace regresar al punto de partida.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* El balón es atraído por la fuerza de gravedad y actúa sobre él la fuerza con que se ha lanzado.
- Cuestión 2 *c* El balón permanece estático por unos momentos hasta que la gravedad actúa de nuevo sobre él.
- Cuestión 3 *b* La fuerza con que el balón se lanzó sigue actuando sobre él, pero también es atraído por la fuerza de gravedad.

Caso 3

- c* Es la fuerza de gravedad que la atrae hacia la Tierra y su velocidad que impide que la Luna se acerque demasiado a la Tierra.

Caso 4

- Cuestión 1 *d* Una fuerza que la mantenga unida al cuerpo, la fuerza de gravedad y la fuerza que la obliga a cambiar de posición.
- Cuestión 2 *b* La fuerza de gravedad y la fuerza que la mantiene unida a su cuerpo.
- Cuestión 3 *b* La fuerza de gravedad, la fuerza que la mantiene unida a su origen y la fuerza que la impulsó.

Caso 5

- b* La fuerza de gravedad, la fuerza que la mantiene unida al cuerpo y la fuerza que la obliga a moverse.

Caso 6

- Cuestión 1 *a* La fuerza de gravedad, la que impulsa a la piedra a seguir la trayectoria circular y la que la mantiene unida al hilo.
- Cuestión 2 *b* La fuerza de gravedad, la que la mantiene unida al hilo y la que la hace girar.
- Cuestión 3 *d* La fuerza de gravedad, la que la hace girar y la que la mantiene unida al hilo.

ALUMNO 21

Caso 1

Cuestión 1 *d*

Cuestión 2 *b*

Cuestión 3 *d*

Caso 2

Cuestión 1 *e* (*Dibuja dos fuerzas horizontales hacia la derecha, dos verticales hacia arriba y otra vertical dirigida hacia abajo.*) La fuerza hacia abajo es la fuerza de gravedad y las otras dos fuerzas son las componentes que hacen que la pelota se mueva en una trayectoria de parábola.

Cuestión 2 *e* (*Están dibujadas cuatro fuerzas: una dirigida hacia arriba y la otra hacia abajo, y dos horizontales, ambas hacia la derecha.*) La magnitud de la componente horizontal es mayor, por lo que todavía se desplaza en esta dirección, sin embargo la componente vertical es menor, por lo que ya terminó su impulso y se igualó a la del peso.

Cuestión 3 *e* (*El alumno dibuja una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha y otra vertical, hacia abajo.*) Actúan sobre el balón su peso y la componente horizontal.

Caso 3

d

Caso 4

Cuestión 1 *d*

Cuestión 2 *c*

Cuestión 3 *b*

Caso 5

b

Caso 6

Cuestión 1 *e* (*Hay cuatro fuerzas dibujadas: una vertical hacia arriba, otra horizontal*

hacia la izquierda y dos verticales hacia abajo:) Hacia arriba, la fuerza del hilo. Fuerza de gravedad (\downarrow). Fuerza que provoca la dirección circular (\leftarrow). Fuerza por el impulso de estar girando (\downarrow).

- Cuestión 2 *e* (*Dibuja cuatro fuerzas.*) \leftarrow Fuerza por el impulso de girar. \nearrow Fuerza que da la dirección. \downarrow Gravedad. \rightarrow Del hilo.
- Cuestión 3 *e* (*Aparecen cuatro fuerzas dibujadas.*) \downarrow Del hilo. \downarrow Gravedad. \uparrow Del impulso. \searrow De la dirección.
- Cuestión 4 *e* (*Aparecen dibujadas cuatro fuerzas.*) \downarrow Gravedad. \swarrow Hilo. \nearrow Impulso. \searrow Dirección.

ALUMNO 22

Caso 1

- Cuestión 1 *c* En este ejemplo sólo actúa la gravedad puesto que, después de lanzada, no existe aceleración hacia arriba, entonces no hay una fuerza que la produzca y comienza a frenar su movimiento ascendente por acción de la gravedad.
- Cuestión 2 *a* La aceleración hacia arriba no existía desde A, de tal forma que se continúa con la condición de aceleración hacia abajo producida por g .
- Cuestión 3 *d* El mismo caso que los anteriores. Sólo existe la aceleración de g .

Caso 2

- Cuestión 1 *a* Después del lanzamiento el balón toma un estado de movimiento uniforme con respecto a su trayectoria horizontal, así que sólo se ejerce la acción gravitatoria que lo hace bajar.
- Cuestión 2 *b* La misma razón anterior.
- Cuestión 3 *c* La misma razón de los anteriores.

Caso 3

- b* Sólo la fuerza de gravedad, porque tiene una trayectoria con velocidad angular uniforme y que tiene un radio tal que no le permite hacer caída libre.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* La Tierra ejerce una fuerza que lo hace bajar, pero la cuerda ejerce otra que lo obliga a mantener la trayectoria; de no existir esta fuerza, el movimiento sería de caída libre.
- Cuestión 2 *b* De la misma forma que el anterior, porque la aceleración en sentido horizontal es resultante de la fuerza que se ejerce sobre el péndulo, por la gravedad y por la cuerda.
- Cuestión 3 *c* Un caso similar, la aceleración que se produce de forma tangente a la trayectoria circular es resultante de la fuerza de gravedad y la fuerza de la cuerda.
- Caso 5
- d* La velocidad tangente a la trayectoria circular es constante, las únicas fuerzas que actúan son la del hilo y la fuerza gravitatoria.

Caso 6

Cuestión 1

Cuestión 2

Cuestión 3

Cuestión 4

ALUMNO 23

Caso 1

- Cuestión 1 *c* Porque el peso de la pelota ejerce una fuerza vertical y hacia abajo debido a la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *a* Exactamente igual a la explicación anterior.
- Cuestión 3 *d* Igual a la explicación 1.

Caso 2

- Cuestión 1 *a* El balón está sometido a la aceleración de la gravedad por lo que es vertical y hacia abajo.
- Cuestión 2 *b* Igual a la de arriba.

Cuestión 3 *c* Igual a la primera.

Caso 3

c ↘ porque la Luna sigue su trayectoria y ↗ porque la Tierra atrae a la Luna.

Caso 4

Cuestión 1 *a* ↘ porque está sometido a una fuerza que lo sostiene. ↓ Está sometido a la fuerza de gravedad.

Cuestión 2 *b* Igual a la anterior.

Cuestión 3 *c* Igual a la primera.

Caso 5

d ↗ Porque está sometido a una fuerza que es la que lo sostiene. ↓ Está sometido a la fuerza de gravedad.

Caso 6

Cuestión 1 *b* ↑ la piedra está sometida a la fuerza centrípeta (se está haciendo girar el hilo). ↓ la piedra está sometida a la fuerza de gravedad.

Cuestión 2 *c* → la piedra está sometida a la fuerza centrípeta (porque se está haciendo girar el hilo). ↓ la piedra está sometida a la fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *c* ↓ la piedra está sometida a la fuerza de gravedad. ↓ la piedra está sometida a la fuerza centrípeta (se está haciendo girar el hilo).

Cuestión 4 *a* Igual a la anterior, pero en dirección ↗ y ↓.

ALUMNO 24

Caso 1

Cuestión 1 *b* Por la tercera ley de Newton, ya que a toda acción corresponde una reacción.

Cuestión 2 *a* Ya que en esa posición es su altura máxima y sólo actúa la fuerza de gra-

vedad.

Cuestión 3 *a* Como la pelota perdió la fuerza de subida, la recupera esta fuerza de bajada y sigue actuando la fuerza de gravedad.

Caso 2

Cuestión 1 *b* Como el balón ha sido arrojado, actúa la fuerza de gravedad, la fuerza de empuje.

Cuestión 2 *b* Ya que sólo actúa la fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *b* Ya que recobra su fuerza y actúa la gravedad.

Caso 3

d Ya que la fuerza de gravedad atrae a la Luna y el espacio la jala para que salga de órbita, además de que la Luna tiene una fuerza que la mantiene girando.

Caso 4

Cuestión 1 *d* Porque tiene la tensión, una fuerza que la hizo moverse y la fuerza de gravedad.

Cuestión 2 *b* Ya que sigue habiendo tensión y fuerza de gravedad.

Cuestión 3 *b* Porque recobra la fuerza que la hizo moverse, sigue habiendo tensión y fuerza de gravedad.

Caso 5

b Ya que ha tres fuerzas, las cuales son tensión, gravedad y la fuerza que lo hizo moverse.

Caso 6

Cuestión 1 *b* Por haber tensión y fuerza de gravedad.

Cuestión 2 *b* Debido a que hay tensión, peso y una fuerza de empuje.

Cuestión 3 *d* Porque siguen actuando las mismas fuerzas del inciso anterior.

Cuestión 4 *d* Porque el peso siempre va a ser perpendicular al cuerpo. Las otras dos fuerzas: una es tensión y otra es la fuerza de empuje.

ALUMNO 25

Caso 1

- Cuestión 1 *b* La pelota en el punto A lleva un impulso que le da el niño.
- Cuestión 2 *c* En el punto B la pelota no tiene energía cinética, su energía es potencial, por eso está en reposo.
- Cuestión 3 *c* La pelota empieza a descender y su energía se transforma en cinética.

Caso 2

- Cuestión 1 *a* La fuerza que lleva el balón y la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *c* No existen fuerzas, está en reposo.
- Cuestión 3 *b* La fuerza de gravedad y la fuerza que el muchacho le aplicó al balón.

Caso 3

- c* Actúa la fuerza que hace que la Tierra gire.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* La fuerza que lo empuja hacia abajo.
- Cuestión 2 *b* La fuerza se anula por estar en la misma línea de acción.
- Cuestión 3 *c* La misma fuerza que en la cuestión 1.

Caso 5

- b* La fuerza que la empuja hacia abajo, más la fuerza que hace que el péndulo se mueva.

Caso 6

- Cuestión 1 *a* Existen dos fuerzas, la que hace que la piedra se mueva y la que empuja a la piedra hacia el centro de la Tierra.
- Cuestión 2 *b*
- Cuestión 3 *d* La misma explicación que en la cuestión 1.
- Cuestión 4 *b* La fuerza que hace que la piedra rote.

ALUMNO 26

Caso 1

- Cuestión 1 *b* Actúa una fuerza vertical hacia arriba, porque la pelota fue lanzada, y una hacia abajo por la atracción que el centro de la Tierra ejerce sobre el cuerpo.
- Cuestión 2 *c* Son las dos fuerzas del inciso anterior, pero en esta ocasión en equilibrio, porque la pelota llegó a la altura máxima.
- Cuestión 3 *d* Es la fuerza producida por la atracción entre el centro de la Tierra y el cuerpo.

Caso 2

- Cuestión 1 *b* La fuerza que imprimió el jugador y la fuerza de gravedad actúan sobre el balón.
- Cuestión 2 *c* El balón está en su altura máxima, de ahí comienza a caer. En ese momento hay equilibrio entre la componente vertical de la fuerza de lanzamiento y la de la gravedad.
- Cuestión 3 *a* En este momento la fuerza de gravedad actúa con la componente horizontal de la del lanzamiento para producir esta resultante.

Caso 3

- c* Las fuerzas se deben a la atracción entre ambos cuerpos y al movimiento de la Luna.

Caso 4

- Cuestión 1 *b* El movimiento de derecha a izquierda aunado a la atracción del péndulo y la Tierra producen dicha fuerza.
- Cuestión 2 *a* El péndulo ha llegado a su punto más bajo y sólo ejerce cambio sobre él la fuerza horizontal.
- Cuestión 3 *d* El péndulo está subiendo hacia la izquierda, por lo que se produce esta fuerza.

Caso 5

- c* El péndulo está moviéndose hacia la parte posterior del círculo, pero pasa

antes por la parte izquierda, por lo que la fuerza sería en esa forma.

Caso 6

- Cuestión 1 *d* La piedra tiende a moverse en esa dirección por ser la dirección tangencial al círculo en ese momento.
- Cuestión 2 *d* Por la misma razón que el anterior, dirección tangencial.
- Cuestión 3 *b* Aunque existe atracción entre la piedra y la Tierra, la primera no se ve afectada porque la fuerza que la hace girar lo evita.
- Cuestión 4 *c* La dirección es tangencial al círculo y la piedra va hacia abajo.

ALUMNO 27

Caso 1

- Cuestión 1 *d* Ya que lleva una fuerza de empuje (niño) y la resistencia (gravedad). Claro que la fuerza de empuje debe ser mayor que la gravedad.
- Cuestión 2 *b* Está en completo equilibrio.
- Cuestión 3 *d* Sólo lleva la fuerza de gravedad, ya que en el punto máximo B se puso en equilibrio y de ahí comienza una caída libre.

Caso 2

- Cuestión 1 *c* Ya que debía haber sido lanzada hacia arriba y adelante, y actúa la fuerza de gravedad.
- Cuestión 2 *e* (*Aparecen tres fuerzas, una hacia arriba, otra hacia la derecha y la última hacia abajo.*) Al llegar a su altura máxima se contrarrestan la de la gravedad y la de arriba, sólo queda la de adelante.
- Cuestión 3 *b* La de altura se hizo nula y sólo queda la de adelante y la de gravedad.

Caso 3

- d* Deben estar en equilibrio la fuerza de atracción de la Tierra y la Luna para que no caiga en ella, y si gira debe tener una tercera fuerza.

Caso 4

- Cuestión 1 *a* Actúan la fuerza de gravedad y la fuerza que ejerce el hilo para que no

caiga la pelota.

- Cuestión 2 *c* Ya que lleva una aceleración del punto A y la fuerza del hilo y la gravedad tienen como resultante cero.
- Cuestión 3 *c* El péndulo toma las mismas fuerzas que en el punto A, sólo que en otro sentido.
- Caso 5
- b* Lleva una fuerza tangencial, otra fuerza que es la de la gravedad y la del hilo.
- Caso 6
- Cuestión 1 *a* Es el mismo caso que el de arriba.
- Cuestión 2 *b* Aquí la tangencial va a ser vertical, la del hilo horizontal y la de la gravedad vertical.
- Cuestión 3 *e* (El alumno ha dibujado una fuerza horizontal dirigida hacia la derecha y otra vertical, hacia abajo.) Ya que como lleva una fuerza centrípeta, tiende a botar la piedra, y necesita una fuerza F capaz de detenerla.
- Cuestión 4 *d* Presenta una tensión en el hilo, la de gravedad y la tangencial.

VII.2 Anexo 2

TABLA DE RESPUESTAS AL CUESTIONARIO

Cuestión	Caso 1			Caso 2			3	Caso 4			5	Caso 6				Aciertos
	1	2	3	1	2	3		1	2	3		1	2	3	4	
Alumno 1	d	b	c	c	a	d	c	d	c	b	b	a	b	a	d	4
2	b	a	d	b	d	e	c	a	d	c	b	a	b	a	d	9
3	b	c	d	b	e	b	d	b	a	d	c	a	b	a	d	1
4	b	c	d	b	d	b	d	d	a	b	b	a	a	a	d	1
5	b	c	d	b	d	b	c	d	a	b	c	a	a	b	e	1
6	a	b	d	b	d	b	c	a	b	b	a	a	c	c	a	7
7	b	c	a	b	b	c	b	d	c	c	b	a	a	d	b	7
8	b	c	d	d	d	b	a	d	b	b	e	c	a	c	b	5
9	b	a	d	c	d	b	d	d	b	b	b	a	b	d	d	6
10	b	a	d	b	c	b	c	d	a	d	b	e	d	b	e	6
11	b	c	d	b	e	b	e	d	c	b	a	a	a	d	b	6
12	b	b	d	b	d	b	c	d	c	b	b	a	b	a	d	5
13	d	b	d	c	d	b	d	d	c	b	b	a	b	d	b	4
14	a	b	d	b	d	c	a	d	c	b	b	b	a	a	d	3
15	b	c	d	b	d	b	d	d	a	b	b	a	b	a	d	3
16	a	b	d	d	a	a	b	a	c	b	a	b	d	d	b	7
17	a	c	d	d	c	a	a	a	b	c	e	b	a	d	a	9
18	d	b	d	b	c	b	c	d	c	b	b	a	b	a	d	4
19	a	c	d	d	c	a	c	a	d	d	b	b	d	b	c	4
20	b	c	d	b	c	b	c	d	b	b	b	a	b	d	a	5
21	d	b	d	e	e	e	d	d	c	b	b	e	e	e	e	3
22	c	a	d	a	b	c	b	a	b	c	d					14
23	c	a	d	a	b	c	c	a	b	c	d	b	c	c	a	19
24	b	a	a	b	b	b	d	d	b	b	b	b	b	d	d	7
25	b	c	c	a	c	b	c	a	b	c	b	a	a	d	b	8
26	b	c	d	b	c	a	c	b	a	d	c	d	d	b	c	3
27	d	b	d	c	e	b	d	a	c	c	b	a	b	e	d	5
Total a	5	6	2	3	2	4	3	9	5	0	3	16	7	7	4	156
Total b	15	9	0	15	4	16	3	2	9	15	17	6	12	3	7	
Total c	2	12	2	4	7	4	12	0	10	7	3	1	2	3	2	
Total d	6	0	23	4	10	1	8	15	2	4	2	1	4	10	11	
Total e	0	0	0	1	4	2	1	0	0	0	2	2	1	3	2	
Más frecuente	b	c	d	b	d	b	c	d	c	b	b	a	b	d	d	
Correcta	c	a	d	a	b	c	b	a	b	c	d	b	c	c	a	