

**FACULTAD REGIONAL ROSARIO
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
ÁREA POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

TESIS DE MAESTRÍA EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

**LA INTEGRACIÓN CONCEPTUAL EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
PARA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LOS PRINCIPIOS DE
NEWTON EN EL NIVEL UNIVERSITARIO BÁSICO.**

**Un estudio comparativo de una situación abordada como problema de lápiz
y papel y como actividad experimental.**

Dra. Miriam Marcela Scancich

**ROSARIO
Mayo de 2012**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

TESIS DE MAESTRÍA EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

**LA INTEGRACIÓN CONCEPTUAL EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
PARA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LOS PRINCIPIOS DE
NEWTON EN EL NIVEL UNIVERSITARIO BÁSICO.**

**Un estudio comparativo de una situación abordada como problema de lápiz
y papel y como actividad experimental.**

Dra. Miriam Marcela Scancich

DIRECTORA

Dra. Marta Beatriz Massa

CO DIRECTORA

Dra. Marta Susana Yanitelli

ROSARIO

Mayo de 2012

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Muy especialmente quiero agradecer a la Dra. Marta Yanitelli, quien me acompañó, aconsejó y guió firmemente en la elaboración de esta Tesis. Supo dar generosamente e incondicionalmente sus conocimientos, su tiempo y su amistad siendo un pilar fundamental en este arduo pero gratificante camino de la investigación. Gracias.

A la Dra. Marta Massa, quien con sus generosos e invaluable aportes le dio una impronta a este trabajo y me apoyó y acompañó humana y académicamente en mis emprendimientos. Gracias.

A mi compañero de vida, Nestor, porque su apoyo incondicional a mi superación me ayuda a cumplir mis metas todos los días.

A mi familia, mami, papi, Ivana y Mariana, quienes están siempre presente en todos mis logros como en la vida misma. Gracias por todo.

A Omar, amigo incondicional, siempre presente con sus invaluable consejos.

A Miguel, gran amigo y compañero de trabajo quien comparte mis logros con alegría.

Institucionalmente a la Universidad Nacional de Rosario que, a través de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura brindó su apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente y muy especialmente quiero dedicar esta tesis a mis sobrinos, Emma y Facu, mis dos solcitos. Los amo.

M.M.S

Rosario, Mayo de 2012

RESUMEN

Un aspecto importante en la formación de los futuros ingenieros es adquirir un conocimiento global en el área científica y tecnológica que les permita encarar con eficiencia tareas de resolución de problemas en el contexto profesional, de control como así también de diseño. El desarrollo de las capacidades para afrontar tales tareas es un objetivo de la formación del ingeniero desde el inicio de la carrera. Desde 1998, en la asignatura Física I de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario se viene trabajando en cuestiones vinculadas con el desarrollo de procesos de comprensión de enunciado, de modelización y de organización de estrategias de resolución de problemas. Desde esta perspectiva, esta tesis estuvo orientada a conocer las formas en que los estudiantes de Física I re-estructuran los conocimientos de nivel concreto en el plano mental, las ideas que desarrollan, los niveles de abstracción que alcanzan y las habilidades cognitivas que ponen en juego cuando resuelven una situación en forma de problema de lápiz y papel como problema experimental semi-estructurado.

Como referencial teórico se consideraron las teorías del Aprendizaje Significativo de Ausubel y del Procesamiento de la Información de Newell y Simon. La investigación se desarrolló en dos fases apelando a una perspectiva cualitativa de perfil interpretativo con algunos aportes cuantitativos. La primera fase estuvo orientada a analizar los procesos cognitivos que desarrollan los estudiantes cuando se enfrentan a una situación problemática de lápiz y papel. En la segunda fase se detectaron los modos de resolución que desarrollan frente a una actividad experimental similar a la de la primera fase, a partir de los niveles de conceptualización alcanzados. Finalmente, en base a las características de las clases detectadas en ambas fases de la investigación, se identificaron los aportes que emergieron de la conceptualización de la actividad experimental.

ABSTRACT

Scientific and technological understanding is very important for the training of future engineers in order to enable them to deal effectively problem solving in professional context, control tasks and design. The development of the required competences is a goal of engineering education from the initial state. Since 1998, specific activities centered on the comprehension of problem, modeling and solving strategies have been developed in the course of Physics I at the Faculty of Exact Sciences, Engineering and Surveying of the National University of Rosario. From this perspective, this thesis was aimed to discover the way in which students re-structure their mental level knowledge, the ideas that they develop and cognitive skills they perform when they solve a situation that is introduced like the so-called problem of "pen and paper" and like an experimental problem.

The theories of Meaningful Learning of Ausubel and of Information Processing of Newell and Simon were considered. The research was conducted in two phases, appealing to a qualitative perspective with an interpretative profile and some quantitative contributions. The first phase was aimed to analyze cognitive processes that students develop when they are faced to a situation introduced like the so-called problem of "pen and paper". Resolution modes and different levels of conceptualization, developed by the students in a similar experimental situation, were detected in the second phase. Finally, the contributions that emerged from the conceptualization of experimental activity were identified and differences and similarities of characteristics in problem solving allowed organizing a typology of students as solvers.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación por el tema.....	1
1.2 El contexto de la investigación	4
1.3 La resolución de problemas en Física	8
1.4 La problemática y las preguntas de la investigación	12
1.5 Objetivos	15
1.6 Estado actual del conocimiento sobre el tema	15
1.7 Síntesis de los referentes teóricos	18
1.8 Breve descripción de la metodología	19
1.9 Síntesis explicativa de los capítulos constitutivos.....	21
2 REFERENTES TEÓRICOS	22
2.1 Introducción	22
2.2 Los Principios de Newton en la explicación del movimiento	23
2.2.1 Primer Principio de Newton o Principio de inercia	24
2.2.2 Segundo Principio de Newton o Principio de masa.....	26
2.2.3 Tercer Principio de Newton o Principio de acción y reacción.....	27
2.2.4 Validez y limitaciones de los Principios de Newton	27
2.3 Descripción de las interacciones básicas.....	29
2.4 Desarrollo teórico de la situación problemática, base de esta investigación.....	33
2.5 La Psicología Cognitiva y el aprendizaje	39
2.5.1 La teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel	39
- Aprendizaje por descubrimiento y aprendizaje por recepción	41
- Tipos de aprendizaje significativo.....	44
- Teoría de la asimilación	45
- Diferenciación progresiva y reconciliación integradora	47
- Resolución significativa de problemas.....	48
2.5.2 La teoría del procesamiento de la información de Newell y Simon en la resolución de problemas	51

- El proceso de comprensión	53
- El proceso de búsqueda.....	56
2.6 Los referentes teóricos y el contexto de la investigación.....	58
3 METODOLOGÍA.....	60
3.1 Introducción	60
3.2 Enfoque metodológico.....	61
3.3 Primera fase: Resolución del problema de lápiz y papel.....	62
3.3.1 Instrumento de recolección de datos.....	63
3.3.2 Participantes.....	65
3.3.3 Procesamiento de los datos	66
- Procedimiento de análisis de los protocolos.....	70
- Análisis de la categoría 1: Enunciado de condiciones de trabajo....	73
- Análisis de la categoría 2: Representación de fuerzas.....	73
- Análisis de la categoría 3: Procesos asociados a la resolución.....	73
- Análisis de la categoría 4: Lenguaje	74
- Análisis de semejanzas en las producciones de los estudiantes y conformación de clases	75
3.4 Segunda fase: Resolución de la actividad experimental como problema semi- estructurado	75
3.4.1 Selección de los participantes	76
3.4.2 Instrumento de recolección de datos.....	77
3.4.3 Procesamiento de los datos	78
3.5 Aportes derivados del desarrollo de la actividad experimental	81
4 RESULTADOS	82
4.1 Introducción	82
4.2 Primera fase: Resolución del problema de lápiz y papel.....	83
4.2.1 Resultados de la resolución desarrollada por los estudiantes	83
4.2.2 Tipología emergente de los modos de resolución del problema	102
4.2.3 Acerca de las frases del enunciado que generaron dudas en los estudiantes	105

4.3 Segunda fase: Resolución de la situación experimental	106
4.3.1 Resultados derivados del análisis de los informes escritos.....	106
4.3.2 Características emergentes de los modos de resolución del problema experimental.....	113
4.4 Aportes derivados del desarrollo de la actividad experimental	116
5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	122
5.1 Introducción	122
5.2 Acerca de la resolución del problema de lápiz y papel	123
- Primer nivel de análisis. Aspectos generales del razonamiento activado	123
- Segundo nivel de análisis. Construcción del espacio del problema.....	129
5.3 Acerca de la resolución de la situación experimental	137
5.4 Aportes que devienen de la situación experimental.....	142
5.5 Algunas posibles implicancias	145
5.6 Nuevos interrogantes.....	147
REFERENCIAS	149
ANEXOS	163
I Matriz de datos correspondiente a las categorías y modalidades encontradas en la Primera Fase de la investigación	164
II Guía de Trabajo Práctico utilizada en la Segunda Fase de la investigación.....	166
III Tablas correspondientes a los protocolos analizados en la Segunda Fase de la investigación	170

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La Enseñanza de las Ciencias, en particular, de la Física en el nivel universitario básico se entiende como una actividad sistemáticamente organizada para promover la construcción de teorías mediante un aprendizaje reflexivo. Tal aprendizaje está sustentado en la concepción que sólo es posible retener, comprender y usar activamente el conocimiento a través de experiencias donde los estudiantes puedan reflexionar sobre lo que están aprendiendo.

El desafío docente consiste en el planteo de estrategias que posibiliten que los estudiantes adquieran nuevos conocimientos, habilidades y valores que les permitan ir conformando criterios propios necesarios para su futuro desenvolvimiento profesional.

Desde esta perspectiva, en este capítulo se expone la motivación que ha dado lugar a la elección del tema de la presente investigación, su importancia en el campo de la docencia universitaria y, en particular, para la enseñanza de la Física en la formación básica del ingeniero. Se presentan las cuestiones que fundamentaron el desarrollo de esta tesis y los objetivos definidos para producir un conocimiento que favorezca el desarrollo intelectual de los estudiantes. Se mencionan, además, algunos antecedentes que delimitan el estado actual de la investigación educativa en esta línea y que han orientado la selección de algunos lineamientos metodológicos. Finalmente, se presentan aspectos generales de la forma en que se ha estructurado la investigación comentando el contenido de los capítulos que la componen.

1.1 Motivación por el tema

Dado el perfil de las carreras de Ingeniería, un aspecto importante que se plantea, desde un punto de vista formativo, es lograr en el estudiante un conocimiento tanto en el área científica como tecnológica a fin de capacitarlo para encarar actividades de

diseño de productos, de desarrollo de nuevas tecnologías o para responder con eficiencia y rapidez en tareas de control y gestión.

La vertiginosa evolución del mundo de hoy hace que el perfil del ingeniero se ajuste en forma continua. Esto requiere una adecuada preparación para resolver situaciones nuevas y una actualización permanente. Consecuentemente, el profesional de la Ingeniería debe adquirir una fuerte formación en principios conceptuales básicos y competencias específicas para enfrentar problemas y resolverlos con máxima capacidad con una mente ágil y flexible conforme se van presentando.

Esto demanda al docente el compromiso y la responsabilidad de generar instancias para que el estudiante desarrolle la capacidad de manejo de situaciones inesperadas, consolidando actitudes para la solución de problemas no tradicionales; potencie la capacidad de abstracción y de reflexión crítica, para posibilitar la creatividad y así generar respuestas a problemas nuevos, no triviales desde el inicio de su formación.

En este sentido, en la cátedra de Física I de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), la cual integro desde 1998, se viene trabajando en una propuesta centrada en la formación de competencias basadas en la resolución de problemas con complejidad creciente. Asimismo, a través de experiencias de laboratorio se promueve el desarrollo de acciones que permitan al estudiante identificar variables relevantes, modelizar, organizar estrategias, ejercitar técnicas, tomar decisiones, analizar los alcances de los resultados obtenidos y elaborar conclusiones. Se ofrece, así, un espacio importante para la construcción de estructuras conceptuales y esquemas explicativos que permiten transitar desde situaciones modelizadas, generalmente presentadas como problemas de lápiz y papel, hacia situaciones concretas como las que se presentan en el laboratorio.

Desde esta perspectiva, en mi experiencia como docente universitaria he podido reconocer dificultades en los estudiantes al resolver un problema de lápiz y papel, que luego se ponen en evidencia en el laboratorio al abordar situaciones más complejas en un contexto real. Estas dificultades están relacionadas tanto con la comprensión de la situación desde un punto de vista físico como con la articulación

de estrategias para su resolución. Aún en casos de resolución satisfactoria, si bien hacen uso adecuado de estructuras formales, no siempre comprenden los principios que se aplican en ese caso particular y cuál es la relación entre ellos.

En consecuencia, el reconocimiento de estas dificultades se constituyó en el comienzo de mi interés para profundizar en el estudio de las dificultades de los estudiantes que me orientaran en la búsqueda de estrategias didácticas superadoras de esta problemática. Como consecuencia, en el año 2000, comencé a tomar contacto con investigaciones en resolución de problemas que devienen del campo de la Didáctica de las Ciencias, en particular, en Física, a través de mi incorporación en el Grupo de Conceptualización en la Enseñanza de las Ciencias radicado en la FCEIA de la UNR.

Es así que, como docente de laboratorio de la cátedra de Física I, me interesé en el desenvolvimiento de los estudiantes cuando se enfrentan a una situación real teniendo en cuenta que los contenidos conceptuales y procedimentales fueron abordados previamente en las clases de teoría y de práctica de problemas de lápiz y papel. En particular, me interesé por sus dificultades para establecer vínculos entre la resolución de un problema de lápiz y papel que resuelven en el aula y una situación problemática en forma de actividad experimental, en la que manipulan instrumentos de medición para obtener información específica y analizan las condiciones del experimento, comparándolas con las de una situación ideal.

Esto motivó que el tema de investigación de esta tesis se focalizara en el estudio de los modos de resolución que los estudiantes activan cuando resuelven una situación problemática presentada como problema de lápiz y papel y como actividad experimental en el contexto real de laboratorio. En particular, me centré en indagar sobre los niveles de conceptualización que desarrollan, los procedimientos que utilizan y la valoración que realizan de los resultados obtenidos. Me importaba encontrar indicios que permitieran reconocer eventuales niveles de articulación entre las prácticas de problemas y de laboratorio, identificar los posibles aportes que devienen de la actividad experimental en tanto problema semi-estructurado y reconocer los procesos cognitivos que derivan en un aprendizaje significativo.

La investigación desarrollada en esta tesis está apoyada en el convencimiento de que los resultados derivados de la misma constituyen aspectos fundamentales en la búsqueda de estrategias que permitan articular las prácticas de resolución de problemas de lápiz y papel con las de situaciones experimentales, de manera de lograr en los estudiantes un aprendizaje significativo. En este sentido, el trabajo estuvo orientado por la formación recibida en esta Maestría que derivó en un proceso reflexivo sobre mi práctica docente por la emergencia de aspectos que suelen quedar ocultos en las situaciones cotidianas en el aula y en el laboratorio.

1.2 El contexto de la investigación

Los planes de estudio de las carreras de Ingeniería de la FCEIA de la UNR (Resolución N° 283/95 CD) tienen como propósito formar graduados universitarios con “un profundo conocimiento de las Ciencias Básicas y de las Tecnologías Básicas y Aplicadas. Esto permitirá al graduado:

- abordar con idoneidad situaciones problemáticas típicas de la profesión,
- producir innovaciones con capacidad creadora en el contexto de su actividad,
- analizar y replantear problemas,
- aplicar metodologías de investigación,
- actualizar permanentemente los conocimientos,
- tomar decisiones e integrar y conducir equipos de trabajo,
- ser consciente de la necesidad de preservar el medio ambiente,
- tener una actitud crítica y ética en el ejercicio de la profesión.”

Las asignaturas que corresponden a las Ciencias Básicas (Matemática, Sistemas de Representación, Física y Química) se dictan durante los dos primeros años de la carrera en el marco del denominado Ciclo Básico, común a todas las carreras, a fin de desarrollar los contenidos conceptuales y procedimentales sobre los que se asientan y fundamentan las asignaturas del Ciclo Profesional.

En particular, la asignatura Física I se desarrolla en el segundo cuatrimestre de primer año, abordando los contenidos teórico – prácticos de la Mecánica Clásica. Esta asignatura se organiza con un enfoque unificador basado en el denominado esquema de interacción (Mulhall y Massa, 1987). El mismo se introduce como

estrategia para iniciar un proceso racional de construcción de conocimiento sobre la base de los siguientes ejes: identificación del sistema de estudio, el ambiente y las interacciones; caracterización del estado mecánico del sistema; consideración de la relatividad del movimiento atendiendo al sistema de referencia utilizado para su descripción y modelización como recurso de representación del evento físico y como soporte para la estructuración conceptual de una teoría física.

Este esquema consta de una parte descriptiva, vinculada con la caracterización de los elementos participantes, y una parte explicativa que busca la interpretación de los procesos implícitos mediante el uso de principios, relaciones y leyes causales. La modelización, junto con los entes formales seleccionados que enriquecen el lenguaje y proveen instrumentos operativos, se transforma en la representación básica sobre la que se asienta el proceso dinámico de la explicación.

Así se procede al estudio gradual de los distintos tipos de movimientos, en función de las interacciones presentes, vinculándolos al contexto concreto, ya sea correspondiente a situaciones cotidianas como a otras de interés desde el punto de vista profesional. Los distintos modelos conceptuales, como sistemas representativos simplificados, se incorporan en forma progresiva, discutiendo sus condiciones de validez en el análisis de los movimientos. De este modo, la identificación de las interacciones, el reconocimiento de las condiciones impuestas y la modelización se transforman en aspectos relevantes para la interpretación de los movimientos.

Por otra parte, los estudiantes que acceden a la FCEIA evidencian ciertas características formativas que dificultan el acceso al conocimiento en los primeros cursos universitarios. En su forma de pensamiento se manifiestan, en muchos casos, aspectos basados en el sentido común y en las percepciones sensoriales cotidianas que parecieran entrar en tensión con los conceptos introducidos en la escuela secundaria. A continuación se detallan las características más relevantes:

a) Heterogeneidad: existencia de grupos diferenciados en cuanto al nivel de conocimiento que deviene de la escuela secundaria; el tiempo destinado al estudio por razones laborales, deportivas e intereses personales; las dificultades de adaptación de los estudiantes provenientes de otras localidades y el ritmo de las actividades curriculares de la carrera.

b) Debilidades relacionadas con estrategias cognitivas:

- una marcada tendencia a memorizar conceptos, relaciones, métodos de resolución de problemas,
- dificultades para modelizar situaciones (relaciones entre situaciones concretas y sus representaciones),
- dificultades en la formulación de hipótesis,
- dificultades en la comprensión de los enunciados de los problemas,
- tendencia a encarar la resolución de problemas buscando la “fórmula” que les permita “calcular”,
- dificultades para encarar situaciones nuevas en forma independiente,
- escaso dominio de técnicas experimentales básicas,
- tendencia a restar valor al trabajo experimental frente al campo teórico.

c) Carencia de técnicas de estudio adecuadas.

d) Tendencia a adoptar una actitud pasiva y de aceptación acrítica del discurso del docente y/o del texto.

e) Dudas acerca de una acertada elección de la carrera, en muchos casos.

f) Falta de dominio de estructuras formales básicas -análisis de funciones, operatoria vectorial, cálculo diferencial e integral, sistemas de ecuaciones, etc.- en estudiantes que acceden al cursado sin haber aprobado los cursos de nivelación previos de Matemática.

Estos aspectos inciden significativamente en el aprendizaje de Física I que requiere, no sólo el dominio de formalismos matemáticos básicos, sino el desarrollo de un pensamiento de naturaleza causal (Pozo, 1987, 1996); la consideración de referentes concretos y su modelización; la identificación de interacciones y la construcción de representaciones para operar con sus efectos (Buteler, Gangoso, Brincones Calvo y González Martínez, 2001; Coleoni, Otero, Gangoso y Hamity, 2001; Koedinger y Nathan, 2004; Llonch, Sánchez y Massa, 2000; Llonch, Sánchez, Massa y D’Amico, 2001; Massa y D’Amico, 2003; Sánchez, Massa y Rosolio, 2008; Maturano, Mazzitelli y Macías, 2006). Dado que el aprendizaje de Física I requiere de conceptos matemáticos previos, en el diseño curricular su cursado se ubica en el segundo cuatrimestre de la carrera, con posterioridad al dictado de las asignaturas

Análisis Matemático I y Álgebra I, que contribuyen con contenidos relacionados con el lenguaje formal, la operatoria y los procesos de análisis. En particular, cabe mencionar que existe correlatividad entre Física I y Análisis Matemático I.

Desde el punto de vista didáctico, la asignatura Física I promueve que el estudiante se enfrente en forma progresiva con situaciones problemáticas cada vez más complejas e integradoras que debe resolver, poniendo en juego no sólo su estructura conceptual sino también su creatividad. En dicha actividad se debe analizar y muchas veces replantear el problema para alcanzar una solución adecuada.

La aplicación de metodologías asociadas con la construcción del conocimiento físico se implementa tanto en el desarrollo de las actividades de laboratorio como en aquellas asociadas a la resolución de problemas de "lápiz y papel" (Yanitelli, Rosolio y Massa, 2003, 2005; Vásquez, Bustos, Núñez y Mazzitelli, 2004). Se fomenta el trabajo grupal tanto en las clases de práctica de problemas como en las actividades experimentales y en la discusión de temas que tienen que ver con el marco teórico de la Mecánica. Se incentiva una actitud crítica por parte del estudiante frente a los textos, los enunciados de los problemas, las actividades de carácter experimental y las situaciones problemáticas presentes en todas las instancias de evaluación.

La manera en que se relaciona el proceso de enseñanza -involucrando contenidos, procedimientos y materiales curriculares- y el proceso de aprendizaje promovido, ha sido encarado a través de investigaciones que estudiaron, en particular, la comprensión de los enunciados de problemas (Buteler et al., 2001; Jonassen, 2003; Massa, Sánchez, Llonch y D'Amico, 2000; Sanjosé, Solaz-Portolés y Valenzuela, 2009; Solaz-Portolés y Sanjosé López, 2007a); la modelización (Clement, 2000; Ferreira y Justi, 2005; Gilbert, Boulter y Elmer, 2000; Halloun, 2004; Justí, 2006; Justi y Gilbert, 2003; Massa, Sánchez y Llonch, 2001); los procesos de razonamiento de los estudiantes al abordar diferentes situaciones problemáticas de lápiz y papel (Coleoni, Gangoso y Hamity, 2007; Coleoni et al., 2001; Massa, Llonch y Sánchez, 2001; Massa y Sánchez, 2002; Massa, D'Amico y Llonch, 2004; Massa, Llonch y D'Amico, 2005; Massa, D'Amico y Llonch, 2008; Savelsberg, De Jong y Ferguson-Hessler, 2002). Estas investigaciones han puesto de manifiesto la importancia de los procesos de interacción entre el conocimiento declarativo y el procedimental durante el aprendizaje. Como así también, la influencia de la incorporación de situaciones

problemáticas de contexto cotidiano o del ámbito profesional en la organización progresiva de la estructura conceptual de la Mecánica.

Desde la cátedra de Física I se considera de fundamental importancia profundizar el estudio del complejo proceso de comprensión de los enunciados, de la modelización consecuente, así como el análisis de las actuaciones de los estudiantes ante las diversas situaciones problemáticas que se proponen. Dicho análisis se extiende al trabajo experimental, ya que posibilita la adquisición dinámica de criterios metodológicos; la selección, el análisis y control de las variables involucradas en un determinado fenómeno; la familiarización y manipulación de los equipos experimentales; la formación de criterios para establecer la confiabilidad de los resultados mediante el análisis de las incertezas de las mediciones. Los aspectos emergentes de las actividades desarrolladas son relevantes por cuanto sientan las bases de la actuación de los estudiantes en otras asignaturas de cursado posterior tanto en el Ciclo Básico como en el Profesional.

1.3 La resolución de problemas en Física

La resolución de problemas involucra actividades más complejas que la que habitualmente se le asigna como campo de aplicación de conceptos, principios y leyes. Implica la búsqueda de posibilidades, evidencias y metas, la elaboración de inferencias, predicciones, supuestos, argumentos, ejemplos y contraejemplos para validar o refutar lo que se piensa o ejecuta. Todos ellos son procesos identificados como característicos del razonamiento (Carcavilla y Escudero, 2004; Garret, 1989; Guisasola, Zubimendi, Almudí y Ceberio, 2007; Ramírez Castro, Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1994; Stewart y Hafner, 1991; Solaz-Portolés y Sanjosé, 2006 y 2007b; Vásquez et al., 2004).

El hecho de plantear problemas es fundamental para avanzar en el conocimiento. Por ello es importante que sean adecuados para el estudiante; es decir, que constituyan un desafío para él sin que le parezcan insolubles. En este sentido, es importante que perciba que el nuevo problema opera en una zona de frontera entre lo conocido y lo desconocido. Tal frontera difiere para cada estudiante en función de sus dificultades actuales y sus potenciales posibilidades para superarlas. Los

estudiantes deben apropiarse de las situaciones problemáticas, ya que sólo así constituirán un problema para su conocimiento. Asimismo, se deben situar en su conocimiento, ligado al mundo sensorial, para sobrepasarlo, comenzando por ponerlo en duda, racionalizándolo, criticándolo, diversificando hipótesis, precisando razonamientos.

Frente a un problema de lápiz y papel, los estudiantes deben implicarse en una actividad compleja y creativa de razonamiento para recrear, imaginativamente o en forma concreta, la situación planteada (Escudero y Jaime, 2007), lo cual contribuye a diluir las diferencias que se dan entre las prácticas de laboratorio y los problemas de lápiz y papel (Cortés Gracia y de la Gándara Gómez, 2006; Gil Pérez et al., 1999; Guisasola et al., 2007).

La formulación de hipótesis, fase fundamental en el proceso de resolución, constituye una actividad que permite a los estudiantes explicitar sus ideas acerca de las variables que van a ser consideradas, así como sobre la naturaleza de su influencia. Por otro lado, el análisis de los resultados favorece el planteo de conflictos cognitivos al contrastar los resultados obtenidos a la luz de las hipótesis formuladas y del marco teórico con el que se ha trabajado.

Un modelo de enseñanza y de aprendizaje, fundamentado epistemológicamente en la construcción del conocimiento científico, que contempla estos aspectos es el *modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación* (Gil Pérez y González, 1993; González, 1994). El mismo consiste en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los estudiantes puedan considerar de interés. Los problemas abiertos ofrecen la posibilidad de eliminar los datos y las precisiones que caracterizan los enunciados cerrados habituales, permitiendo generar una resolución acorde con las características del trabajo científico.

Otro abordaje que promueve en los estudiantes el desarrollo de habilidades tanto de análisis conceptual como de resolución de problemas, es el propuesto por Leonard, Gerace y Dufresne (2002). La metodología didáctica diseñada favorece tanto la comprensión conceptual profunda como la capacidad de resolver problemas eficientemente a través de enfocarse en el análisis y el razonamiento como un puente entre las dos.

Desde un punto de vista constructivista resulta esencial asociar explícitamente la construcción de conocimientos a problemas. Una característica fundamental del tratamiento científico de los problemas es tomar las ideas que se tienen como simples hipótesis de trabajo que es necesario controlar, intentando, además, imaginar otras hipótesis. Ello concede un status diferente a las situaciones de conflicto cognoscitivo. “El aprendizaje de las ciencias es concebido así, no como un simple cambio conceptual sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y actitudinal” (Gil Pérez et al, 1999, p.317).

A menudo, esta orientación investigativa del aprendizaje parece ser una actividad exclusiva del trabajo de laboratorio dejando de lado actividades fundamentales como pueden ser la lectura o la escucha atenta de una exposición. Esta falencia que asimila trabajo científico a trabajo de laboratorio, a menudo suele transmitirse a los estudiantes.

Sin embargo existe un amplio consenso en considerar las prácticas de laboratorio como ocasión para familiarizar a los estudiantes con el trabajo científico (Beney y Séré, 2001; García Sastre, Insausti y Merino, 2003; Séré, 2002a). Ello facilita el enriquecimiento del conocimiento con la inclusión de aspectos clave de la actividad científica, tales como la formulación de hipótesis, la consideración de las condiciones para la modelización, la estimación de las incertezas en las mediciones, la inferencia de relaciones y sus interpretaciones.

Gil Pérez y Valdés Castro (1996) consideran que “una práctica de laboratorio que pretenda aproximarse a una investigación ha de dejar de ser un trabajo exclusivamente experimental e integrar muchos otros aspectos de la actividad científica igualmente esenciales” (p.15). Agrupan dichos aspectos en diez puntos:

1. Presentar situaciones problemáticas abiertas con objeto de que los estudiantes puedan tomar decisiones para precisarlas y entrenarse.
2. Favorecer la reflexión de los estudiantes sobre el interés de las situaciones propuestas que dé sentido a su estudio y evite un análisis descontextualizado.

3. Potenciar los análisis cualitativos, significativos que ayuden a comprender las situaciones planteadas.
4. Plantear el enunciado de hipótesis como actividad central de la investigación científica y la fundamentación de dichas hipótesis.
5. Dar importancia a la elaboración de diseños y a la planificación de la actividad experimental por los propios estudiantes y la incorporación de la tecnología actual a los diseños.
6. Plantear el análisis exhaustivo de los resultados bajo los conocimientos previos, las hipótesis planteadas y los resultados de otros investigadores.
7. Plantear la consideración de eventuales perspectivas.
8. Solicitar un esfuerzo de integración que considere la contribución del estudio realizado a la construcción de conocimientos.
9. Conceder importancia a la elaboración de memorias científicas o informes que reflejen el trabajo realizado.
10. Potenciar el trabajo científico colectivo, organizando equipos de trabajo y ayudando a la interacción entre cada equipo. Mostrar que los resultados de una persona o de un solo equipo no alcanzan para verificar o falsear una hipótesis y que el cuerpo de conocimientos, a través del consenso, constituye la consolidación del trabajo realizado por la comunidad científica.

Salinas de Sandoval, Gil Pérez y Cudmani (1995a y b) han elaborado una propuesta para las prácticas de laboratorio de Física Básica universitaria, basada en el tratamiento de situaciones problemáticas de interés para los estudiantes y que se abordan con estrategias coherentes con un desarrollo científico. Sus resultados muestran que los estudiantes aportan criterios que ayudan a formular planteamientos precisos de los problemas a investigar, colaboran criteriosamente en la formulación y fundamentación de hipótesis, sugieren aspectos concretos que ayudan a definir diseños de montajes experimentales con los cuales controlar el cumplimiento de las

hipótesis, procesan correctamente los datos y elaboran conclusiones a la luz de un marco teórico explícito y de las hipótesis bajo control.

1.4 La problemática y las preguntas de la investigación

La resolución de problemas genera cierto desconcierto y tensión en los estudiantes cuando se enfrentan a esta tarea en un primer curso de Física Básica universitaria, ya que no están habituados a enfrentarse con: la ambigüedad característica de las situaciones semi-estructuradas; la imposición de condiciones simplificadoras; el razonamiento en términos de hipótesis; el intercambio y la contrastación de los resultados entre distintos grupos de trabajo.

Las dificultades se hacen significativas por cuanto la mayoría de los estudiantes terminan sus estudios secundarios sin haber alcanzado el nivel de razonamiento esperado para encarar la resolución de cuestiones semi-estructuradas, como lo muestran diversos estudios (Angelone, Pons, Reynares, Sorribas y Széliga, 2010; Massa et al., 2000, 2001, 2004 y 2008; Vázquez Bernal, Jiménez Pérez, Mellado Jiménez, Martos Carrasco y Taboada Leñero, 2006).

En la práctica docente en el área de Física en la escuela media persiste la preeminencia de tratamientos de problemas cerrados, orientados hacia el afianzamiento de conceptos parciales mediante la ejercitación como refuerzo, que no contribuye a revertir esta situación. Pocos docentes proponen cuestiones con enunciados narrativos o con información que debe ser extraída de otras fuentes y situaciones experimentales que deben ser abordadas como un ciclo de investigación.

Por otra parte, los estudiantes que acceden al curso de Física I de la FCEIA proceden de establecimientos educativos con diferentes orientaciones en el Ciclo Secundario. Muestran diversos niveles de conceptualización de los contenidos físicos, evidenciándose una diversidad de situaciones:

- Estudiantes que presentan una formación básica relevante como consecuencia de haber abordado los contenidos de Física en varios cursos progresivos, con un nivel de conceptualización importante. En general, corresponde a quienes registran estudios con orientación tanto en Ciencias Naturales como en Bienes y Servicios,

procedentes en su mayoría de escuelas que, antes de la reforma educativa de 1994, respondían a la orientación técnica.

- Estudiantes que han tenido un curso de Física elemental con escasa profundización; en general, con ausencia de actividades experimentales tal como se observa en la orientación Organización y Administración.
- Estudiantes que prácticamente no contaron con formación en Física en su Educación Polimodal¹.

Ante esta diversidad de situaciones con que acceden los estudiantes al curso de Física I, la enseñanza de los contenidos de Mecánica, en el acotado tiempo previsto en el diseño curricular, se torna compleja. Esto demanda considerar una metodología de enseñanza que promueva tanto la construcción como la reconstrucción de los contenidos conceptuales y procedimentales e incorpore aplicaciones de interés para el futuro profesional de la ingeniería.

Asimismo, teniendo en cuenta la importancia de los procesos de organización e integración de los contenidos que acompañan al aprendizaje, un aspecto de interés está focalizado en aquellas actividades que ofrecen al estudiante no sólo la posibilidad de diferenciar conceptos sino también de reconciliarlos en una dinámica efectiva (Ausubel, Novak y Hanesian, 1998). Entre estas actividades, son básicas la resolución de problemas y las actividades experimentales.

Uno de los principales obstáculos que puede interferir en el desarrollo de una forma científico-tecnológica de pensar, es la resolución mecánica de los problemas sin cuestionar su solución o repitiéndola memorísticamente en situaciones idénticas (Buteler, Coleoni y Gangoso, 2008; Neto y Valente, 2001; Oñorbe de Torre y Sánchez Jiménez, 1996; Vázquez Bernal et al., 2006). Esto puede inhibir el desarrollo de procedimientos necesarios para abordar la resolución de problemas en un contexto real.

Por otro lado, las actividades experimentales suelen considerarse como destinadas a corroborar la teoría y como una fuente de insatisfacción ante resultados que se

¹ En el período de realización de la investigación que sustenta esta tesis, el tramo de la educación anterior a los estudios superiores universitarios se denominó Educación Polimodal. La misma fue eliminada con la sanción de la Ley de Educación en el 2006.

alejados de aquellos esperados. Es por esto que no basta con vincular el trabajo de laboratorio a una situación problemática de interés, a la construcción de hipótesis que focalicen la investigación, a la reflexión sobre los diseños experimentales, etc. estableciendo explícitamente las metas esperadas como lo plantea Seré (2002a y b) y Andrés y Pesa (2004), sino que es necesario identificar las dificultades que tienen los estudiantes para alcanzar un nivel de desarrollo de contenidos conceptuales y procedimentales coherente con un aprendizaje significativo.

Si bien el conocimiento previo es la base de construcción de las nuevas concepciones, actúa también como causa de estancamiento y regresión. Paradójicamente, es el propio saber el que obstaculiza el progreso del saber. De acuerdo a Bachelard (1986), el primer obstáculo es el que está relacionado con concepciones alternativas vinculadas a aspectos perceptivos.

En función de lo señalado, resulta de interés para el desarrollo de esta tesis centrarse sobre las dificultades de los estudiantes para establecer vínculos -en relación con las representaciones mentales y las relaciones conceptuales activadas- entre el problema de lápiz y papel que resuelve en el aula y una situación real, en particular, cuando adopta la forma de una actividad experimental. En torno a esta problemática interesa indagar acerca de las siguientes cuestiones generales:

- ¿Cómo orientan los estudiantes su razonamiento al abordar una situación problemática de lápiz y papel y ante una experimental? ¿Qué dificultades se les presentan al abordar dichas situaciones?

- ¿Cómo integran los contenidos teóricos y qué procedimientos activan al abordar la solución de ambas situaciones? ¿Cuáles son los alcances en la integración?

- ¿Qué correspondencias se identifican entre ambas actuaciones?

1.5 Objetivos

La investigación desarrollada en esta tesis está orientada por el siguiente objetivo general:

Analizar los procesos cognitivos que pone en juego el estudiante cuando se enfrenta a una situación problemática presentada como problema de lápiz y papel y como actividad experimental.

Relacionado con el mismo se establecen los siguientes objetivos parciales:

- *Investigar el espacio del problema configurado por los estudiantes en la solución de situaciones de lápiz y papel.*
- *Identificar posibles sesgos y procesos activados en el proceso de razonamiento desarrollado por los estudiantes durante la resolución.*
- *Construir una tipología de las modalidades de resolución en base a los niveles de conceptualización alcanzados y procedimientos activados en la resolución de problemas de lápiz y papel.*
- *Establecer los niveles alcanzados por los estudiantes en los procesos de diferenciación progresiva y reconciliación integradora para un aprendizaje significativo de los Principios de Newton, en la resolución de las situaciones experimentales.*
- *Reconocer posibles aportes derivados del desarrollo de la actividad experimental respecto de la situación de lápiz y papel.*

1.6 Estado actual del conocimiento sobre el tema

Si bien existe un número importante de investigaciones que cuestionan la separación clásica entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio (Cortés Gracia y de la Gándara Gómez, 2006; Gil Pérez y Valdés, 1995; Gil Pérez et al., 1999; Guisasola et al., 2007; Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú, 1993), son relativamente reducidos los antecedentes sobre esta problemática.

Algunos aportes más significativos han mostrado que muchos estudiantes piensan que el conocimiento científico se articula en forma de ecuaciones y definiciones que tienen que ser memorizadas más que comprendidas. Hoy se sabe que este tipo de factores constituye un obstáculo relevante para el aprendizaje de las ciencias (Linder, 1993; Llancaqueo Henríquez, Caballero Sahelices y Alonqueo Boudon, 2007; Perales, 2000).

Por otra parte, existe amplia evidencia del uso de estrategias de razonamiento y metodologías superficiales o heurísticas importados del contexto cotidiano cuando los estudiantes abordan el análisis de problemas científicos. Sin embargo, tales estrategias son de dudosa utilidad cuando se trabaja con contenidos científicos (Buteler et al., 2008; Campanario y Moya, 1999).

Según Schmidt (1995) durante el análisis inicial del problema, el estudiante debe construir una representación mental relativa a la situación que se describe en el enunciado. Es muy posible que esta primera representación sea incompleta y posea lagunas importantes. Asimismo, encontrará posibles alternativas y enfoques válidos que, en principio, pueden resultar apropiados para avanzar en la solución o para explorar posibles caminos para arribar a la misma. El estudiante deberá, entonces, hacer uso de sus conocimientos teóricos y muchas veces de una contrastación experimental directa.

Otro problema detectado en los estudiantes de ciencias es que aplican criterios de comprensión limitados, de manera que no siempre son capaces de formular sus dificultades como problemas de comprensión, es decir, no saben qué no saben (Campanario, 1995). Las destrezas cognitivas son especialmente relevantes en el aprendizaje de las ciencias, dado que la interferencia de las ideas previas obliga a disponer de un conjunto de estrategias de control de la comprensión adecuado que permita detectar fallos en el estado actual de comprensión. Como indican Baker (1991), Buteler junto a otros colaboradores (2008), Covián Regales y Celemín Matachana (2008) y Solano, Jiménez-Gómez y Marín (2000), si los estudiantes no son conscientes de que mantienen concepciones erróneas sobre los contenidos científicos, es difícil que tomen alguna postura para clarificar su comprensión.

En las últimas décadas, la resolución de problemas ha tomado un interés creciente por sus importantes perspectivas en el desarrollo de las capacidades que posibilitan al estudiante construir conocimiento y aplicarlo a situaciones concretas, dotándolo de significado. La investigación en resolución de problemas ha constituido un objetivo preferente tanto de psicólogos como de didactas y este interés ha ido en aumento como queda reflejado en las diferentes revisiones (Barolli, Laburú y Guridi, 2010; Covián Regales y Celemín Matachana, 2008; Fávero y Soares Gomes de Sousa, 2001; Maloney, 1994; Vasconcelos, Lopes, Costa, Marques y Carrasquinho, 2007).

En particular la concepción de resolución de problemas como actividad de investigación orientada, da cuenta que una aproximación cualitativa inicial a una situación problemática abierta constituye un aspecto clave que le permite al estudiante delimitarla haciendo posible su resolución (Gil Pérez y González, 1993). Son las hipótesis, junto con el cuerpo de conocimientos en que se basan, las que focalizan y orientan la resolución, indican los parámetros a tener en cuenta y permiten analizar e interpretar los resultados obtenidos (Becerra Labra, Gras-Martí y Martínez-Torregrosa, 2004; Ceberio Garate, Guisasaola Aranzabal, y Almudí García, 2005; Laburú, 2003 y 2006).

Jaime y Escudero (2008) han observado que algunos estudiantes realizan un acercamiento entre la teoría (modelos conceptuales) y los fenómenos ya que el problema experimental les resulta comprensible y, en consecuencia, la resolución está a su alcance; incorporan nuevos conocimientos a través de la problematización y la construcción de criterios propios. Es decir, avanzan en la interpretación de la realidad al integrar la experimentación. No obstante, estos mismos autores explicitan que ciertos estudiantes se quedan en los aspectos sintácticos, no avanzan hacia los significados. Desconocen que las formas operatorias evolucionan y que están indisolublemente relacionadas con información específica que deviene del campo teórico respectivo. El trabajo de laboratorio se torna en un espacio de incertidumbre con más variables de las que pueden manejar (Petrucci, Ure y Salomone, 2006). Asimismo, Ryder y Leach (2000) señalan que dada su falta de experiencia la obtención e interpretación de los datos entran, en general, en conflicto con las nociones y conceptos científicos.

Este estado del conocimiento sobre el tema me motivó a avanzar en esta línea de investigación orientando el análisis hacia las posibles semejanzas y diferencias en el razonamiento de los estudiantes al abordar situaciones problemáticas de lápiz y papel y experimentales, a detectar los principales obstáculos que se pueden presentar al resolver dichas situaciones y a reconocer los aportes que ofrece la posibilidad de llevar a la práctica experimental los problemas de lápiz y papel.

1.7 Síntesis de los referentes teóricos

En la construcción del marco de referencia teórico para la presente tesis se tuvieron en cuenta las contribuciones provenientes del paradigma cognitivo actual y los resultados de las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias vinculados a la especificidad del tema propuesto.

Los referentes teóricos se organizaron con aportes de la Psicología Cognitiva considerándose como ejes principales la teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel, y la teoría del Procesamiento de la Información de Newell y Simon.

Un ambiente de aprendizaje que incorpora la resolución de problemas de lápiz y papel así como las prácticas de laboratorio como recursos para propiciar la construcción del conocimiento, el ejercicio del pensamiento crítico, la toma de decisiones y el desarrollo de habilidades cognitivas y comunicacionales no debe perder de vista los lineamientos esenciales que favorecen un aprendizaje significativo como un proceso cognitivo dinámico a través del cual una nueva información se relaciona con un aspecto relevante de la estructura cognitiva del sujeto (Ausubel et al., 1998).

En el marco de la resolución de problemas en Física, tanto de lápiz y papel como experimentales, comprender un evento implica relacionar la terminología científica con el fenómeno en sí, reconocer qué lo causa, qué resulta de él, etc., para adaptarse a las demandas de una meta específica. Estas acciones exigen un alto nivel de comprensión para traducir la información consignada en el enunciado del problema en un conjunto de aserciones a través de las cuales el estudiante da cuenta de sus creencias y avanza en el proceso de solución.

Las teorías de procesamiento de la información proporcionan explicaciones de los procesos utilizados en la solución de problemas en ciencias. En este sentido, los aportes de la teoría de Newell y Simon (1972) se constituyen en aspectos relevantes para interpretar la forma en que un estudiante transforma un problema enunciado en lenguaje natural en representaciones internas y, operando sobre ellas, desarrolla la resolución.

En el campo disciplinar, el estudio de los movimientos de los cuerpos se efectuó en el marco del formalismo de la Mecánica Clásica y de la Dinámica en particular. Los Principios de Newton permitieron analizar el movimiento de traslación de un cuerpo, modelado como partícula, por medio de las fuerzas que actúan sobre el mismo. Estos principios ofrecen un amplio campo para posicionar los contenidos iniciales de Mecánica en el primer curso de Física.

1.8 Breve descripción de la metodología

La investigación que se presenta en esta tesis se desarrolló con una perspectiva básicamente cualitativa con perfil interpretativo; no obstante, se incorporaron aportes desde una perspectiva cuantitativa, considerando que ambos enfoques pueden complementarse en el análisis de una realidad (Cook y Reichardt, 1997).

Para dar respuesta a las cuestiones planteadas, la investigación se desarrolló en dos fases. A continuación se sintetizan los lineamientos generales correspondientes a cada fase.

Primera fase: Resolución del problema de lápiz y papel. Esta fase estuvo orientada al reconocimiento de los procesos de razonamiento de estudiantes, de un primer curso de Física del Ciclo Básico de las carreras de Ingeniería de la FCEIA, en relación con los contenidos teóricos que integran y los procedimientos que activan, al abordar una situación problemática de lápiz y papel. Asimismo interesó detectar las dificultades se les presentaron al abordar dicha situación.

Se procedió a la aplicación de un problema referido al Segundo Principio de Newton, el cual está asociado con el movimiento de dos cuerpos vinculados mediante una cuerda. Dicho problema fue seleccionado debido a que es factible de

implementar como práctica de laboratorio. Además permite considerar un conjunto de distintas situaciones de movimiento, como alternativas compatibles con el enunciado.

El estudio de los protocolos con la resolución de la situación problemática de lápiz y papel, efectuada por los estudiantes, se realizó siguiendo una técnica de análisis interpretativo textual (Bernárdez, 1995). Para un análisis cualitativo exhaustivo se definieron a priori, y en relación con los requerimientos indicados en el enunciado del problema, un conjunto de categorías sin renunciar a la posibilidad de que pudiesen surgir otras en el curso de la indagación. Las modalidades conceptuales, consideradas como aspectos significativos de las categorías, resultaron como emergentes del procesamiento de los datos. Se procedió a una posterior triangulación de los resultados. El análisis de semejanzas en las producciones de los estudiantes derivó en la conformación de clases.

Segunda fase: Resolución de la actividad experimental como problema semi-estructurado. Esta fase estuvo asociada al reconocimiento de los procesos de razonamiento de los estudiantes al abordar una situación experimental, en la que se analiza el movimiento de un cuerpo utilizando una pista horizontal de aire, y los procedimientos que activan durante su tratamiento. Las memorias escritas, elaboradas en grupo por los estudiantes, se constituyeron en los protocolos de la investigación. Para la transformación y reducción de los datos textuales, se utilizó un enfoque interpretativo basado en la identificación de proposiciones en el documento escrito por los estudiantes que pueden ser interpretadas en términos de representaciones activadas. Se utilizaron las mismas categorías y modalidades identificadas en la primera fase.

Aportes que devienen del desarrollo de la actividad experimental. Para cada clase se identificaron las argumentaciones elaboradas por los estudiantes a partir del desarrollo de la actividad experimental que no fueron observadas en la misma situación planteada como problema de lápiz y papel. Estas argumentaciones dieron cuenta de los aportes que resultaron de la conceptualización de la actividad experimental.

1.9 Síntesis explicativa de los capítulos constitutivos

En este capítulo introductorio se presentó el contexto, la problemática y las preguntas que informan sobre la esencia de la investigación. Asimismo se incluyó una descripción de los lineamientos teóricos y metodológicos adoptados. A continuación se consigna una síntesis explicativa breve de los contenidos de cada uno de los capítulos de la tesis de manera de ofrecer un panorama integral de la misma.

En el capítulo 2 se exponen los referentes teóricos que orientaron la investigación y permitieron valorar los alcances de los resultados obtenidos. Además de los contenidos específicos del campo disciplinar de la Física, se desarrollan aspectos teóricos emergentes de las teorías cognitivas actuales y de las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias relacionados con el tema propuesto.

En el capítulo 3 se consigna el diseño metodológico que sustentó la investigación. En este sentido, se detallan los criterios de diseño y elaboración de los instrumentos de recolección de datos y las técnicas empleadas en tal proceso. Asimismo, se explicitan los lineamientos correspondientes a cada una de las fases que se propusieron para dar respuesta a las cuestiones consideradas en el marco de la investigación.

Los resultados obtenidos en relación con las cuestiones que guiaron la investigación en ambas fases, se comunican, analizan y discuten en el capítulo 4.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones en relación con el marco teórico desarrollado en el capítulo 2. Se valoran las implicancias y utilidad de los resultados y los nuevos interrogantes que quedan abiertos susceptibles de ser respondidos en futuros trabajos de investigación, tomando como base los resultados aquí alcanzados.

CAPÍTULO 2

REFERENTES TEÓRICOS

2.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrollan los contenidos disciplinares básicos y los aportes provenientes del paradigma cognitivo actual y de las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias vinculados a la especificidad del tema propuesto.

La estructura conceptual sobre la que se posiciona el análisis teórico de la situación problemática seleccionada en esta investigación, se organizó en base a un enfoque diferencial que implica un análisis de las interacciones y las interpretaciones de sus efectos, en relación con las variaciones temporales de las diversas magnitudes físicas, a lo largo de la trayectoria seguida por un cuerpo en movimiento de traslación (Creus, Massa y Cortés, 1998).

En relación a los aportes provenientes desde la Psicología Cognitiva se consideró la confluencia de dos ejes de investigación: la concepción de Newell y Simon del pensamiento como una búsqueda del espacio del problema y la idea de aprendizaje significativo de Ausubel. Desde la especificidad de cada uno de ellos se derivaron los componentes esenciales para el análisis de la problemática delimitada en el capítulo anterior.

Finalmente, se presentan los lineamientos que propician la resolución de la situación problemática, presentada como problema de lápiz y papel y como actividad experimental, posicionándola como una actividad de investigación que incentiva el trabajo en términos de hipótesis, la búsqueda de interpretaciones alternativas y la confrontación con los esquemas explicativos.

2.2 Los Principios de Newton en la explicación del movimiento

En los umbrales del siglo XVII, la concepción predominante, siguiendo las ideas aristotélicas, era el reposo como estado natural de la materia. Fue Galileo quien introdujo un enfoque diferente, luego de realizar varios experimentos, al concluir que no es la naturaleza de un objeto detenerse una vez que se pone en movimiento, sino que su naturaleza es oponerse a cambios en su movimiento.

Por dos generaciones se desarrolló el nuevo pensamiento en torno al movimiento de los cuerpos y las causas que lo producen o modifican. Comenzó con Galileo (1564-1642) quien cuestionó el carácter de ideas basadas en conceptos tales como *movimiento natural* y *lugar natural* de los cuerpos. Galileo extendió el alcance de las técnicas inductivas, ya planteadas por Aristóteles, introduciendo en el pensamiento la abstracción e idealización como extrapolación de las condiciones que se observan en los fenómenos físicos. Sus aportes otorgaron significado a nociones tales como *péndulo ideal* y *superficie lisa*. Esta nueva manera de pensar el movimiento en el mundo físico se consolidó cuando Newton (1642-1727) formuló sus tres principios.

En 1687 Newton publicó el libro *Principios matemáticos de la filosofía natural*. El tratado comienza con las definiciones de masa, cantidad de movimiento, inercia, fuerza, fuerza centrípeta, y continúa con consideraciones teóricas sobre el espacio absoluto y relativo, tiempo y movimiento. Explicitó claramente la distinción moderna entre masa y peso, siendo la primera una propiedad inherente del cuerpo, mientras que el segundo depende de la aceleración de la gravedad de un lugar determinado. Formuló ideas que resultaron fundamentales para la Mecánica Clásica: el tiempo absoluto independiente de cualquier agente externo y el tiempo relativo como medida de duración tal como una hora, un día, un mes, un año; el espacio absoluto inamovible y el espacio relativo, percibido por nuestros sentidos a partir de la posición de otros cuerpos.

Para abordar el estudio de los procesos que se producen espontáneamente en el universo o aquellos que el hombre provoca, dentro de una compleja serie de relaciones que involucran objetos, interacciones e intercambios de energía, es necesario aislar mentalmente aquello que interesa estudiar y que constituye el

sistema en estudio. Todo lo que interacciona con el sistema compone el *medio ambiente*. La categorización de las interacciones por su intensidad permite distinguir entre un medio ambiente inmediato de otro mediato. El primero será tenido en cuenta para la descripción e interpretación del fenómeno; el segundo sólo para interpretar efectos azarosos en los comportamientos, determinados por las interacciones leves.

En particular, para estudiar el movimiento de un cuerpo, en la forma más simplificada posible, es necesario definir un cuerpo ideal, un modelo denominado *partícula*. Una partícula se representa por un punto, es decir, un objeto sin dimensiones, que solamente puede desplazarse, sin rotar y sin deformarse. El movimiento de un cuerpo extenso y rígido que sólo se traslada, se puede estudiar con las mismas leyes con las que se describe el movimiento de un punto material o partícula (Creus et al., 1998).

2.2.1 Primer Principio de Newton o Principio de inercia

El Primer Principio de Newton, que sintetiza las ideas formuladas por Galileo, puede enunciarse de la siguiente forma:

- *Toda partícula persiste en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme cuando está libre de acciones exteriores producidas por su medio ambiente.*

A las acciones, ejecutadas por algún agente externo, capaces de producir un cambio en la velocidad de una partícula, es decir, de acelerarla se las denomina *fuerzas*. Desde el punto de vista formal se las representa por un vector, tal como se muestra en la Figura 2.1, por tanto, requieren ser caracterizadas mediante:

- Punto de aplicación: lugar donde se ejerce la acción.
- Dirección: recta de acción (por ejemplo: horizontal, vertical, etc.).
- Sentido: una de las dos posibilidades de acción sobre una dirección dada.
- Intensidad: medida de la acción ejercida relativa a una unidad arbitraria o convencional.

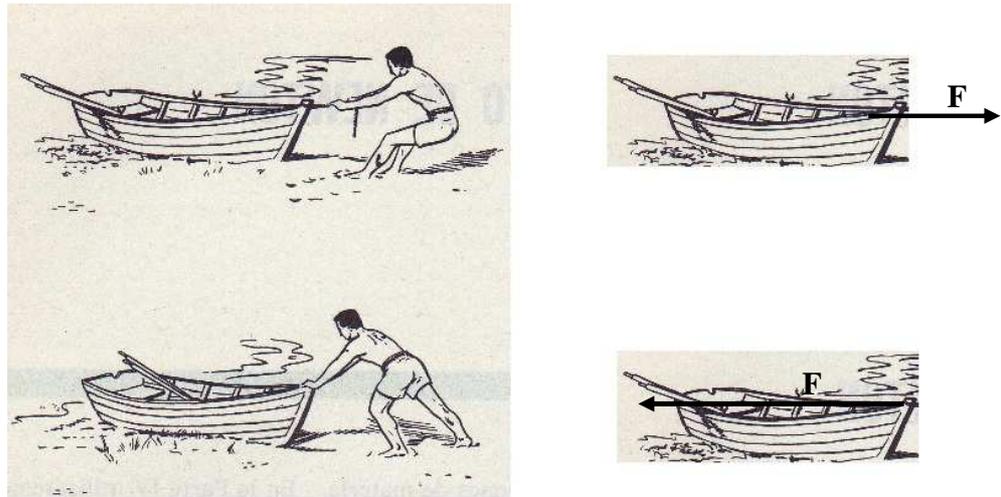


Figura 2.1. Esquema de una situación real de aplicación de una fuerza F y su representación (extraída y adaptada de Rubinstein, 1999, p.116)

El Primer Principio de Newton es contra-intuitivo y constituye un punto clave en el aprendizaje de la Física. Algunas investigaciones (Clement, 1982; Covián Regales y Celemín Matachana, 2008; Gilbert y Zylbersztajn, 1985; Hançer y Durkan, 2008; Solano et al., 2000; Savinainen y Scott, 2002a y 2002b; Viennot, 1979; Watt y Zylbersztajn, 1981) han mostrado que persisten concepciones aristotélicas y medievales en el pensamiento de los estudiantes universitarios, basadas en ideas intuitivas, por ejemplo, se necesita una fuerza para mantener los cuerpos en movimiento; es necesario empujar continuamente un libro para que siga moviéndose en línea recta y uniformemente sobre una mesa; etc.

La concepción newtoniana está asociada a una postura antropomórfica, basada en las acciones y esfuerzos ejercidos por los sujetos, para dar cuenta de las fuerzas netas que actúan sobre un cuerpo en movimiento. Si se intentara cambiar su velocidad, éste se opondrá a dicho cambio. A esta resistencia que ofrece un cuerpo a ser acelerado se la denomina *inercia*. Es así, como el Primer Principio de Newton es conocido también como “Principio de inercia”.

Una propiedad que da una medida de la inercia de un cuerpo es su masa. La masa es una propiedad inherente al cuerpo independiente del medio que lo rodea y del método utilizado para medirla. Es una magnitud escalar, que obedece a las reglas de la aritmética ordinaria. Cuanto mayor es la masa de una partícula, tanto menor es su aceleración bajo la acción de una fuerza aplicada.

El Primer Principio de Newton no distingue entre ausencia total de fuerzas y presencia de fuerzas cuya resultante sea cero. Por ejemplo, si se empuja un bloque con la mano, de tal manera de contrarrestar la fuerza de rozamiento que actúa sobre él, el bloque se moverá con movimiento rectilíneo uniforme (Figura 2.2). Por lo tanto, otra forma de enunciarlo es: “*Si no hay fuerza resultante que actúe sobre un cuerpo, su aceleración será cero*”. Es decir, un cuerpo en reposo y uno en movimiento rectilíneo uniforme son equivalentes.

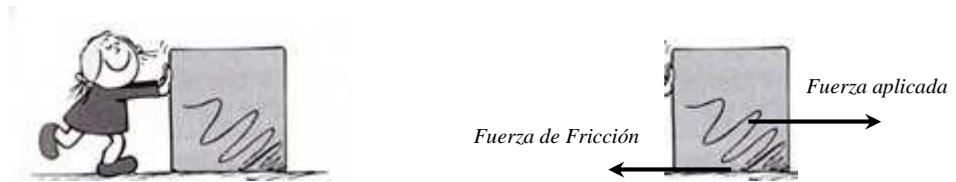


Figura 2.2. Sistema de fuerzas en equilibrio (extraída y adaptada de Hewitt, 2004, p.57)

2.2.2 Segundo Principio de Newton o Principio de masa

El Segundo Principio se enuncia habitualmente de la siguiente forma:

- *La aceleración producida por una o varias fuerzas que actúan sobre una partícula, es de magnitud proporcional a la resultante de las fuerzas que obran sobre ella y de su misma dirección y sentido.*

Matemáticamente, el Segundo Principio de Newton puede expresarse de la siguiente manera: $\sum \mathbf{F} = m \mathbf{a}$. En el desarrollo de esta tesis las magnitudes vectoriales se indicarán en negrita.

Este principio establece lo siguiente: si la presencia de una fuerza resultante se manifiesta cualitativamente por las variaciones que produce en la velocidad (según el Primer Principio), entonces dicha fuerza es proporcional a la razón de variación de la velocidad del cuerpo en un intervalo de tiempo dado. La masa es la constante de proporcionalidad entre la fuerza aplicada y la aceleración producida. En consecuencia, si un objeto se mueve con movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante), ninguna fuerza será necesaria para mantener el movimiento.

2.2.3 Tercer Principio de Newton o Principio de acción y reacción

Este Principio completa la caracterización del concepto de fuerza. Se lo enuncia de la siguiente forma:

- *Cuando dos partículas interactúan entre sí, las fuerzas actuantes sobre cada partícula, debidas a esa interacción, tienen el mismo módulo, son opuestas y están dirigidas a lo largo de la recta que une a las dos partículas.*

El Tercer Principio puede expresarse vectorialmente: $F_{12} + F_{21} = \mathbf{0}$. Las fuerzas F_{12} y F_{21} constituyen lo que comúnmente se denomina un par de *acción y reacción*. Es importante destacar que las fuerzas de *acción y reacción*, a pesar de ser opuestas, nunca se equilibran o anulan entre sí pues actúan sobre partículas diferentes.

2.2.4 Validez y limitaciones de los Principios de Newton

Las teorías de la Física Clásica, entre ellas la Mecánica newtoniana, presentan una descripción y explicación de la realidad física de los eventos o fenómenos en una configuración espacial modelizada explicando su evolución temporal, en un contexto en el que acontecen tanto los procesos de la vida cotidiana como los fenómenos naturales. Newton desarrolló una teoría coherente con relación al movimiento, de acuerdo con la cual los cambios del movimiento de cualquier objeto son el resultado de las fuerzas que actúan sobre él.

El concepto de reposo o de movimiento es relativo, es decir, depende del sistema de referencia. Sólo para ciertos sistemas se cumple el Primer Principio de Newton, los cuales se denominan *sistemas inerciales*. En cambio, en un sistema de referencia que se traslada con aceleración o que rota con respecto a un sistema inercial, los Principios de Newton no son válidos.

Ernest Mach (1838-1916), filósofo, físico y matemático austríaco, se destacó principalmente en el campo de la Mecánica. Una de las innovaciones que introduce, conocida como el “Principio de Mach”, es la abolición del espacio absoluto como concepto abstracto, el cual era sostenido por Newton a fin de dar validez universal a sus Principios.

El espacio absoluto propuesto por Newton, parecía una conclusión inobjetable. Habrían de transcurrir casi 200 años hasta que Ernst Mach llegara a oponer a la interpretación newtoniana un contra-argumento, anticipando rudimentos de una importante idea de la mecánica de Einstein: la Teoría de la Relatividad (Holton, 1976). Según Mach, el espacio absoluto está dado por todas las masas lejanas del universo, estableciéndose una relación entre ellas y las fuerzas inerciales que experimenta un objeto determinado. Sin embargo, Mach no explicó cómo las estrellas situadas a muchos años luz de la Tierra contribuían a la inercia observada en nuestro entorno. Fue Einstein quien atribuyó a la gravitación, el mecanismo que podría explicar dicha acción.

Los primeros científicos, incluido Newton, se preocuparon por el concepto de una fuerza que actuaba entre dos objetos desconectados entre sí, es decir, que no están en contacto uno con otro. En este sentido, en la teoría de Gravitación Universal la fuerza atractiva entre dos cuerpos es una fuerza central que actúa siempre en la dirección que une los centros de éstos. La teoría de la Gravitación, tal como fue formulada por Newton, es una teoría de *acción a distancia* en la que un cuerpo actúa sobre otro situado en un lugar distante sin que le sea preciso estar en ese punto. Para superar las debilidades del modelo de acción a distancia, común a las interacciones eléctricas y magnéticas, Michael Faraday (1791-1867) introdujo el concepto de *campo* que posteriormente fue formalizado por Maxwell quien unifica además los marcos teóricos de la electricidad y el magnetismo.

Desde esta perspectiva la noción de campo se introduce en la Mecánica. Se evoluciona desde la visión newtoniana (la materia y el espacio se consideran entidades separadas, absolutas e independientes; la existencia de un espacio vacío; un tiempo de propagación infinito; fuerzas centrales y acción a distancia) hacia una visión cosmológica de tradición cartesiana (la materia y el espacio se presentan como inseparables; un tiempo de propagación finito; líneas de fuerza y una acción de partículas contiguas).

Según el modelo de Faraday, cuando una masa m_1 se sitúa en algún punto P cerca de una masa m_2 , se puede decir que m_1 interactúa con m_2 mediante el campo gravitacional que existe en P. El campo en P es generado por la masa m_2 . Se supone que m_2 crea algún tipo de perturbación en el medio que hace que m_1 se sienta

atraída. A esta perturbación se la denomina campo. Del mismo modo hay un campo en la posición de m_2 generado por m_1 . La presencia del mismo implica la existencia de un medio que propague la perturbación que, en el caso de la gravedad, puede aún ser el vacío.

La posibilidad de generar interpretaciones coherentes desde los dos modelos sobre algunos resultados experimentales, generó confusión respecto al modelo físico a utilizar. Esta situación oscureció la comprensión científica, hasta que Maxwell publica su teoría y la confirma experimentalmente Hertz, sustentando la idea de campo para analizar las interacciones electromagnéticas.

2.3 Descripción de las interacciones básicas

Las diferentes fuerzas observadas en la naturaleza pueden explicarse en función de tres interacciones básicas que se ejercen las partículas atómicas entre sí.

Las *fuerzas gravitatorias* aparecen entre objetos a causa de su masa. Es la interacción más débil de todas. Newton mostró que este tipo de interacción explica el movimiento de los cuerpos celestes y da cuenta del peso de los cuerpos terrestres; por ejemplo, la fuerza ejercida por el Sol sobre la Tierra es de naturaleza gravitatoria.

Las *fuerzas electrodébiles* comprenden las fuerzas eléctricas y magnéticas, así como las fuerzas nucleares débiles que existen entre las partículas elementales ligeras y entre éstas y las más pesadas, cuando se encuentran a distancias muy próximas. Por ejemplo, la fuerza ejercida sobre pequeñas partículas de papel por una barra de plástico que es frotada es una *fuerza eléctrica*.

Las *fuerzas nucleares fuertes* aparecen en las partículas subatómicas cuando están separadas por distancias menores a 10^{-15} m.

Estas dos últimas fuerzas fundamentales son las que intervienen en la organización de la estructura de la materia.

Las fuerzas ejercidas entre objetos que interactúan por contacto en la vida ordinaria, por ejemplo, cuando se empuja una mesa o se sostiene un libro, responden

a efectos macroscópicos de las interacciones básicas presentes en la conformación de la estructura de la materia. Así, las fuerzas implicadas en la “fricción”, las “tracciones”, las “compresiones” en cables, puntales y piezas de máquina, etc., corresponden a lo que se denomina *fuerzas de contacto* (Creus et al., 1998; Serway, 1998; Tipler y Mosca, 2005). Cuando una partícula está en contacto con una superficie rígida fija, su movimiento es generalmente distinto del que tendría si no existiese la superficie. Es decir, la superficie ejerce una fuerza adicional sobre la partícula. La componente de esta fuerza en la dirección normal a la superficie se denomina *reacción normal* o simplemente *normal*. A la componente tangencial se la designa *rozamiento* o *fricción*.

Fuerza normal.

Cuando se coloca un cuerpo sobre una superficie horizontal, el mismo se encuentra en equilibrio bajo la acción de dos fuerzas: la fuerza gravitatoria o peso del cuerpo (\mathbf{P}) y la fuerza que la superficie de apoyo ejerce al cuerpo denominada normal (\mathbf{N}).

La fuerza \mathbf{N} , tal como se indica en la Figura 2.3, puede considerarse como la resultante de todas las fuerzas $\Delta\mathbf{N}$ de contacto que se hallan distribuidas sobre la superficie del cuerpo y actuando en diferentes direcciones y con distintas magnitudes.

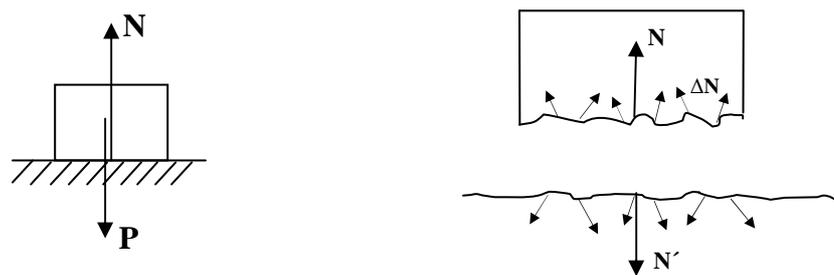


Figura 2.3. Fuerzas sobre un cuerpo apoyado sobre un plano horizontal

Dado que el cuerpo está en equilibrio, las componentes horizontales de las fuerzas elementales $\Delta\mathbf{N}$ deben anularse y la suma de las componentes verticales \mathbf{N} deben equilibrar el peso. Es importante tener en cuenta que la fuerza normal resulta ser de igual módulo que el peso sólo en el caso indicado en la Figura 2.3. Si actúan otras fuerzas, si la superficie está inclinada o acelerada, la normal, tendrá en general, un valor distinto del peso (Figura 2.4).

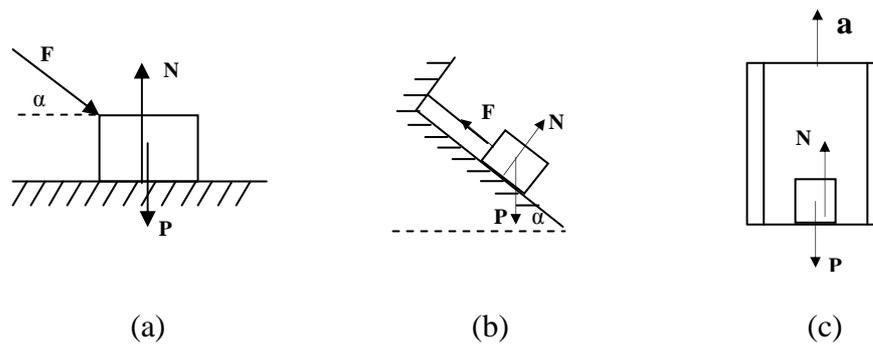


Figura 2.4(a). $N = P + F \text{ sen}\alpha$ (b). $N = P \text{ cos}\alpha$ (c). $N = P (1 + a / g)$

Fuerza de rozamiento o de fricción

Cuando se intenta hacer deslizar un cuerpo sobre otro que está fijo, se detecta una resistencia al movimiento que es mayor o menor según la naturaleza de las superficies de contacto, revelando la existencia de algo más que la inercia del cuerpo que está empujando.

Si tiramos del cuerpo representado en la Figura 2.3 con una fuerza horizontal, tal como se indica en la Figura 2.5, las componentes de $\Delta\mathbf{N}$, paralelas a la superficie, que antes se equilibraban, ahora se modifican tratando de impedir el movimiento del cuerpo.

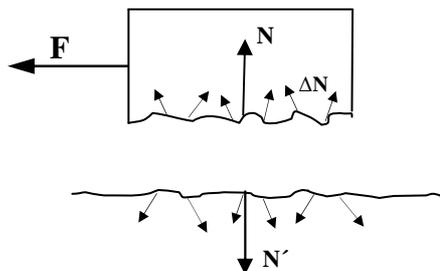


Figura 2.5. Las fuerzas elementales de contacto se modifican oponiéndose al movimiento

La suma de las componentes verticales de $\Delta\mathbf{N}$, siguen dando el valor de \mathbf{N} ; mientras que la suma de las componentes paralelas al plano, las podemos englobar en una única fuerza llamada *fuerza de rozamiento estático* (\mathbf{f}_e), siempre que no exista deslizamiento relativo entre las dos superficies. La fuerza de rozamiento estático tiene la intensidad, dirección y sentido necesarios para mantener el cuerpo en reposo.

Al ir aumentando la fuerza \mathbf{F} , también aumentará la fuerza de rozamiento estático \mathbf{f}_e hasta que las componentes horizontales de las fuerzas elementales de contacto $\Delta\mathbf{N}$ no puedan ya equilibrar al cuerpo y éste comienza a deslizar. Es decir, la fuerza de rozamiento estático máximo no puede superar cierto valor. Se comprueba experimentalmente que, para dos superficies determinadas, el máximo valor de la fuerza de rozamiento estático es aproximadamente proporcional a la fuerza normal que actúa sobre el cuerpo: $f_e^{\max} = \mu_e N$, donde μ_e , llamado coeficiente de rozamiento estático, depende de la naturaleza de las superficies, pero es independiente del área macroscópica de contacto.

La fuerza de rozamiento estático puede tener cualquier valor comprendido entre cero y el valor máximo: $0 \leq f_e \leq f_e^{\max}$.

En la mayoría de los casos, se comprueba experimentalmente que cuando las dos superficies se desplazan entre sí, la fuerza de roce, que en este caso se llama *cinética* o *dinámica*, es menor que la máxima fuerza de roce estático. En este caso el módulo de la fuerza de rozamiento dinámico es también directamente proporcional a la fuerza normal: $f_d = \mu_d N$, donde μ_d es el coeficiente de rozamiento dinámico.

La dirección de la fuerza de rozamiento (estático o dinámico) es siempre paralela al plano o superficie de apoyo y de sentido contrario al movimiento relativo entre las superficies en contacto.

Fuerzas transmitidas por hilos flexibles y por puntales

En la situación problemática propuesta en esta investigación también se ejercen fuerzas sobre los cuerpos en estudio mediante hilos y cuerdas flexibles. Un hilo flexible ideal puede ejercer sólo *tracción*. El hilo no puede estar sometido a compresión. Un puntal, en cambio, puede ejercer fuerzas axiales de *tracción* o de *compresión*.

La fuerza ejercida por un hilo recibe frecuentemente el nombre de *fuerza de tensión*.

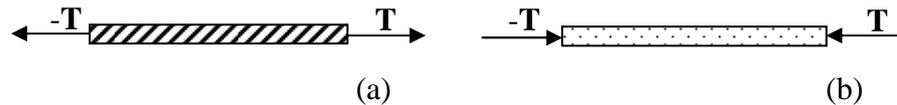


Figura 2.6(a.) Fuerzas sobre una cuerda (b). Fuerzas sobre un puntal

Puede cambiarse la dirección de la fuerza transmitida por un hilo o una cuerda flexible, haciéndola pasar por la garganta de una polea (Figura 2.7).

En el problema planteado en esta investigación, las masas de la cuerda y de la polea son mucho menores que las masas de los cuerpos sujetos a sus extremos; por lo tanto, se puede *despreciar* su masa y suponer que las fuerzas que se ejercen en sus extremos son iguales y opuestas aunque la cuerda esté acelerada.

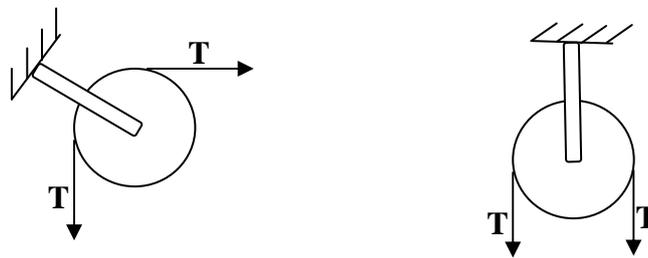


Figura 2.7. Una polea permite cambiar la dirección de las fuerzas que ejerce la cuerda

2.4 Desarrollo teórico de la situación problemática, base de esta investigación

Para analizar e interpretar el movimiento de un cuerpo o de un sistema de cuerpos en contextos reales, es necesario tener en cuenta algunos aspectos básicos que implican:

- identificar el sistema en estudio y los cuerpos del medio ambiente inmediato,
- establecer un sistema de referencia inercial respecto al cual se describirá el movimiento,
- reconocer las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo,
- enunciar las condiciones que se deben satisfacer en el movimiento,
- modelizar la situación,

- introducir los elementos teóricos para la explicación y la caracterización del movimiento.

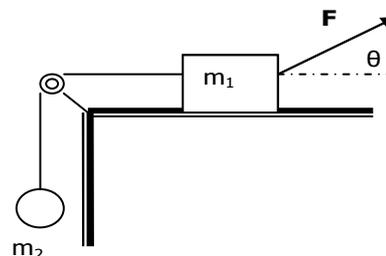
A continuación se presenta la situación problemática planteada en esta investigación a partir de la cual se analizó la actuación de los estudiantes y los aspectos esenciales sobre los que se posiciona el análisis teórico de la misma. Esta situación, en la que dos cuerpos están vinculados mediante una cuerda, es común de ser observada en textos de Física básica universitaria. Sus movimientos se caracterizan por ser diferentes en cuanto a la orientación de sus trayectorias (vertical para el cuerpo colgante y horizontal para el otro). Para la resolución de la situación se deben inferir posibles diferencias o semejanzas en sus aceleraciones en función de las condiciones que cumpla la cuerda. Por ejemplo, si la cuerda fuese inextensible, entonces se puede inferir la igualdad en el módulo de las aceleraciones de ambos cuerpos. De lo contrario, ambos cuerpos se moverían con aceleraciones diferentes, al menos hasta llegar a una condición en que se mantenga fija la longitud de la cuerda.

La situación se presenta utilizando dos formatos: como *problema de lápiz y papel* en donde se describe la situación apelando al lenguaje literal-simbólico y gráfico y como *actividad de laboratorio* asociada al tratamiento de la misma situación en un experimento concreto.

A continuación se consigna la situación tal como se enunció en el formato de problema de lápiz y papel:

Una masa m_1 sobre una superficie horizontal rugosa, se conecta a una masa m_2 por medio de una cuerda que pasa por una polea sin fricción tal como indica la figura. Si se aplica a m_1 una fuerza de magnitud F que forma un ángulo θ con la horizontal, determine la magnitud de la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda. El coeficiente de fricción cinético entre m_1 y la superficie es μ .

- Enuncie las condiciones de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas y fundamente.



El análisis cualitativo de la situación permite considerar distintas alternativas de movimiento compatibles con el enunciado de acuerdo a las posibles intensidades de la fuerza F y del peso del cuerpo colgante:

- Ascenso de m_2 con movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA).
- Ascenso de m_2 con movimiento rectilíneo uniforme (MRU).
- Descenso de m_2 con MRUA.
- Descenso de m_2 con MRU.

A continuación se consignan los lineamientos teóricos relevantes correspondientes al análisis del ascenso del cuerpo de masa m_2 con MRUA.

El sistema en estudio está constituido por los cuerpos de masas m_1 , m_2 y la polea. En esta situación, la Tierra, la superficie horizontal rugosa, la cuerda y el agente que ejerce la fuerza \mathbf{F} conforman el medio ambiente inmediato e interaccionan en forma relevante con el sistema. Se considera despreciable la influencia del aire. Esto supone establecer una condición especial, equivalente a suponer el movimiento de los cuerpos en el vacío. Esta suposición debe ser entendida por el estudiante con el carácter de una aproximación al resolver la situación en condición “ideal”, es decir, no la que observaría en el montaje de una actividad experimental en el laboratorio.

Las interacciones que los elementos constitutivos del sistema en estudio mantienen con el medio ambiente se identifican en un esquema denominado *diagrama de cuerpo aislado* (DCA). Por lo tanto, se representan: los cuerpos de masa m_1 y m_2 individualmente, dos secciones (horizontal y vertical) de la cuerda y, finalmente, la polea junto con el tramo de cuerda alrededor de ella. Las interacciones, que se indican mediante vectores en la Figura 2.8, son las fuerzas actuantes cuyo efecto resultante determina los posibles cambios de movimiento del sistema. Además, en el DCA se incluyen los pares de acción y reacción. Son pares de acción y reacción:

- la fuerza \mathbf{F} aplicada sobre el cuerpo de masa m_1 ejercida por el agente externo y la fuerza \mathbf{F}' aplicada sobre el agente externo debida a la acción de la masa m_1 ;
- la fuerza \mathbf{T}_1 ejercida por el hilo sobre m_1 y su reacción \mathbf{T}_1' ;
- la fuerza \mathbf{T}_2 ejercida por el hilo sobre m_2 y \mathbf{T}_2' ;
- las fuerzas \mathbf{T}_3' , \mathbf{T}_4 que se ejercen a ambos lados del conjunto polea-cuerda y \mathbf{T}_3 , \mathbf{T}_4' ;
- la fuerza \mathbf{R} que la superficie ejerce sobre la polea y \mathbf{R}' ;

- el peso P_p de la polea y P_p' ;
- la fuerza N que la superficie de apoyo ejerce sobre m_1 y N' ;
- la fuerza de rozamiento dinámico f_r sobre m_1 y f_r' ;
- los pesos P_1 , P_2 de los cuerpos m_1 y m_2 respectivamente y P_1' , P_2' .

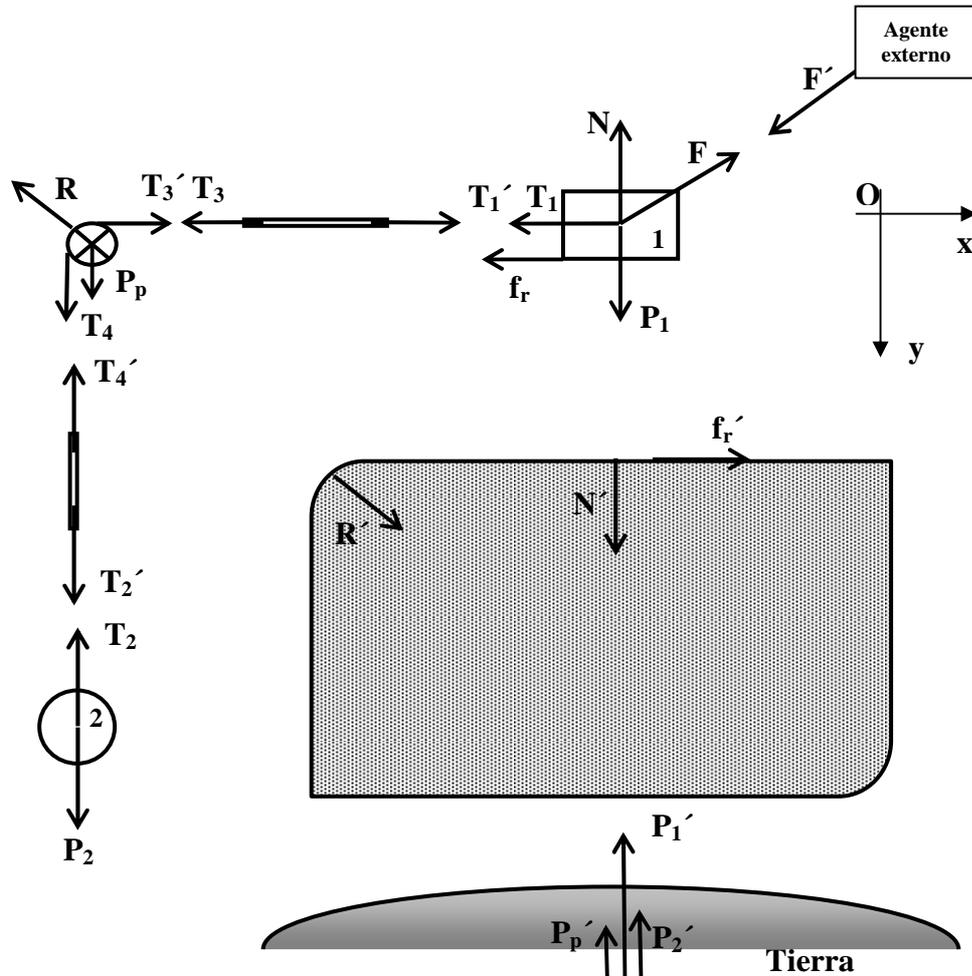


Figura 2.8. Diagrama de cuerpo aislado del sistema donde F : fuerza ejercida por el agente externo, T : fuerza que tensa la cuerda, R : fuerza de vínculo, P : peso, N : normal, f_r : fuerza de roce

Se supone como condición de trabajo que la cuerda es inextensible y de masa despreciable dado que ésta es mucho menor que la masa de los cuerpos sujetos a sus extremos. En la proposición *superficie horizontal rugosa*, que se consigna en el enunciado, el término *rugosa* significa que existirá una fuerza de contacto paralela a las superficies en contacto. Como se está suponiendo que m_2 asciende, entonces m_1 se mueve hacia la derecha con respecto a la superficie horizontal. En consecuencia,

la interacción debida al desplazamiento del cuerpo de masa m_1 sobre la superficie, es la fuerza de rozamiento cinético. Su módulo es $f_r = \mu N$.

Por otra parte, la proposición *polea sin fricción* supone ausencia de rozamiento con el eje alrededor del cual gira. Se consideran como condiciones de trabajo que la polea es de masa despreciable y que la cuerda no desliza respecto a la polea. Esta última condición implica que la fuerza de rozamiento entre la polea y la cuerda es estática.

Para el análisis del movimiento de rotación de la polea se considera la relación entre el momento de todas las fuerzas externas que actúan sobre el sistema (polea) con respecto a un punto fijo O, coincidente con el centro de la polea, $\Sigma \mathbf{M}_o^{\text{ext}}$ y la aceleración angular α , dada por la expresión: $\Sigma \mathbf{M}_o^{\text{ext}} = I\alpha$ (*), donde I es el momento de inercia de la polea. Si se adopta como O al centro de la polea por donde pasa el eje, $I = \frac{1}{2} m_p R^2$, donde m es la masa de la polea y R el radio de la misma. El momento de inercia o inercia rotacional es la resistencia que ofrece un cuerpo a ser acelerado rotacionalmente por consiguiente el momento de inercia de un cuerpo desempeña durante el movimiento de rotación el mismo papel que la masa durante el movimiento de traslación.

Las fuerzas que ejercen momento respecto a O son \mathbf{T}_3' y \mathbf{T}_4 . Reemplazando en la relación indicada con (*), se obtiene $T_4 R - T_3' R = \frac{1}{2} m_p R^2 \alpha$. De acuerdo a la condición de trabajo 'polea de masa despreciable', $m_p \approx 0$, entonces $T_3' = T_4$. Luego la función de la polea es sólo cambiar la dirección de la fuerza transmitida por la cuerda.

Teniendo en cuenta la condición 'cuerda de masa despreciable' y que $T_1 = T_1'$, $T_2 = T_2'$, $T_3 = T_3'$, $T_4 = T_4'$, por ser pares de acción y reacción, $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T$.

El movimiento de los cuerpos extensos puede ser descrito con un modelo de partícula cuando interesa únicamente su movimiento de traslación. Así, en este caso, los cuerpos de masas m_1 y m_2 se modelizan como partícula la cual sólo puede desplazarse, sin rotar y sin deformarse.

En la Figura 2.8, se indica el sistema de ejes coordenados, Oxy, adoptado el que se supone solidario a la Tierra.

Integrando el modelo conceptual del sistema analizado a la expresión formal del Segundo Principio de Newton a través de un lenguaje simbólico de carácter lógico – matemático, se obtiene:

Para el cuerpo de masa m_1

$$\Sigma F_x = F \cos \theta - T - f_r = m_1 a_x$$

$$\Sigma F_y = F \operatorname{sen} \theta + N - P_1 = 0$$

Para el cuerpo de masa m_2

$$\Sigma F_x = m_2 a_x = 0$$

$$\Sigma F_y = T - P_2 = m_2 a_y \quad (1)$$

Puesto que las dos masas están conectadas por una cuerda supuesta inextensible y de masa despreciable, tienen aceleraciones de la misma intensidad, $a_x = a_y = a$. Al resolver para a , se obtiene:

$$a = \frac{[F \cos \theta - m_2 g - \mu m_1 g + \mu F \operatorname{sen} \theta]}{m_1 + m_2}$$

Se sustituye este valor de a en la ecuación (1) y se obtiene la fuerza transmitida por la cuerda, T :

$$T = m_2 g + m_2 \frac{[F \cos \theta - m_2 g - \mu m_1 g + \mu F \operatorname{sen} \theta]}{m_1 + m_2}$$

Si el movimiento MRUA del cuerpo de masa m_2 es descendente, la fuerza de fricción cambia de sentido. En consecuencia, se debe invertir el signo de la fuerza de fricción. El análisis de las distintas alternativas de movimiento compatibles con el enunciado introduce a los estudiantes en acciones y reflexiones que les permiten atribuir a sus ideas el carácter de conjeturas que requieren ser puestas a prueba y no el de evidencias obvias. En el estudio de estas distintas posibilidades de movimiento se precisa otorgar significado a los conceptos empleados y comprender que el conocimiento científico es conjetural, parcial y provisorio, en constante revisión para validar o refutar los supuestos planteados.

En este sentido, la situación experimental proporciona las condiciones necesarias para la transferencia de conocimientos y habilidades adquiridas previamente. El trabajo de laboratorio y la resolución de problemas de lápiz y papel se constituyen en experiencias significativas si satisfacen dos condiciones: primera, deben fundarse en conceptos y principios claramente comprendidos y segunda, las operaciones constitutivas deben ser significativas por sí mismas.

2.5 La Psicología Cognitiva y el aprendizaje

La Psicología Cognitiva ofrece elementos de análisis para la comprensión de los procesos involucrados en el aprendizaje de las estructuras conceptuales de las ciencias. Desde este enfoque las teorías de Aprendizaje Significativo de Ausubel y de Newell y Simon se constituyeron en los ejes principales de referencia.

2.5.1 La teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel

Desde la perspectiva de Ausubel, Novak y Hanesian (1998), en los niños pequeños los conceptos son adquiridos, principalmente, a través de un proceso de formación creando así las condiciones para la asimilación de conceptos que pasa a predominar en niños más grandes, en adolescentes, jóvenes y en adultos. En este sentido, el aprendizaje de un estudiante universitario, depende del conjunto de conceptos e ideas que posee en un determinado campo del conocimiento, y de la organización de las mismas. Para Ausubel es de fundamental importancia conocer la estructura cognitiva del estudiante para orientar el proceso de aprendizaje, es decir, saber cuáles son los conceptos y proposiciones que maneja, cómo están relacionadas y cuál es el grado de estabilidad de las mismas. Asimismo, destaca la importancia de las experiencias y aprendizajes previos por cuanto pueden contribuir o afectar la asimilación de nuevos conocimientos. Ausubel resume este hecho en el epígrafe de su obra de la siguiente manera: "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente" (Ausubel et al., 1998, p.151).

Ausubel define un aprendizaje como significativo cuando la nueva información, contenido o idea se relaciona, conecta o se ancla de modo sustancial con algún aspecto relevante (una imagen, un símbolo, un concepto o una proposición) o *subsunsor*² pre-existente en la estructura cognitiva del sujeto. Esto implica que las nuevas ideas, conceptos y proposiciones pueden ser aprendidos significativamente en la medida en que otras ideas, conceptos o proposiciones relevantes estén adecuadamente disponibles en la estructura cognitiva del sujeto y que funcionen como anclaje a las primeras.

La siguiente situación, vinculada con el contenido físico que se aborda en esta tesis, puede ejemplificar lo anterior:

En la descripción de los movimientos el concepto de *aceleración* se ancla en el de *variación de velocidad* ($\Delta\bar{v}$), en función de la propia definición de aceleración media e instantánea:

$$\bar{a}_m = \frac{\Delta\bar{v}}{\Delta t} \qquad \bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\bar{v}}{\Delta t} = \frac{d\bar{v}}{dt} \qquad (2)$$

Es necesario, entonces, revisar el concepto de variación de velocidad, dado que, usualmente, el término *velocidad* se considera como sinónimo de *rapidez*, es decir, al cociente entre la distancia recorrida y el tiempo (d/t). En esta concepción, un estudiante le confiere a la velocidad un carácter meramente escalar. Es fundamental, por lo tanto, apelar a alguna estrategia como, por ejemplo, a representaciones vectoriales, para ir desde una concepción cotidiana hacia una científica, que le permitirá anclar y dotar de significado a las expresiones indicadas en (2). En el caso de la aceleración instantánea el anclaje estará vinculado, además, sobre los conceptos matemáticos de límite y derivada.

El aprendizaje *mecánico* o por *repetición*, contrariamente al aprendizaje significativo, se produce cuando no existen los subsunsores adecuados, de tal forma que la nueva información es almacenada sin interactuar con conocimientos pre-existentes y, por lo tanto, sin relacionarse con ellos.

² Este término constituye una derivación de la palabra inglesa “subsumer” para señalar la idea de anclaje a ella de un nuevo concepto. También suele utilizarse como alternativa de la palabra “subsumidor”

El aprendizaje por repetición se da cuando el proceso de aprendizaje sólo se basa en asociaciones arbitrarias. También ocurre si el estudiante carece de conocimientos previos relevantes y necesarios para hacer que la tarea de aprendizaje sea potencialmente significativa y adopta la simple actitud de internalizar la nueva información de modo arbitrario o en forma textual. En esta última consideración, surge como esencial para un aprendizaje significativo, la actitud del estudiante.

Asimismo, el aprendizaje mecánico no se da en un *vacío cognitivo* puesto que debe existir algún tipo de asociación, pero no en el sentido de una interacción como en el aprendizaje significativo. El aprendizaje mecánico puede ser necesario en algunos casos, por ejemplo, en la fase inicial de un nuevo conjunto de conocimientos, cuando no existen conceptos relevantes previos con los que se pueda interactuar. También en el aula se dan condiciones para un aprendizaje por repetición cuando, por ejemplo, se introducen los símbolos que representan a los números romanos.

Ausubel no establece una dicotomía entre aprendizaje significativo y mecánico sino que lo concibe como un continuo, por ejemplo, la simple memorización de fórmulas se ubicaría en uno de los extremos de ese continuo -aprendizaje mecánico- mientras que el aprendizaje de relaciones entre conceptos involucrados podría ubicarse en el otro extremo -aprendizaje significativo-.

✓ **Aprendizaje por descubrimiento y aprendizaje por recepción**

En el aprendizaje por recepción, el contenido del mismo (leyes, principios o un teorema) se presenta al estudiante en su forma final de modo tal que pueda recuperarlo o reproducirlo en un algún momento posterior para internalizar el material. Este tipo de aprendizaje puede ser también memorístico si la tarea no es potencialmente significativa ni tampoco convertida en tal durante el proceso de internalización. Pero también puede ser significativo en el caso en que la nueva información interactúe con los subsunsores existentes en la estructura cognitiva previa del estudiante.

Se define como aprendizaje por descubrimiento o por discernimiento a aquél que se produce cuando el material que va a ser aprendido debe ser re-construido por el

estudiante e incorporado significativamente en la estructura cognitiva. En este tipo de aprendizaje el sujeto debe reordenar la información, integrarla con la estructura cognitiva y reorganizar o transformar la información integrada de manera que se produzca el aprendizaje deseado.

Para Ausubel el *método del descubrimiento* puede ser apropiado para ciertos aprendizajes como, por ejemplo, el aprendizaje de procedimientos científicos para una disciplina en particular, pero para la adquisición de grandes cuerpos de conocimiento, es innecesario. El *método expositivo* puede ser organizado de tal manera que propicie un aprendizaje por recepción significativo y ser más eficiente que cualquier otro método en el proceso de enseñanza-aprendizaje para la asimilación de contenidos en la estructura cognitiva.

Muchas veces el aprendizaje por descubrimiento es repetitivo o mecánico ya que la nueva información es almacenada en la estructura cognitiva en forma arbitraria, sin quedar “anclada” en algún subsunor. Esto implica que el aprendizaje por descubrimiento no necesariamente es significativo. Tampoco el aprendizaje por recepción es forzosamente mecánico, como es el caso del aprendizaje de un principio físico que puede ser aprendido significativamente sin necesidad de ser descubierto por el estudiante por cuanto puede ser dado por su docente, comprendido a través de las estrategias que él emplea y usado significativamente, siempre que exista en su estructura cognitiva los conocimientos previos apropiados.

La Figura 2.9 muestra el entramado entre los distintos aprendizajes mencionados. Se distinguen dos formas de aprendizaje por descubrimiento, aquél al que accede el estudiante a través de orientaciones orales o escritas –aprendizaje por descubrimiento guiado- y aquél al que llega por sus propios medios –aprendizaje por descubrimiento autónomo.

De acuerdo con lo mencionado, para que ocurra realmente un aprendizaje significativo, no basta con que el material nuevo ofrecido al estudiante sea sustancialmente relacionable con las ideas pertinentes. Es necesario también que éstas existan en la estructura cognitiva del estudiante. Por tanto, desde el punto de vista didáctico la disponibilidad de contenidos relevantes en la estructura cognitiva

de los estudiantes es fundamental, por cuanto esto es decisivo para la significatividad potencial.

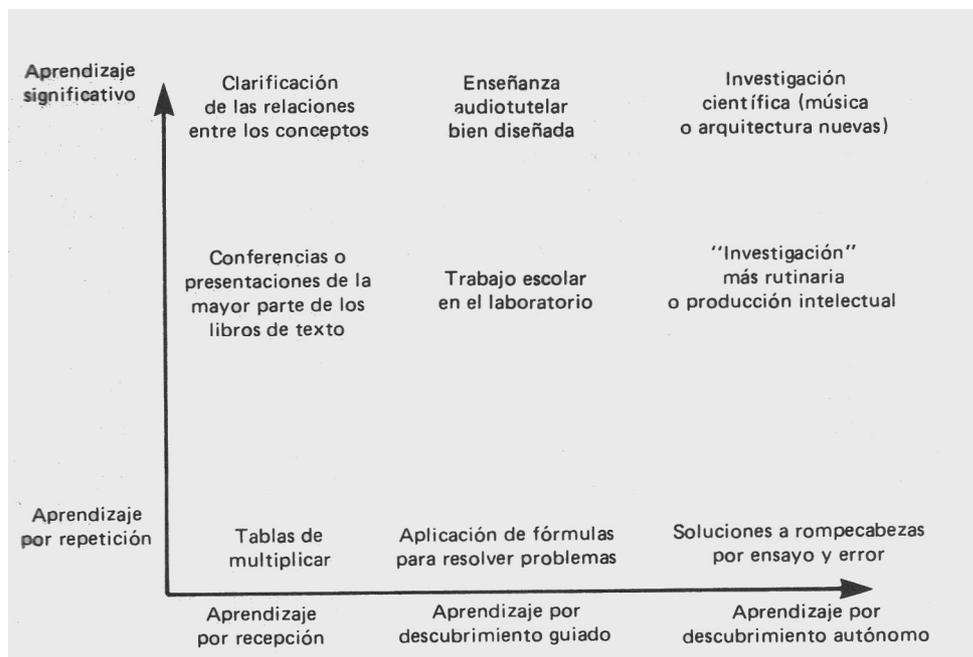


Figura 2.9. Caracterización de los aprendizajes según Ausubel (Reproducción Fig. 1.1, Ausubel, Novak y Hanesian, 1998, p.35)

Así, independientemente de cuanto significado potencial posea el material nuevo, si la intención del sujeto es memorizar, tanto el proceso de aprendizaje como sus resultados serán mecánicos. De igual manera, si el material no es potencialmente significativo o relacionable con su estructura cognitiva, el proceso y el resultado tampoco lo serán, sin importar la disposición del estudiante.

Cuando el significado potencial se convierte en contenido cognitivo nuevo, como resultado del aprendizaje significativo, entonces el individuo ha adquirido un *significado psicológico*. El estudiante accede a este significado si posee los antecedentes ideativos necesarios (Ausubel et al., 1998) en su estructura cognitiva.

El significado psicológico puede ser compartido por diferentes individuos posibilitando la comunicación y el entendimiento entre ellos. Por ejemplo, la proposición: *en todos los casos en que un cuerpo sea acelerado, es necesario que actúe una fuerza sobre él*, tiene significado psicológico para los individuos que ya poseen conocimientos acerca de los conceptos de aceleración, masa y fuerza. De esta forma, pueden comunicarse, en el aula o en el laboratorio, los docentes y los

estudiantes cuando abordan y analizan situaciones problemáticas que involucran los Principios de Newton.

✓ Tipos de aprendizaje significativo

Ausubel distingue tres tipos de aprendizaje significativo de acuerdo al tipo de contenido involucrado en el proceso: de representaciones, de conceptos y de proposiciones.

El aprendizaje de representaciones es el más elemental y consiste en la atribución de significado a determinados símbolos, es decir, supone una correspondencia biunívoca entre un símbolo y su referente. De él dependen los demás tipos de aprendizaje. Sucede cuando se igualan en significado símbolos arbitrarios con sus referentes (objetos, eventos, conceptos), estableciéndose una equivalencia representacional entre un ente percibido con los contenidos relevantes existentes en la estructura cognitiva del sujeto. Éste es el tipo de aprendizaje que permite, por ejemplo, aprender los significados de los símbolos o de las palabras aisladas.

Ausubel y colaboradores (1998) definen los conceptos como "objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos de criterios comunes y que se designan mediante algún símbolo o signos" (p.61). Puede darse a través de dos procesos: *formación y asimilación*.

En la formación de conceptos, las características del mismo se adquieren a través de la experiencia directa, en sucesivas etapas de formulación y prueba de hipótesis y generalización. Desde este punto de vista, puede decirse que en este aprendizaje se establece una correspondencia biunívoca entre un símbolo y una clase de referentes.

El proceso de adquisición de conceptos por asimilación se produce a medida que el sujeto amplía su vocabulario, pues los atributos de criterio de los conceptos se pueden definir usando las combinaciones disponibles en la estructura cognitiva. En este tipo de aprendizaje la nueva información potencialmente significativa interactúa con la estructura cognitiva existente produciéndose una reorganización de antiguos y nuevos significados para formar una estructura cognitiva diferenciada (Principio de Asimilación), tal como se representa en la Figura 2.10:

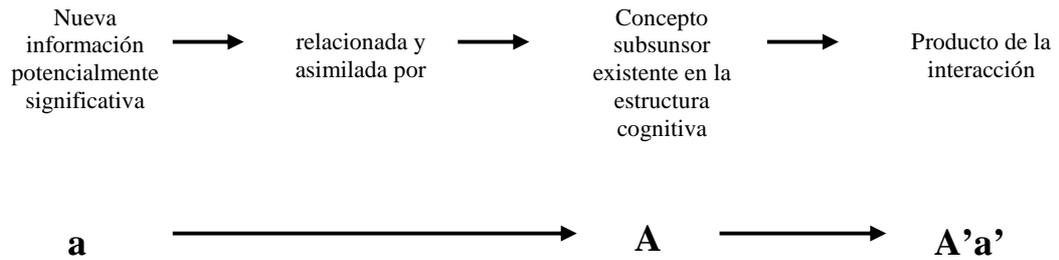


Figura 2.10. Esquema del proceso de asimilación en la adquisición de conocimiento. (Adaptación Tabla 4.1 apartado I en Ausubel, Novak y Hanesian, 1998, p.119)

El aprendizaje de proposiciones implica combinar y relacionar palabras de tal forma que se otorgue significado a la idea resultante en un sentido más abarcativo que la suma de los significados de las palabras individuales. El nuevo significado es asimilado a la estructura cognitiva. La proposición potencialmente significativa, de los conceptos involucrados, interactúa con las ideas relevantes preexistentes y, de esa interacción, devienen los significados de la nueva proposición.

En particular, el desarrollo de conceptos asociados a la Mecánica Clásica, a través del trabajo experimental en el laboratorio, promueve un aprendizaje significativo, cada vez que el estudiante utiliza una amplia gama de conocimientos básicos previos. Asimismo, las acciones sobre un referente empírico sustentadas en el uso de herramientas de la Física experimental y el análisis de datos facilitan que se estructure y enriquezca su campo conceptual.

✓ Teoría de la asimilación

De acuerdo a lo consignado en el apartado anterior, la *asimilación* según Ausubel y colaboradores (1998), es el proceso mediante el cual "la nueva información es vinculada con aspectos relevantes y pre-existentes en la estructura cognitiva, proceso en que se modifican la información recientemente adquirida y la estructura pre-existente" (p.71).

La esencia de la teoría de la asimilación reside en que los nuevos significados son adquiridos a través de la interacción de los nuevos conocimientos con los conceptos o proposiciones previas, existentes en la estructura cognitiva del que aprende. De esa interacción resulta un producto (A'a'), en el que no sólo la nueva información

adquiere un nuevo significado (a') sino, también el subsunor (A) adquiere significados adicionales (A').

En la Figura 2.10 se ha mostrado este proceso de aprendizaje que da como resultado el producto interaccional A'a' el cual puede modificarse con el tiempo. Por lo tanto, la asimilación no es un proceso que concluye después de un aprendizaje significativo sino que continúa y puede involucrar nuevos aprendizajes.

En el siguiente caso, se ejemplifica el proceso de asimilación utilizando el esquema de la Figura 2.10: si se aspira a que el estudiante aprenda el concepto de *masa inercial* (a), éste debe poseer el concepto de *inercia* -resistencia que ofrece un cuerpo a ser acelerado- (A) en su estructura cognitiva previa. El nuevo concepto (*masa inercial*) se asimila al más inclusivo -*inercia*- (A'a') pero si se considera que la masa es una medida de la inercia, no solamente el concepto de masa inercial podrá adquirir significado para el estudiante, sino también el concepto de inercia que ya poseía será modificado y se volverá más inclusivo, lo que le permitirá, por ejemplo, otorgar significado al Segundo Principio de Newton.

Generalmente, los conocimientos que se van a aprender asumen la forma de proposiciones, las cuales están conformadas por conceptos que, al ser combinados adquieren un significado compuesto nuevo. El aprendizaje de una proposición va más allá de la simple asimilación de lo que representan los conceptos, combinados o aislados, puesto que exige captar el significado de las ideas expresadas en forma de proposición. Implica la combinación y relación de varios conceptos, cada uno de los cuales constituye un referente unitario, de tal forma que se da significado a la idea resultante en un sentido más abarcativo que la simple suma de los significados de los conceptos componentes individuales. El nuevo significado producido es asimilado a la estructura cognitiva creándose un nuevo producto ideativo con un significado novedoso. Este proceso de asimilación de significados nuevos produce la diferenciación progresiva de proposiciones con el potencial ampliado para proporcionar afianzamiento para un aprendizaje significativo adicional.

✓ **Diferenciación progresiva y reconciliación integradora**

Durante la asimilación, las ideas ya establecidas en la estructura cognitiva son reconocidas y relacionadas en el curso de un nuevo aprendizaje posibilitando una nueva organización y la atribución de un significado nuevo. Este proceso es denominado por Ausubel *reconciliación integradora*.

La diferenciación progresiva y la reconciliación integradora son procesos dinámicos que se presentan durante el aprendizaje significativo. La estructura cognitiva se caracteriza, por lo tanto, por presentar una organización dinámica de los contenidos aprendidos. Según Ausubel y colaboradores (1998), la organización de éstos en la mente del individuo, para un área determinada del saber, “consiste en una estructura jerárquica en la que las ideas más inclusivas, con mayor poder explicativo, ocupan el ápice de esa estructura e incluyen proposiciones, conceptos y datos fácticos, progresivamente menos inclusivos y más finamente diferenciados” (p.173).

A medida que las nuevas informaciones son adquiridas, los elementos ya existentes en la estructura cognitiva pueden ser precisados, relacionados y, como consecuencia, reorganizados alcanzando un significado nuevo. Esta recombinación de los elementos previamente existentes en la estructura cognitiva constituye la reconciliación integradora tal como se mencionara anteriormente. Todo aprendizaje producido por reconciliación integradora también dará lugar a una mayor diferenciación de los conceptos o proposiciones existentes.

La diferenciación progresiva y la reconciliación integradora pueden ser aprovechadas en la labor educativa, puesto que la primera puede provocarse si se presentan las ideas más generales e inclusivas que serán enseñadas al inicio del proceso educativo para diferenciarlos paulatinamente en términos de detalle y especificidad. Por ello se puede afirmar que es más fácil captar aspectos diferenciados de un todo inclusivo previamente aprendido, que llegar al todo a partir de sus componentes diferenciados ya que la organización de los contenidos de una cierta disciplina en la mente de un individuo es una estructura jerárquica.

Por ello la programación de los contenidos no sólo debe proporcionar una diferenciación progresiva sino también debe explorar explícitamente las relaciones

entre conceptos y proposiciones, para resaltar las diferencias y similitudes importantes, para luego reconciliar las incongruencias reales o aparentes.

✓ Resolución significativa de problemas

Para Ausubel y colaboradores (1998), la resolución significativa de problemas constituye un aprendizaje por descubrimiento o discernimiento de una relación significativa de medios-fines que orienta la resolución. Está “orientado hacia la hipótesis que exige la transformación y la reintegración del conocimiento existente para adaptarse a las demandas de una meta específica o de una relación medios-fines. La comprensión de las condiciones del problema y la asimilación de su solución son consideradas formas de aprendizaje significativo por recepción” (p.485). Para una efectiva resolución se requiere que el sujeto disponga de conceptos y principios pertinentes en la estructura cognitiva y de algunas características cognitivas y de personalidad, tales como: estilo cognitivo, agudeza, audacia, flexibilidad, tolerancia a la frustración, etc.

La estructura cognitiva desempeña un papel clave en la resolución de problemas dado que supone la reorganización de la experiencia previa tal que se ajuste a los requisitos de la situación problemática planteada. La posesión de conocimientos antecedentes estables, claros y discriminados facilita la resolución de problemas, de manera tal que de no poseerlos no es posible ninguna solución, independientemente de la destreza del estudiante.

La capacidad verbal y la disposición cognitiva general explican las diferencias individuales en la capacidad de resolver problemas. La creatividad produce transformaciones nuevas y originales de las ideas y genera nuevos principios integradores y explicativos. En consecuencia, esto produce un mayor éxito en la resolución.

Ausubel et al. (1998) distinguen dos tipos de resoluciones. El enfoque por *ensayo y error* es inevitable cuando el sujeto no puede discernir ningún patrón de relaciones significativas. En este caso opera variando, aproximando y corrigiendo en forma aleatoria o sistemática respuestas hasta que surge la relación adecuada. El enfoque por *discernimiento* supone una disposición hacia el descubrimiento pudiendo surgir

las soluciones en forma súbita o discontinua. “Son acompañadas invariablemente cuando menos por una apreciación implícita del principio que fundamenta a la resolución de un problema; y esto es así aún cuando no pueda expresarse verbalmente tal principio” (p.487).

La formulación de hipótesis es necesaria pero no suficiente para resolver problemas comprensivamente, ya que no implica que el estudiante esté adoptando un enfoque perspicaz. Salvo que las hipótesis contengan relaciones de medios-fines, representarán simplemente la eliminación sistemática por ensayo y error de las opciones existentes. Por otro lado, las soluciones por discernimiento no son siempre completas e inmediatas. Suelen aparecer luego de un largo período de búsqueda, muchas veces infructuosa.

En la resolución de problemas por discernimiento hay una transformación de la información por análisis, síntesis, formulación y comprobación de hipótesis, aunque no implica necesariamente un descubrimiento autónomo absoluto. En general, la resolución de problemas en el aula y en el laboratorio es una forma de descubrimiento guiado ya sea por intervención del profesor a partir de preguntas que ayuden al razonamiento de los alumnos o a través de un programa de actividades que orientan las acciones de los estudiantes (análisis cualitativo de la situación, emisión de hipótesis, elaboración de estrategias, análisis de resultados, formulación de nuevas perspectivas, etc.).

Ausubel se refiere también a que, en ciertos casos, lo que aparenta ser una resolución significativa de problemas consiste sencillamente en una especie de aprendizaje repetitivo por descubrimiento. Su crítica al enfoque de los “problemas tipo” da cuenta de ello. Ubica a estos problemas tipo, en el mismo nivel de aprendizaje mecánico que a los experimentos de laboratorio a la manera de “receta de cocina”. Consistente con su posición frente a la práctica o ejercitación, entiende que tal actividad no es negativa, en tanto los estudiantes puedan identificarlos como problemas que pertenecen a una clase mayor. De este modo, quien resuelve, comprende los principios, por qué se aplican en ese caso particular, cuál es la relación entre ellos y cuáles las operaciones que se han realizado. Reconoce, sin embargo, que no es ésta su función habitual en las aulas, en las que son utilizados como ejercicios repetitivos.

Los elementos que reflejan la experiencia previa, relacionados con problemas adecuadamente resueltos constituyen para el sujeto una fuente de transferencia positiva. Pero también existen fuentes de transferencia negativa como las que reflejan la persistencia de disposiciones habituales, derivadas de experiencias previas inaplicables en un nuevo contexto. La improvisación y búsqueda de nuevas direcciones es un requisito a la hora de enfrentar problemas novedosos. Un obstáculo puede ser el emplear el mismo enfoque con el que se lograron buenos resultados en experiencias anteriores de resolución de problemas, pero no compatibles a la nueva situación. Esta *fijación funcional* (Chown, 1959 y Duncker, 1945, c.p. Ausubel et al., 1998) impide al sujeto concebir que un objeto tenga otros usos o funciones posibles en una tarea de resolución de problemas.

El lenguaje juega un papel importante en el proceso de abstracción y en la facilitación del pensamiento. La adquisición del lenguaje hace posible la generación original de ideas de elevado nivel de abstracción, generalidad y precisión y fomenta a su vez un nivel de desarrollo cognitivo individual que permite pensar en función de relaciones hipotéticas entre variables. En relación con las hipótesis, éstas pueden enunciarse y verificarse con más precisión y facilidad cuando son expresadas verbalmente.

De acuerdo con Ausubel se reconoce que durante la resolución de problemas suelen darse cinco etapas, si bien algunas de ellas pueden no manifestarse en ciertos casos:

1. Un estado de duda, de perplejidad cognitiva, de conocimiento de la dificultad.
2. Un intento por identificar el problema, donde se incluyen los fines perseguidos.
3. El momento en el que se activan las ideas antecedentes y las soluciones dadas a problemas anteriores que son reorganizadas en forma de proposiciones o hipótesis.
4. La comprobación sucesiva de las hipótesis.
5. La incorporación de la solución acertada a la estructura cognitiva para aplicarla al problema y a otros similares.

Una expresión del pensamiento creativo durante la resolución de problemas lo constituye la *toma de atajos* en la cual el sujeto que resuelve efectúa movimientos

para acortar muchos de los pasos de esta secuencia. Los solucionadores exitosos de problemas eligen siempre algún punto en el cual comenzar el análisis. Esto refleja una mayor atención y comprensión de los conocimientos que deben aplicar, mostrando un proceso de búsqueda activo en la resolución. Aplican en forma menos mecánica las soluciones de problemas anteriores siguiendo una línea de razonamiento que les permite arribar a una conclusión lógica.

El desarrollo de la capacidad de resolver problemas demanda la elaboración e implementación de programas de entrenamiento que promuevan la adquisición de algunas destrezas para solucionar problemas. La guía, en forma de sugerencias, debería atender a las características inherentes al dominio específico de manera de facilitar el desarrollo de tales destrezas. Asimismo, deben considerarse las condiciones en que se los implementa por cuanto es importante resaltar que no deben promover una resolución mecánica e irreflexiva.

Por tal motivo, es fundamental tener en cuenta que las principales fuentes de variación de la capacidad de resolver problemas son: el conocimiento de la materia y familiaridad con la lógica distintiva de la disciplina; los determinantes cognoscitivos como la curiosidad intelectual, el conocimiento general sobre la resolución eficaz del problema y los rasgos de personalidad como la persistencia, la flexibilidad y la creatividad.

2.5.2 La teoría del procesamiento de la información de Newell y Simon en la resolución de problemas

La sola afirmación de que el hombre es un procesador de información, no especifica cuál es la fortaleza de considerar la mente como un sistema simbólico que procesa información de forma análoga a una computadora. Esta analogía requiere que sea explicitada estableciendo cierta correspondencia entre elementos participantes en el procesamiento y sus funciones, de modo que las operaciones sobre símbolos que la computadora realiza, se correspondan con las operaciones mentales que conforman el pensamiento.

La mente para realizar sus operaciones cognitivas como la percepción, el razonamiento, la memoria, el lenguaje, el pensamiento, debe ser capaz de representar y utilizar adecuadamente la información que recibe de forma simbólica. Es decir, la mente debe ser capaz tanto de representar esa información de manera análoga a la computadora como de crear nuevos símbolos, operar y computar sobre ellos, pudiendo relacionar esos símbolos resultantes con algún aspecto del mundo externo o con otros símbolos internos.

El aporte de las teorías de procesamiento de información es específicamente relevante en lo que se refiere a proporcionar explicaciones de los procesos utilizados en la solución de problemas en ciencias. En este marco, Newell y Simon (1972) y Newell (1980) elaboraron una teoría, conocida como teoría de la Arquitectura Cognitiva que estudia la forma en que un procesador de información (humano o máquina) toma un problema enunciado en lenguaje natural, lo transforma en representaciones internas y, operando sobre ellas, desarrolla la resolución llegando a un resultado.

Esta teoría se construye a partir del concepto de *representación del problema*. Se distinguen dos tipos de representaciones internas:

- El denominado *entorno operativo*, se refiere a la representación del problema en profundidad y con la mayor objetividad posible.
- El denominado *espacio del problema*, se refiere a la representación que el sujeto construye a partir de la codificación de los rasgos relevantes que reconoce cuando se enfrenta a un problema. El mismo puede ser considerado como una subparte del entorno operativo del problema.

La teoría introdujo un conjunto de conceptos probadamente útiles para describir modelos de la cognición humana. Según Newell y Simon, el proceso completo de resolución de problemas está compuesto por dos subprocesos que interactúan entre sí:

- El *proceso de comprensión* incluye la asimilación de estímulos y la producción de estructuras de información mental que permiten que el sujeto internalice el problema. Este proceso genera una representación interna personal del problema.

- El *proceso de búsqueda* está dirigido por los productos de la comprensión más que por los estímulos del problema en sí y es responsable de generar una solución personal.

Ambos procesos ocurren a menudo alternativamente y aún en forma simultánea, dependiendo del tipo y naturaleza del problema (Best, 2001). Para Newell y Simon la resolución de problemas involucra tres componentes básicos:

- un *sistema de procesamiento de la información* constituido por el sujeto que soluciona el problema;
- un *ambiente de la tarea*, representado por el problema tal como es presentado al sujeto;
- un *espacio del problema*, que constituye la representación interna, mental, construida por el sujeto que va a resolver; y los estados de conocimiento (información disponible). “Desde esta perspectiva, el espacio del problema es un conjunto de estructuras simbólicas asociadas a la información disponible (estados) y operadores dependientes del dominio que tienen una función común: la construcción de nuevos estados” (Sánchez, 2011, p.65).

Esta autora considera que “la resolución de un problema consiste, pues, en un estado inicial, un estado final y un número de estados intermedios, todos ellos relacionados por operadores que los modifican” (p.65).

✓ **El proceso de comprensión**

En el *proceso de comprensión* el problema-estímulo o ambiente de la tarea se convierte en la información inicial necesaria para comenzar el proceso de búsqueda. De allí la importancia que tiene la forma en que se presenta el problema (literal, literal con gráficas, con diagramas o dibujos, presentación de situaciones reales o imaginarias) al inicio de la comprensión. Si bien es posible que, ante la diversidad de formatos de enunciados de problemas, se desarrollen variados procesos asociados con la percepción en las primeras etapas de la comprensión, la investigación en solución de problemas se ha centrado en las últimas etapas de este proceso, tratando de describir y analizar las producciones resultantes del proceso de comprensión.

Así, los trabajos iniciales se han focalizado en los problemas de *dominio no específico* del conocimiento tales como los rompecabezas y ajedrez (Newell y Simon, 1972). En estos problemas el enunciado contiene toda la información necesaria para resolverlos. Tal información es interpretada y complementada por los *conocimientos previos* del sujeto que resuelve aplicando el sentido común o su conocimiento de reglas de juego y el derivado de su propia experiencia práctica.

Para estos investigadores, la mínima información que necesita obtener un sujeto para resolver un problema es aquella que le permita construir:

- el estado inicial,
- algunos operadores que permitan pasar de un estado a otro nuevo,
- alguna prueba eficiente para saber si ese nuevo estado corresponde a la solución buscada.

Estos tres componentes configuran lo que se mencionó como el *espacio del problema*. En este marco, la principal condición para que un sujeto desarrolle el proceso de comprensión es que construya tal espacio.

El espacio del problema resulta, pues, de la conjunción de un estado inicial y un conjunto de *operadores*. Tales operadores actúan de manera tal que cada estado del espacio puede ser alcanzado desde el inicial aplicando alguna secuencia de los mismos. Sin embargo, no todos los sujetos están preparados para construirlo. Por otro lado, el tamaño y las características del espacio de los estados ha jugado un importante papel en los análisis teóricos (Posner, 1998).

Newell y Simon (1972), en el procedimiento de acotación formal del espacio del problema dentro del que suele tener lugar el proceso de resolución de un problema vinculado a criptoaritmética, utilizaron los siguientes operadores: localizar columna que contenga letra, asignar un valor a una variable, comprobar si una letra puede tomar un valor, entre otros. En el marco de esta tesis se utilizarán algunos operadores propuestos por Sánchez (2011, pp.246-247) para analizar la resolución de problemas de Mecánica:

- *Reconocimiento de interacciones*, indicado por los diagramas de cuerpo aislado (DCA) ya que en los mismos el estudiante dibuja todas las fuerzas que actúan sobre cada elemento y que corresponde a relaciones entre los elementos del modelo. Por

ejemplo, la fuerza de contacto entre el bloque de masa m_1 y la superficie horizontal rugosa.

- *Orientación espacial*, que posibilita la transformación de una representación vectorial (en el DCA) a representaciones escalares equivalentes (el Segundo Principio de Newton).

- *Relación causal*, que vincula el conjunto de interacciones reconocidas en el DCA con la aceleración de los elementos correspondientes. Esta relación se establece a través de una propiedad de los mismos (su masa) y corresponde a la aplicación del Segundo Principio de Newton.

- *Regulación de solución*, toda vez que los estudiantes dan cuenta de estar pensando acerca de su situación en ese momento, tratando de medir la distancia a la meta.

- *Recurso algebraico*, operador que genera una manipulación algebraica de las variables físicas puestas en juego.

- *Sesgo de fijación funcional*, operador por medio del cual se establecen relaciones de igualdad entre variables, trabajadas en otros problemas de la práctica, sin mayor cuestionamiento.

- *Sesgo de economía cognitiva*, operador por el cual se establece un único sentido de movimiento determinado por la fuerza F .

Para los problemas de dominio no específico, se dice que un problema está *bien definido* si el proceso de comprensión produce en forma más o menos inmediata un espacio del problema, esto es: un estado inicial, un conjunto de operadores que actúan sobre los sucesivos estados y la descripción de un estado meta o solución. Los problemas cuya comprensión no puede representarse como un espacio del problema en los términos mencionados, se consideran problemas *mal definidos*. Cuando se trata de tareas en *dominios específicos* de conocimiento, como por ejemplo, problemas de Matemática o Física, podría aplicarse la misma definición de problemas bien definidos, pero el proceso de comprensión en tales dominios es mucho más complejo (Simon, 1978).

✓ El proceso de búsqueda

El proceso de búsqueda puede caracterizarse por el conjunto de aseveraciones que enuncia quien resuelve el problema, a través de las cuales da cuenta de sus creencias y conocimientos acerca del mismo. Un estado en el espacio del problema corresponde, pues, a un conjunto de tales aseveraciones que dan cuenta de él, aseveraciones que contienen a los elementos intervinientes, sus características y las relaciones e interacciones. Los operadores corresponden a las reglas que usa el sujeto para modificar aseveraciones (Sánchez, 2011).

En muchos espacios de problema existen usualmente varios operadores que pueden aplicarse a un estado dado, algunos de los cuales pueden llevar a un camino sin salida. Si se supone que sólo un operador puede aplicarse a un determinado estado, y que dicho estado debe estar disponible, entonces cualquier proceso de solución será un caso particular de un patrón determinado de algoritmos, constituido por la secuencia de operadores que se aplican para arribar a la meta o estado final. En este caso, la búsqueda se restringiría a aplicar algoritmos en el espacio de los estados.

En las tareas que no requieren de conocimientos científicos, los sujetos principiantes utilizan las denominadas *estrategias débiles* (Johnson-Laird, Newell y Rosenbloom, 1987; Newell, 1980; Newell y Simon, 1972), llamadas así ya que no utilizan información referida al dominio del contenido específico que requiere el problema para su solución, sino sólo procedimientos que pueden aplicarse de manera general (Garnham y Oakhill, 1996). La más simple de estas estrategias es la denominada *búsqueda hacia adelante*: se comienza en el estado inicial y se utilizan reglas, basadas en experiencias previas de problemas similares, para seleccionar un operador entre los posibles aplicables al estado actual. Una vez que el operador es aplicado, el procedimiento se repite.

Otra estrategia de este tipo, conocida como *búsqueda hacia atrás*, puede utilizarse sólo si se conoce el estado meta y si los operadores son invertibles. Es decir, el proceso de resolución se organiza desde el estado final al estado inicial. Las estrategias de búsqueda hacia atrás dependen en gran medida de la memoria disponible para almacenar viejos estados. Algunos sujetos pueden recurrir a

anotaciones sobre un papel (memoria externa). Con este recurso permanecerán disponibles más estados viejos que si se usa sólo la memoria interna (Sánchez, 2011).

Otra estrategia de las denominadas débiles, es el *operador submeta*: consiste en modificar la condición requerida por la meta, reemplazándola provisoriamente por otra con menor nivel de demanda denominada submeta, como definiendo una etapa intermedia. Es una estrategia recursiva donde la nueva submeta, el estado solución de una primera etapa, se constituye en estado inicial de un nuevo proceso de búsqueda hacia la meta final originaria.

Una etapa importante en el proceso de búsqueda es la *planificación* (Mayer y Hegarty, 1996). En la misma se consideran posibles movimientos y operaciones (estados y operadores) y se decide formular un curso de acción para alcanzar una meta. Si bien evita errores y ahorra esfuerzos, requiere tiempo, siendo una actividad cognitivamente exigente que busca el equilibrio entre la falta de decisión y la acción apresurada. Los sujetos exitosos en la resolución de problemas de dominio específico se diferencian de los principiantes en la estructuración de los contenidos, en las teorías personales que ponen en juego al planificar la solución y en la forma en que activan sus conocimientos generando procedimientos útiles (Pozo, 1994).

Greeno, Riley y Gelman (1984, c.p. Scholnik y Friedman, 1987) desarrollaron el denominado modelo de *planificación anticipatoria*. Para estos autores la planificación es la *competencia procedimental* que vincula el conocimiento general (*competencia conceptual*) con la tarea particular (*competencia utilitaria*), donde ese conocimiento es relevante. La planificación tiene en cuenta un *conjunto ordenado de procedimientos* -heurísticos o algorítmicos- con los cuales un sujeto resuelve el problema. A través de esta competencia procedimental los sujetos *reconocen metas* de diferentes tipos durante la planificación, *buscan esquemas de acción* (secuencias de procedimientos ya internalizados por experiencias previas o por la instrucción recibida) y, finalmente, *determinan* cuándo la planificación ha sido completada con éxito. Como resultado, el sujeto construye una secuencia de acciones para alcanzar la meta. Si hay varios planes, seleccionará el más viable y eficiente. La competencia depende del repertorio de conceptos y procedimientos que proveen las bases para planificar y de su habilidad para manipular ideas antes de actuar.

Desde este modelo metodológico el proceso de resolución de problemas consiste, entonces, en alternar la búsqueda y el escudriñamiento. Según Newell y Simon (1964) el esquema de búsqueda escudriñadora implica la exploración de una submeta y la generación, comparación y selección de las alternativas de búsqueda. En particular en las prácticas de laboratorio los estudiantes, generalmente, apelan a varios cursos de acción alternativos para alcanzar una meta.

En síntesis, Newell y Simon intentan explicar cómo a partir de un medio ambiente de tarea dado, un sujeto puede resolver una tarea. En otras palabras, analizan cómo en la solución de problemas, un sujeto en tanto sistema de procesamiento de la información deviene en un sistema adaptativo, capaz de amoldar su conducta y redefinir sus metas dentro de límites amplios, incluso de modificar las estrategias a lo largo del tiempo, mediante el aprendizaje.

2.6 Los referentes teóricos y el contexto de la investigación

Los referentes teóricos adoptados, que conforman el dominio conceptual de la investigación, permitieron fundamentar la metodología implementada y orientaron la discusión e interpretación de los resultados. Así, para dar respuesta a las cuestiones centrales de la investigación se enfatizó, durante su desarrollo, la interacción entre los aspectos conceptuales y metodológicos.

En el campo disciplinar, el marco teórico de la Física, en particular de Mecánica Clásica, permitió posicionar los contenidos específicos relacionados con los Principios de Newton. Los contenidos, la lógica, la estructura y los procesos característicos del dominio en cuestión constituyen los recursos cognitivos específicos con los que se abordará la solución de los problemas.

Se seleccionó la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel fundamentalmente, por ser una de las pocas que, en un marco constructivista, se reconoce a sí misma como una psicología educacional, que manifiesta una seria preocupación por los aprendizajes ocurridos en las aulas. En este contexto señala que como “ciencia aplicada no trata las leyes generales del aprendizaje en sí mismas, sino tan sólo aquellas propiedades del aprendizaje que pueden relacionarse con las

maneras eficaces de efectuar deliberadamente cambios cognitivos estables que tengan valor social” (Ausubel, 1953, en Ausubel et al., 1998, p.22).

El aporte de la teoría de Newell y Simon es específicamente relevante por cuanto proporciona información sobre los procesos utilizados por los sujetos en la resolución de problemas. Se constituyeron en aspectos centrales para la investigación: la concepción del pensamiento como una búsqueda del espacio del problema y la idea de que la solución de problemas corresponde a un sistema adaptativo, capaz de amoldar su conducta y redefinir sus metas dentro de límites amplios, incluso de modificar las estrategias a lo largo del tiempo, mediante el aprendizaje.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Introducción

En la resolución de un problema de lápiz y papel, los estudiantes se enfrentan a una actividad compleja de razonamiento que demanda modelizar la situación, establecer condiciones de trabajo y generalmente formular hipótesis. Uno de los principales aspectos en este proceso es la tendencia de los estudiantes a resolver los problemas mecánicamente, sin cuestionar su solución. Esto es, tienden a repetir esquemas ante situaciones que consideran, sin mayor reflexión, como prácticamente idénticas, lo cual inhibe el desarrollo de los procedimientos necesarios para resolver problemas en un contexto real.

En este sentido existe un amplio consenso en considerar a las prácticas de laboratorio como una oportunidad no sólo de familiarizar a los estudiantes con el trabajo científico, sino también de generar espacios que les permitan cuestionar, reflexionar y analizar la situación problemática a través de la formulación de hipótesis, la elaboración de posibles estrategias de resolución y el análisis de los resultados obtenidos a la luz de los contenidos teóricos implicados (Guisasola, Furió, Ceberio y Zubimendi, 2003; Valdés Castro y Valdés Castro, 1999).

Desde esta perspectiva, en este capítulo se describe la metodología de la investigación diseñada con el objeto de indagar los niveles de comprensión que los estudiantes alcanzan cuando resuelven una situación problemática presentada como problema de lápiz y papel y como actividad experimental en el contexto real de laboratorio. Asimismo, se procedió a identificar los aportes que devienen de la actividad experimental en tanto problema semi-estructurado.

La complejidad de los procesos a analizar en las situaciones de aprendizaje que acontecen en el aula cuando se resuelven problemas tanto de lápiz y papel como situaciones experimentales, llevó a adoptar en esta investigación una metodología

cualitativa, con un perfil interpretativo. Se presentan los instrumentos y las técnicas utilizadas para recoger la información, se enuncian y definen las categorías y modalidades utilizadas en el procesamiento de la información. La investigación se desarrolló en dos fases orientadas al reconocimiento de modos de resolución de una situación presentada como problema de lápiz y papel, en la primera, y como situación experimental, en la segunda de ellas.

3.2 Enfoque metodológico

La investigación se organizó apelando a un enfoque cualitativo de carácter interpretativo, basado en el reconocimiento de categorías y modalidades relevantes (Quivy y Van Campenhoudt, 1998; Vallés, 1997). No obstante, se incorporaron datos cuantitativos recurriendo a una pluralidad de metodologías. Según Stake (1995) el enfoque cualitativo se caracteriza por promover una comprensión profunda del evento en estudio mediante una descripción densa y una comprensión experiencial. Esto significa analizar el fenómeno de interés en su contexto natural, tal y como sucede intentando otorgarle sentido e interpretarlo de acuerdo con los significados que tienen para los sujetos implicados (Denzin y Lincoln, 1994).

Acordando con Taylor y Bogdan (1986) a continuación se señalan las siguientes características propias de una investigación cualitativa:

- Se basa en la acumulación de datos cuya tendencia permite extrapolar el comportamiento de los sistemas en estudio para llegar a formulaciones teóricas que expliquen las relaciones halladas en esos datos. Sus conclusiones se ven reafirmadas con la generación de mayor número de datos que apunten en la misma dirección.
- Se observa el escenario y a los sujetos desde una perspectiva holística (sistémica, amplia, integrada). Se enfatiza la importancia del todo, que es más abarcativo que la suma de las partes y da importancia a la interdependencia de éstas.
- Se comprende a los sujetos dentro del marco de referencia de ellos mismos.
- Se apartan las creencias, perspectivas y predisposiciones del investigador.

Respecto de los procedimientos interpretativos se considera que, al hacer referencia a formas concretas de percibir y abordar la realidad, permiten compartir

posturas que la conciben como subjetiva, multirreferencial, cambiante y cuyas explicaciones son resultado de una construcción de los sujetos participantes mediante la interacción con otros miembros de la sociedad. Se interesan, en general, por comprender e interpretar la realidad tal y como es entendida por los propios participantes.

Estos procedimientos que se aplican a la información o a los datos generados por la propia investigación, utilizan categorías como agrupamientos conceptuales para organizar la información en función de la afinidad de los temas a los que aluden, actitudes, valoraciones, etc., apreciadas a partir de los datos.

La investigación se diseñó como un estudio descriptivo que obedece al interés en recoger información que permita especificar las características de los procedimientos que despliegan los estudiantes al resolver una situación problemática presentada: (a) como problema de lápiz y papel y (b) como actividad experimental. La información se recogió en el contexto natural donde los estudiantes desarrollan sus clases: el aula y el laboratorio de Física. Asimismo interesó analizar las posibles relaciones en las actuaciones de los estudiantes al abordar situaciones equivalentes en dos actividades planteadas en momentos y contextos diferentes (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2006).

La investigación se desarrolló en dos fases, en función de las dos actividades planteadas, que se describen en los apartados siguientes.

3.3 Primera fase: Resolución del problema de lápiz y papel

La primera fase de la investigación estuvo orientada a dar respuesta a las cuestiones generales planteadas en el capítulo 1, a través de las siguientes preguntas específicas:

¿Cómo orientan los estudiantes su razonamiento, en relación con los contenidos teóricos que integran y los procedimientos que activan, al abordar una situación problemática de lápiz y papel? ¿Qué dificultades se presentan al abordar dicha situación?

De acuerdo a las cuestiones mencionadas, la investigación se organizó en torno al siguiente objetivo general:

Analizar los procesos cognitivos que desarrollan los estudiantes cuando se enfrentan a una situación problemática de interés, estableciendo niveles de diferenciación progresiva en la organización de los conceptos activados en la resolución.

Del mismo se desprenden los siguientes objetivos parciales:

Caracterizar el espacio del problema configurado por los estudiantes en la resolución de la situación problemática.

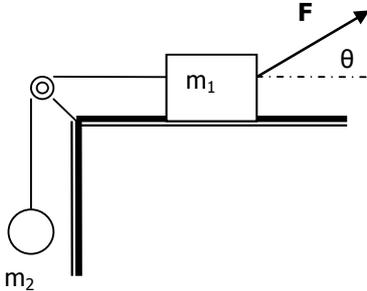
Describir los procesos desarrollados por los estudiantes durante la comprensión del enunciado y la búsqueda de la solución, estudiando los mecanismos empleados en la aplicación, transformación e integración de los contenidos teóricos.

Identificar las dificultades que pueden presentarse en el proceso de razonamiento durante la resolución.

3.3.1 Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se trabajó sobre el problema de Mecánica que fuera analizado en forma teórica en el apartado 2.4. El mismo está asociado con el movimiento de dos cuerpos vinculados mediante una cuerda. Los cuerpos pueden ser modelados como partículas teniendo en cuenta que sólo pueden trasladarse. En consecuencia, puede ser resuelto utilizando los Principios de Newton. El problema, que se presenta en la Figura 3.1, fue extraído del libro Física -Tomo 1, 4^o edición-, autor Raymond Serway (1998), el cual forma parte de la bibliografía de consulta que se sugiere a los estudiantes para orientar sus estudios durante el cursado.

Una masa m_1 sobre una superficie horizontal rugosa, se conecta a una masa m_2 por medio de una cuerda que pasa por una polea sin fricción tal como indica la figura. Si se aplica a m_1 una fuerza de magnitud F que forma un ángulo θ con la horizontal, determine la magnitud de la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda. El coeficiente de fricción cinético entre m_1 y la superficie es μ .



- Enuncie las condiciones de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas y fundamenta.

Figura 3.1. Enunciado del problema utilizado en la investigación

Dicho problema fue seleccionado por su sencillez para ser trabajado posteriormente como actividad experimental. Además, al contener sólo datos literales y la indicación explícita de una interacción (\mathbf{F}), cuya intensidad no está pre-determinada permite considerar un conjunto de distintas situaciones de movimiento, como alternativas compatibles con el enunciado, atendiendo a las posibles diferencias en las intensidades de la fuerza \mathbf{F} y el peso del cuerpo colgante. Tal como se mencionó en el apartado 2.4 las posibles alternativas son:

- Ascenso de m_2 con movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA).
- Ascenso de m_2 con movimiento rectilíneo uniforme (MRU).
- Descenso de m_2 con MRUA.
- Descenso de m_2 con MRU.

Así fue factible analizar la capacidad de los estudiantes de reconocer todas las posibilidades de movimiento (exhaustividad) y explicitar las condiciones correspondientes a cada una de las alternativas antes mencionadas.

Otro aspecto que se valoró fue que las distintas situaciones se pueden implementar en el laboratorio proporcionando a los estudiantes oportunidades para confrontar sus ideas a través de la realización de experiencias concretas, desarrollar habilidades de pensamiento lógico y de organización de procesos teóricos explicativos.

El enfoque adoptado por el estudiante para comprender el enunciado, modelizar la situación y organizar la resolución implica un análisis de las interacciones y las interpretaciones de sus efectos en relación con las variaciones temporales de las diversas magnitudes físicas a lo largo de la trayectoria seguida por los cuerpos en movimiento. Una referencia al enfoque de resolución desde la perspectiva de un experto se presentó en el apartado 2.4.

La situación problemática se aplicó al finalizar la práctica de resolución de problemas de lápiz y papel correspondiente al estudio de Dinámica de la Partícula en el curso de Física I, en la cual los movimientos se analizan relacionándolos con los fenómenos que los causan o que pueden alterarlos. Los estudiantes no habían realizado aún el trabajo de laboratorio asociado al tema.

3.3.2 Participantes

Anualmente ingresan a las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, aproximadamente 700 estudiantes, en su mayoría de la ciudad de Rosario dando continuidad a sus estudios secundarios. Sus edades oscilan entre 17 y 20 años.

Según el Plan de Estudios vigente, el dictado de la asignatura Física I correspondiente al Ciclo Básico de las carreras de Ingeniería (Civil, Mecánica, Industrial, Eléctrica, Electrónica y Agrimensura), se desarrolla en el segundo semestre con una duración de 15 semanas. El cursado está estructurado en 11 comisiones de aproximadamente 60 estudiantes cada una, distribuidas en tres turnos. El turno mañana es el más demandado y, por ello, el más numeroso. A los turnos tarde y noche asisten prioritariamente aquellos estudiantes que también se desarrollan en el ámbito laboral. La mayoría de los estudiantes son ingresantes, el resto son estudiantes que optan por cursar nuevamente la asignatura dado que no han alcanzado el nivel requerido para la promoción de la misma.

En el primer semestre los estudiantes cursan Análisis Matemático I, Álgebra I e Informática I siendo la primera, la asignatura correlativa requerida para el cursado de Física I. En Análisis Matemático I se introducen los conceptos de funciones,

límite, derivada e integrales que constituyen nociones básicas para la formalización de aspectos teóricos implicados en la descripción de movimientos. En Álgebra I se introducen las nociones de vectores y el álgebra vectorial, así como la operatoria asociada con el campo numérico.

Se seleccionó, para participar del estudio, una comisión del turno tarde dado que los docentes a cargo de la misma mostraron un fuerte interés frente a la investigación planteada. Se priorizó no sólo la predisposición de los docentes sino también el hecho de que la tesista interactuaba con el grupo de estudiantes que conformaban la comisión en la función de docente en la práctica de laboratorio.

Dado que la asistencia a las clases de práctica de resolución de problemas no es de carácter obligatorio se trabajó con los alumnos presentes en el momento de la aplicación del problema mencionado, siendo 31 los estudiantes participantes. Los mismos presentaban distintos rendimientos académicos debido a las diferentes orientaciones en su formación de nivel medio y condiciones de cursado. En su mayoría, los estudiantes cursaban por primera vez la asignatura.

3.3.3 Procesamiento de los datos

El estudio de las resoluciones se realizó siguiendo una técnica de análisis interpretativo textual (Bernárdez, 1995). La misma se basó en la identificación de expresiones en el documento escrito por los estudiantes que pueden ser interpretadas como representaciones externas que dan evidencias sobre las posibles representaciones mentales activadas. Para un análisis cualitativo integral se definieron a priori y en relación con los requerimientos indicados en el enunciado del problema, un conjunto de categorías sin renunciar a la posibilidad de que pudiesen surgir otras en el curso de la indagación:

- Categoría 1: *Enunciado de condiciones de trabajo*
- Categoría 2: *Representación de fuerzas*
- Categoría 3: *Procesos asociados a la resolución*
- Categoría 4: *Lenguaje*

Las modalidades asociadas a cada categoría emergieron durante el análisis de las resoluciones del problema de lápiz y papel efectuadas por los estudiantes. Tales resoluciones actuaron como protocolos en esta investigación. Los mismos fueron codificados con la letra A (alumnos) y un subíndice numérico según el orden en que fueron analizados. Luego de un acuerdo previo de criterios de análisis entre la tesista y sus directoras, se procedió a la triangulación de la información contenida en los protocolos (Hernández Sampieri et al., 2006) para determinar las modalidades resultantes. Cada protocolo fue analizado en forma independiente por la tesista y la codirectora. Los casos que generaron dudas o desacuerdos se sometieron a un tercer análisis por parte de la directora. Se procedió luego a la discusión en forma conjunta para arribar a acuerdos consensuados.

A continuación se detallan las categorías y modalidades resultantes de este procedimiento que se utilizaron como base del análisis de los resultados de la investigación.

Categoría 1. Enunciado de condiciones de trabajo: atiende a los supuestos explicitados por los estudiantes dado que tanto la dirección del movimiento como el valor del ángulo que forma con la horizontal la fuerza aplicada y el tipo de movimiento, no han sido precisados. El análisis se realizó a través de las siguientes cuatro modalidades:

- Basadas en elementos concretos: atiende a los argumentos que incorporan elementos que aparecen en el marco de la figura del problema elegido, tales como: cuerda, polea, etc. Así, el estudiante A₁₈ consignó: “*suponemos que la cuerda y la polea no tienen masa*”.
- Basadas en datos: incluye proposiciones que se corresponden con el enunciado textual del problema. Por ejemplo, el alumno cuyo protocolo fue caracterizado como A₁₅ escribió: “*el coeficiente de fricción cinético entre m_1 y la superficie es μ* ”, reproduciendo la última oración del enunciado.
- Referidas a elementos teóricos: atiende a proposiciones que aplican en mayor o menor grado aspectos conceptuales. Por ejemplo, A₁ consignó: “*las componentes de la aceleración a_x de m_1 y a_y de m_2 tendrán igual módulo*”

- No enuncia condiciones de trabajo.

Categoría 2. Representación de fuerzas: en esta categoría se consideran las interacciones que los alumnos tienen en cuenta en la construcción del Diagrama de Cuerpo Aislado (DCA) y la inclusión de pares de acción y reacción así como del sistema de coordenadas. Se adoptaron tres modalidades:

- Representación avanzada: atiende a las representaciones que están ya orientadas hacia la resolución. En las mismas se consignan no sólo los DCA de las masas m_1 , m_2 y la polea, en los que se reconocen todas las interacciones, sino también se indican los correspondientes pares de acción y reacción y el sistema de coordenadas adoptado. Se contemplan dentro de esta modalidad los casos en los que si bien no incluyen la gráfica de la polea, la consideración de la misma queda de manifiesto a través de la secuenciación establecida entre las masas m_1 y m_2 en el DCA y la mención explícita de la misma. Tal es el caso del protocolo del estudiante identificado por A_2 que se muestra en la figura 3.2(a).
- Representación de interacciones y sus pares de acción y reacción: incluye aquellos diagramas en los que se indican las fuerzas actuantes sólo sobre los cuerpos de masas m_1 y m_2 y sus respectivos pares de acción y reacción.
- Representación incompleta: atiende aquellos casos en los que se reconocen aspectos parciales referidos al reconocimiento de las interacciones, de los pares de acción y reacción o al sistema de coordenadas adoptado.

Categoría 3. Procesos asociados a la resolución: tiene en cuenta los procedimientos que los alumnos ponen en juego en la solución de la situación problemática. Para ello se han adoptado tres modalidades:

- Interpretar el modelo subyacente y calcular: cuando se presenta una situación modelizada explícitamente, que es interpretada para establecer las relaciones matemáticas asociadas a las variables solicitadas en el enunciado, en función de los datos consignados en el mismo.

- Aplicar conceptos y calcular: se apela a una valoración conceptual, previa a la determinación de las variables solicitadas. Se hace un planteo adecuado pero incompleto con el cual se alcanzan expresiones matemáticas. Sin embargo, tales expresiones no permiten obtener un resultado analítico ya que incluyen una de las variables demandadas como función de la otra.
- Aplicar conceptos y principios: cuando se procede sólo a la valoración del significado de los conceptos sin lograr establecer las relaciones demandadas que vinculan los movimientos de ambas masas.

Categoría 4. Lenguaje: hace referencia a la estructura del sistema de comunicación que utilizan los estudiantes al resolver la situación problemática. De acuerdo a las características observadas se establecieron cinco modalidades:

- Coloquial: corresponde al lenguaje natural, con predominio de formas descriptivas que hacen referencia a secuencias lineales de eventos con presencia de palabras de uso cotidiano aunque en algunos pocos casos se utilizan vocablos más específicos (Mortimer, 1998). Por ejemplo, A₁₃ escribió: “...suponemos que la cuerda no se estira y la polea no me influye en el sistema por lo que la tensión es la misma en toda la cuerda...”
- Académico: presenta un estilo formal de mayor riqueza léxica asociado a términos disciplinares específicos. El conjunto de palabras empleadas tienen significados interrelacionados en una estructura conceptual (Mortimer, op. cit). Por ejemplo, A₉ explicitó: “...se supone que la cuerda es inextensible, la polea de masa despreciable al igual que la interacción por fricción entre la cuerda y la polea...”.
- Matemático sin determinación de las variables requeridas: se plantea el Segundo Principio de Newton mediante algoritmos y fórmulas donde cada letra conlleva un significado propio de la disciplina. Por ejemplo, A₈ escribió:

$$m_1: \quad \Sigma F_x = F \cos \theta - T_1 - f_r = m_1 a_x$$

$$\Sigma F_y = F \sin \theta + N - P_1 = 0$$

$$m_2: \quad \Sigma F_x = m_2 a_x = 0$$

$$\Sigma F_y = T_2 - P_2 = m_2 a_y$$

- Matemático con determinación de las variables requeridas: se plantea el Segundo Principio de Newton mediante algoritmos y fórmulas con determinación de las variables solicitadas en función de las que se consignan en el enunciado del problema. Por ejemplo, A₂ escribió:

$$a = \frac{[F \cos \theta - M_2 g - \mu m_1 g + \mu F \sin \theta]}{m_1 + m_2}$$

$$T = m_2 g + m_2 \frac{[F \cos \theta - m_2 g - \mu m_1 g + \mu F \sin \theta]}{m_1 + m_2}$$

- Sin enunciado de proposiciones literales: no se incluyen producciones empleando palabras, sólo se hace referencia a relaciones algorítmicas y fórmulas.

Procedimiento de análisis de los protocolos

Para indicar el modo en que se desarrolló el análisis de los protocolos a fin de identificar las correspondientes modalidades de cada categoría, en las Figuras 3.2(a) y (b) se presenta la producción asociada a la resolución del problema, objeto de estudio de esta investigación, elaborada por un estudiante que fue referenciado con el código A₂.

Con la letra **A** se resaltan las proposiciones que dieron lugar a la selección de la modalidad *Basada en elementos concretos*, que corresponde a la categoría *Enunciado de condiciones de trabajo*, definida en el apartado anterior. Se destaca, con la letra **B**, el esquema cuyos elementos permitieron asociarlo a la modalidad *Representación avanzada* incluida en la categoría *Representación de fuerzas*. Con la letra **C** se distingue el planteo del Segundo Principio de Newton para ambos cuerpos, el cual deviene de considerar que los cuerpos de masas m_1 y m_2 se modelizaron como partículas y del reconocimiento de las interacciones entre éstas y el medio ambiente. Por lo tanto se incluyó esta producción dentro de la modalidad

Interpretar el modelo subyacente y calcular correspondiente a la categoría *Procesos asociados a la resolución*. En las producciones literales se utilizaron términos disciplinares específicos como por ejemplo: masa despreciable. Asimismo se determinaron las variables demandadas en el problema seleccionado, indicadas con la letra **D**. Por lo cual esta producción se consignó dentro de las modalidades *Académico y Matemático con determinación de las variables requeridas* incluidas en la categoría *Lenguaje*.

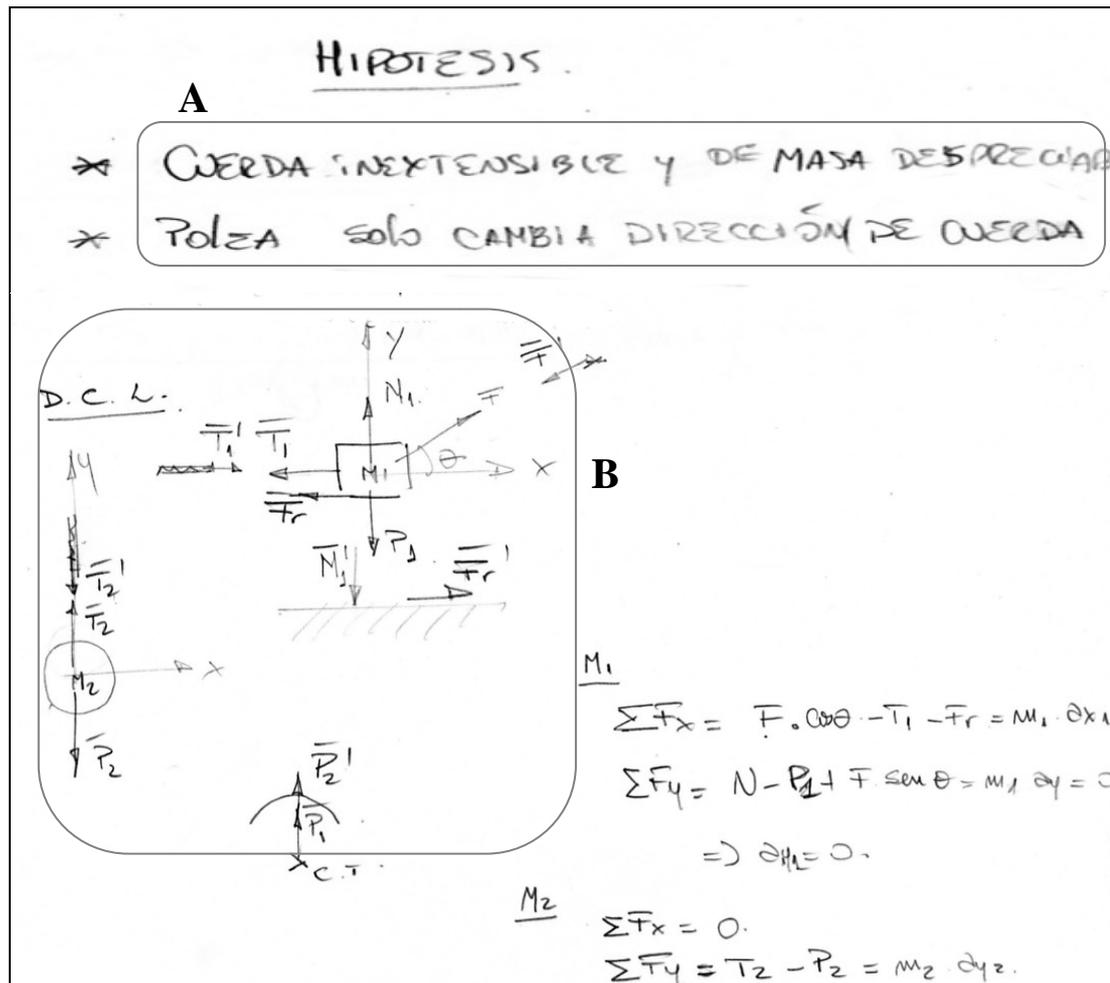


Figura 3.2(a). Resolución correspondiente al protocolo A_2

Como la polea sólo cambia la dirección de la cuerda. $\Rightarrow a_{x1} = a_{y2} = a$

$\Rightarrow |\vec{T}_1| = |\vec{T}'_1| = \vec{T}$

$|\vec{T}_2| = |\vec{T}'_2| = \vec{T}$ **C**

M_1
 $\Sigma F_y = N - P_1 + F \text{ sen } \theta = 0 \Rightarrow N - M_1 g + F \text{ sen } \theta = 0$ ①
 $\Sigma F_x = F \text{ cos } \theta - T - F r = M_1 \cdot a$ ②
 $N = M_1 g - F \text{ sen } \theta$

M_2
 $\Sigma F_y = T - P_2 = M_2 a \Rightarrow T - M_2 g = M_2 a$
 $T = M_2 g + M_2 a$ ③

$F \text{ cos } \theta - M_2 g + M_2 a - \mu N = M_1 a$
 $F \text{ cos } \theta - M_2 g - \mu N = M_1 a - M_2 a$
 $F \text{ cos } \theta - M_2 g - \mu (M_1 g - F \text{ sen } \theta) = a (M_1 - M_2)$

D
 $a = \frac{(F \text{ cos } \theta - M_2 g - \mu M_1 g + \mu F \text{ sen } \theta)}{M_1 - M_2}$
 $T = M_2 g + M_2 a$
 $T = M_2 g + M_2 \left[\frac{(F \text{ cos } \theta - M_2 g - \mu M_1 g + \mu F \text{ sen } \theta)}{M_1 - M_2} \right]$

Figura 3.2(b). Continuación de la resolución correspondiente al protocolo A2

Para sistematizar la información de cada protocolo se organizó una matriz de datos, disponiendo en las columnas las categorías de análisis, subdividiendo las mismas en sus correspondientes modalidades. En las filas se indicaron los protocolos de los estudiantes. En función de las características encontradas en los mismos, se indicó en la celda correspondiente mediante una cruz la/las modalidad/es identificadas en las resoluciones, según se muestra en el Anexo I.

Análisis de la categoría 1: Enunciado de condiciones de trabajo

Esta categoría se utilizó para identificar la manera en que los estudiantes acceden a un nuevo estado a partir del estado inicial del espacio del problema. Las condiciones de trabajo se analizaron en dos instancias: en la primera se caracterizaron de acuerdo con las modalidades enunciadas anteriormente y se determinaron las frecuencias absolutas y porcentuales correspondientes a cada una de las modalidades con el objeto de establecer su predominancia. En la segunda instancia se procedió a analizar la posible combinación de modalidades, en términos de frecuencias porcentuales, en un mismo protocolo teniendo en cuenta que las modalidades podrían no ser excluyentes.

Análisis de la categoría 2: Representación de fuerzas

En esta categoría se indagó sobre la forma en que los estudiantes organizaron el análisis de las interacciones. El reconocimiento del sistema en estudio y el medio ambiente estableció el nivel de diferenciación de las interacciones. Así fue importante distinguir entre estudiantes que consideraban que el sistema en estudio estaba constituido tanto por los cuerpos de masas m_1 y m_2 como por la polea, de otros para quienes sólo estaba conformado por los cuerpos. La adopción del sistema en estudio condiciona la definición tanto del medio ambiente como de las interacciones. Esto determinó la identificación de cada protocolo con la correspondiente modalidad. Se procedió a un análisis de frecuencias absolutas y relativas.

Análisis de la categoría 3: Procesos asociados a la resolución

Acordando con el modelo del proceso de resolución de problemas propuesto por Newell y Simon (1972), consignado en el apartado 2.5.2, se analizaron los procedimientos puestos en juego por los estudiantes al resolver el problema de lápiz y papel propuesto.

Desde esta perspectiva en la construcción del espacio del problema se reconocen los subprocesos que permiten generar los sucesivos estados que viabilizan la determinación de las variables demandadas:

Estado inicial: corresponde a la traducción o procesamiento del enunciado de la situación descrita en el problema y al reconocimiento de la información necesaria y suficiente demandada para la resolución de la situación. El enunciado de las condiciones de trabajo se constituye en el operador que permite el acceso a un nuevo estado del espacio del problema.

Estados intermedios: se relacionan con la planificación y el desarrollo de la resolución. La definición del sistema en estudio, su medio ambiente y las correspondientes interacciones se constituyen en aspectos relevantes de estos estados. Algunos de los operadores que se reconocieron durante el proceso de modelización y los que viabilizaron el análisis del movimiento de los cuerpos, devienen de los definidos por Sánchez (2011) y otros emergieron del procesamiento de los protocolos.

Estado final: es aquel a partir del cual se inicia el proceso de cálculo de las variables demandadas: aceleración y tensión, en función de los datos del problema.

De acuerdo a estos lineamientos se procedió a la identificación de cada protocolo con una de las modalidades incluidas en esta categoría. Se efectuó un análisis de frecuencias absolutas y relativas.

Análisis de la categoría 4: Lenguaje

A semejanza de la categoría *Enunciado de condiciones de trabajo*, el estudio se realizó en dos instancias: en la primera se analizó el lenguaje literal -considerando las modalidades: académico, coloquial y sin enunciado de proposiciones literales- y el lenguaje simbólico -teniendo en cuenta la formalización matemática acompañada en la determinación o no de las variables requeridas en las consignas-. Se efectuó un estudio de las frecuencias absolutas y relativas por modalidad. En la segunda instancia se organizó la información cruzando el lenguaje literal con el lenguaje matemático. Se analizaron los agrupamientos de las modalidades que se presentaron

simultáneamente en términos de frecuencias porcentuales: *académico-matemático sin determinación de variables*; *académico-matemático con determinación de variables*; *coloquial-matemático sin determinación de variables*; *coloquial-matemático con determinación de variables*; *sin proposiciones- matemático sin determinación de variables* y *sin proposiciones- matemático con determinación de variables*. Los porcentajes de las diferentes combinaciones identificadas dan cuenta de las articulaciones lingüísticas utilizadas para organizar y comunicar los procesos cognitivos.

Análisis de semejanzas en las producciones de los estudiantes y conformación de clases

El análisis de la matriz de datos (Anexo I) en función de la categoría *Procesos asociados a la resolución*, permitió identificar diferentes modos de actuación de los estudiantes. Se analizaron las características de los procedimientos de resolución puestos en juego por cada uno de ellos. Las semejanzas detectadas permitieron definir cada una de las clases considerando, además, las modalidades de las restantes categorías que fueron identificadas en las producciones de los estudiantes que integran cada clase.

3.4 Segunda fase: Resolución de la actividad experimental como problema semi-estructurado

Las siguientes cuestiones específicas se constituyeron en eje de la segunda fase de la investigación:

¿De qué forma los estudiantes dirigen su razonamiento al abordar una situación experimental planteada como un problema semi-estructurado y qué procedimientos activan durante su tratamiento? ¿Qué aportes devienen de la resolución de una situación problemática como actividad experimental respecto de su planteo como problema de lápiz y papel?

De acuerdo a las cuestiones mencionadas, la investigación se orientó en base al siguiente objetivo general:

Detectar los modos de resolución que desarrollan los estudiantes frente a una actividad experimental a partir de los niveles de conceptualización alcanzados, los procedimientos activados y la valoración de los resultados obtenidos.

Del mismo se desprenden los siguientes objetivos parciales:

Caracterizar las conceptualizaciones elaboradas por los estudiantes en la resolución de la actividad experimental.

Describir los procesos desarrollados por los estudiantes en la búsqueda de la solución, analizando los mecanismos empleados en la aplicación, transformación e integración de los contenidos teóricos.

Reconocer los aportes que devienen de la resolución de una actividad experimental respecto de su planteo como problema de lápiz y papel.

3.4.1 Selección de los participantes

Se realizó el estudio con 52 estudiantes, distribuidos en 12 grupos de trabajo. Cabe aclarar que el aumento en la cantidad de estudiantes que efectuaron el trabajo práctico de laboratorio con respecto a los que resolvieron el problema de lápiz y papel, se debió a que se trata de una actividad de asistencia obligatoria.

Los estudiantes realizaron el experimento luego de desarrollar los contenidos teóricos sobre movimiento y Principios de Newton y en la misma semana en la que procedían a la resolución de problemas de lápiz y papel sobre este contenido. Conforme al diseño de esta investigación, la actividad experimental se realizó con posterioridad a la resolución del problema de lápiz y papel que se presenta en la primera fase. Los grupos dispusieron de una guía que contempla el desarrollo de un trabajo progresivo orientado al análisis cualitativo de la situación, posicionándolos para su modelización. En el Anexo II se presenta la guía que orienta la tarea en el laboratorio. La propuesta de un trabajo que va desde la situación concreta a su modelización y de la situación modelizada a la realidad permite que los estudiantes se preparen en el tratamiento científico de las situaciones problemáticas en dos

planos: el real y el simbólico-matemático (Salinas de Sandoval y Colombo de Cudmani, 1992).

El tratamiento colectivo de la actividad favoreció la incorporación activa de los estudiantes a través de una tarea permanente de reflexión compartida, bajo la orientación del profesor.

3.4.2 Instrumento de recolección de datos

Se trabajó sobre las memorias escritas (protocolos) elaboradas en grupo por los estudiantes como producto de la actividad experimental realizada sobre “Análisis de fuerzas y movimientos utilizando una pista de aire”. En la misma se propone analizar el movimiento de un cuerpo de masa m_1 sobre una pista horizontal de aire, que es tirado mediante una cuerda que pasa por una polea y que sostiene a otro cuerpo de masa m_2 , tal como muestra la Figura 3.3, a partir de la aplicación del Segundo Principio de Newton.

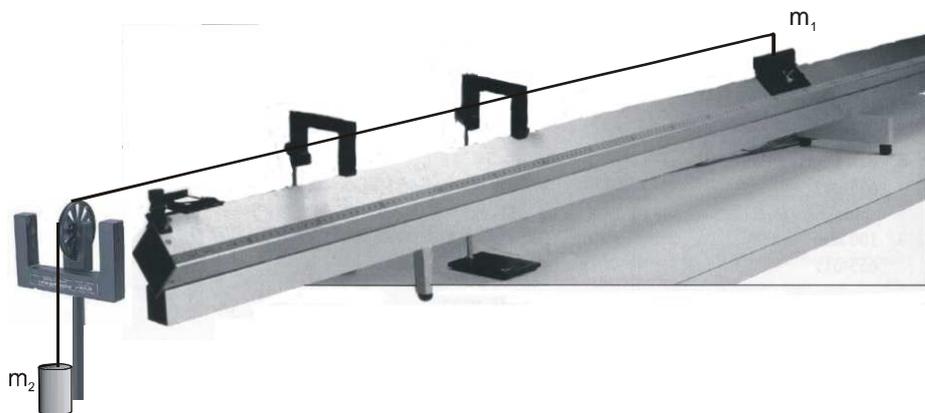


Figura 3.3. Dispositivo experimental

El análisis del movimiento se plantea desde dos perspectivas:

- Estudio cinemático de las variables velocidad y aceleración en función del tiempo.
- Estudio dinámico del sistema identificando las interacciones que el medio ambiente ejerce sobre él y que dan cuenta de su movimiento con relación a los fenómenos que lo causan o pueden alterarlo.

En la elaboración de las memorias escritas, los estudiantes tuvieron en cuenta pautas sugeridas por los docentes, mediante las cuales se espera que consideren la inclusión de los siguientes contenidos:

- Introducción teórica consignando los contenidos conceptuales y la modelización efectuada de la situación experimental.
- Objetivos a lograr en la realización de la actividad experimental.
- Desarrollo experimental explicitando: la descripción del equipamiento, el detalle de los instrumentos de medición y el procedimiento para el registro de los datos que permiten arribar a los resultados.
- Resultados obtenidos, análisis y discusión de los mismos. Enunciado de conclusiones finales.

Esto demanda la organización de una representación mental del problema, consensuada entre los integrantes del grupo (Justi, 2006), y la definición del grado de complejidad que se le otorgará al desarrollo de la situación experimental. Estas prácticas generan, así, un espacio para que los estudiantes tomen decisiones y desarrollen estrategias para enfrentar las dificultades y resolver los problemas emergentes con un matiz que los aproxime a la actividad investigadora o de desempeño profesional específico.

Cabe destacar que en la actividad experimental propuesta, a diferencia del problema de lápiz y papel presentado en la primera fase, no está presente la acción de la fuerza \mathbf{F} sobre el cuerpo de masa m_1 . Esto es debido a que no se dispone de los elementos adecuados para el montaje del equipo experimental que permitan registrar información sobre la fuerza \mathbf{F} . En consecuencia, el análisis de los posibles movimientos del sistema queda limitado al estudio del descenso de la masa m_2 con MRUA y MRU.

3.4.3 Procesamiento de los datos

Para el estudio de las producciones escritas elaboradas por los estudiantes se utilizó, como en la primera fase, la técnica de análisis de contenido a fin de obtener

una clasificación de los procesos cognitivos puestos en juego al abordar la situación experimental en la que se proponen los siguientes ejes de trabajo:

1. Enunciado de condiciones de trabajo que orientan la descripción y explicación del movimiento.
2. Asociación del modelo teórico al sistema en estudio. Aplicación del Segundo Principio de Newton.
3. Cálculo de la aceleración del sistema a partir de la representación gráfica de la velocidad de caída de la masa m_2 en función del tiempo.
4. Comparación entre la fuerza neta del sistema y el peso del cuerpo colgante. Cálculo del porcentaje de discrepancia.
5. Enunciado de conclusiones a la luz de los resultados obtenidos.

Para identificar los modos de razonamiento desarrollados por los estudiantes se utilizaron las categorías y modalidades definidas en la primera fase de esta investigación. Esto se fundamenta en la intención de establecer los aportes que derivan de la resolución de una misma situación problemática planteada como problema de lápiz y papel y como actividad experimental.

El análisis de las memorias escritas, las cuales fueron identificadas por una sigla: G_i , donde i corresponde a un número asignado a cada grupo, se realizó a partir de la construcción de una síntesis, en formato tabla, de los contenidos y aspectos relevantes identificados en cada protocolo en función de las categorías: *Enunciado de condiciones de trabajo*, *Representación de fuerzas* y *Procesos asociados a la resolución* con sus respectivas modalidades. Las tablas elaboradas se presentan en el Anexo III.

En el estudio de la categoría *Lenguaje*, atendiendo a los contenidos de las memorias escritas indicados en el apartado 3.4.2, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: Enunciado de condiciones de trabajo, Formalización desarrollada en la determinación de la aceleración y Funciones cognitivo-lingüísticas puestas en juego. Las modalidades derivadas de estos aspectos se consignan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Modalidades asociadas a la categoría *Lenguaje*

	Modalidades
Enunciado de condiciones de trabajo	Lenguaje académico.
	No enuncia condiciones.
	Ubicación dentro del informe: en la introducción teórica, en el procedimiento, en la conclusión.
Formalización de la aceleración	Determinación gráfica por software.
	Determinación analítica utilizando expresiones matemáticas pre-establecidas.
	Determinación analítica a partir de la deducción de ecuaciones.
Funciones cognitivo lingüísticas	<u>Comparación.</u> Se establecen semejanzas y diferencias entre las variables. En este proceso al identificar elementos comunes emergen generalizaciones sobre las variables y particularidades al detectar elementos únicos.
	<u>Descripción.</u> Se encuentra íntimamente relacionada con la observación de un sistema, de un proceso o de un fenómeno. Contribuye a ordenar la información que se percibe y a diferenciar las características y variables significativas con el fin de encontrar regularidades y realizar una clasificación para interpretar los hechos en función de una teoría o un modelo.
	<u>Justificación.</u> Implica la validación de un razonamiento utilizando reglas o principios para relacionar unos datos con la conclusión, recurriendo a la estructura de conocimientos científicos la que incluye contenidos afines que permiten fundamentar el razonamiento.

Tomando como base la información contenida en las tablas que se encuentran en el Anexo III y el análisis derivado de la categoría *Lenguaje*, se procedió a reconocer los grupos de trabajo que comparten las mismas modalidades para cada una de las categorías definidas.

Posteriormente, se identificaron los modos de razonamiento desarrollados por los estudiantes al resolver la situación experimental estableciendo posibles criterios de análisis en correspondencia con las clases detectadas en la primera fase (resolución del problema de lápiz y papel).

3.5 Aportes derivados del desarrollo de la actividad experimental

En base a las características de las clases detectadas en ambas fases de la investigación se procedió a identificar, para cada clase, las argumentaciones elaboradas por los estudiantes a partir del desarrollo de la actividad experimental que no fueron observadas en la resolución del problema de lápiz y papel. Estas argumentaciones resultaron relevantes para identificar los aportes que devienen de la conceptualización de la actividad experimental.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados emergentes del procesamiento de los datos recogidos durante la investigación de acuerdo con la metodología detallada en el capítulo 3. Los mismos se han organizado atendiendo a las dos fases en que se llevó a cabo la investigación.

En la primera se estudiaron los procesos cognitivos que ponen en juego los estudiantes cuando resuelven un problema de lápiz y papel de Dinámica de la Partícula. Para ello y teniendo en cuenta el marco teórico adoptado, se establecieron los niveles de diferenciación progresiva alcanzados, en la comprensión y modelización de la situación, durante su resolución. Se investigó el espacio del problema y se identificaron dificultades en el proceso de razonamiento. Se procedió al reconocimiento de semejanzas entre los individuos y a la conformación de una tipología de actuaciones de los estudiantes. Los resultados permitieron detectar aspectos de interés para estudiar sus acciones al abordar una actividad de laboratorio relacionada con los Principios de Newton.

La segunda fase se centró en el análisis de los informes escritos elaborados por los estudiantes sobre un trabajo práctico de laboratorio en el que se estudia el movimiento de un cuerpo sobre una pista de aire. Se efectuó un análisis del contenido de los informes utilizando las categorías y las modalidades de la primera fase. Se realizó un estudio comparativo entre los tratamientos desarrollados al resolver el problema de lápiz y papel y la situación experimental para detectar posibles modificaciones en la tipología organizada en la primera fase.

4.2 Primera fase: Resolución del problema de lápiz y papel

4.2.1 Resultados de la resolución desarrollada por los estudiantes

En la Tabla 4.1 se indican los protocolos en los cuales se han detectado las modalidades asociadas (Scanchich, Yanitelli y Massa, 2008a) a cada una de las categorías explicitadas en el capítulo 3, apartado 3.3.3. Se incluye, además, la frecuencia con que se presentó cada modalidad.

Tabla 4.1. Distribución de categorías, modalidades y frecuencias emergentes de la resolución del problema realizada por los estudiantes

CATEGORIA	MODALIDAD	PROTOCOLO	FRECUENCIA (absoluta y porcentual)
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos concretos	A ₂ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₃ , A ₁₅ , A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₈ , A ₂₂ , A ₂₇ , A ₃₀ , A ₃₁	13 (42 %)
	Basadas en datos	A ₆ , A ₁₅ , A ₂₆ , A ₂₇ , A ₂₉	5 (15 %)
	Referidas a elementos teóricos	A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₃ , A ₁₄ , A ₁₈ , A ₂₁ , A ₂₂ , A ₃₀	12 (39 %)
	No enuncia condiciones de trabajo	A ₃ , A ₅ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₉ , A ₂₀ , A ₂₃ , A ₂₄ , A ₂₅ , A ₂₈	11 (36 %)
Representación de fuerzas	Representación avanzada	A ₁ , A ₂ , A ₅ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₃ , A ₁₄ , A ₁₈ , A ₁₉ , A ₂₀ , A ₃₀	14 (45 %)
	Representación de interacciones y sus pares de acción y reacción	A ₁₅ , A ₁₆ , A ₂₄ , A ₂₇ , A ₂₉ , A ₃₁	6 (19%)
	Representación incompleta	A ₃ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₁₇ , A ₂₁ , A ₂₂ , A ₂₃ , A ₂₅ , A ₂₆ , A ₂₈	11 (36 %)
Procesos asociados a la resolución	Interpretar el modelo subyacente y calcular	A ₂ , A ₃ , A ₅ , A ₁₀ , A ₁₈ , A ₂₂ , A ₂₇ , A ₂₈ , A ₂₉	9 (29 %)
	Aplicar conceptos y calcular	A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₉ , A ₁₁ , A ₁₃ , A ₁₄ , A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₉ , A ₂₀ , A ₂₁ , A ₂₃ , A ₂₄ , A ₃₀ , A ₃₁	17 (55 %)
	Aplicar conceptos y principios	A ₈ , A ₁₂ , A ₁₅ , A ₂₅ , A ₂₆	5 (16%)
Lenguaje	Coloquial	A ₄ , A ₆ , A ₁₁ , A ₁₃ , A ₁₅ , A ₂₀ , A ₂₁ , A ₂₆ , A ₂₇ , A ₂₉	10 (32 %)
	Académico	A ₁ , A ₂ , A ₅ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₄ , A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₈ , A ₂₂ , A ₃₀ , A ₃₁	12 (39 %)
	Matemático sin determinación de las variables requeridas	A ₁ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₁₁ , A ₁₂ , A ₁₄ , A ₁₅ , A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₉ , A ₂₃ , A ₂₄ , A ₂₅ , A ₂₆ , A ₂₈ , A ₃₁	17 (55%)
	Matemático con determinación de las variables requeridas	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₃ , A ₁₈ , A ₂₀ , A ₂₁ , A ₂₂ , A ₂₇ , A ₂₉ , A ₃₀	14 (45 %)
	Sin enunciado de proposiciones literales	A ₃ , A ₇ , A ₈ , A ₁₂ , A ₁₉ , A ₂₃ , A ₂₄ , A ₂₅ , A ₂₈	9 (29%)

Los rasgos identificados en los protocolos mostraron que las modalidades correspondientes a las categorías *Enunciado de condiciones de trabajo* y *Lenguaje* no eran mutuamente excluyentes. Esto justifica que los valores porcentuales totales superan el 100%.

a) En relación con la categoría *Enunciado de condiciones de trabajo*, tal como se observa en la Tabla 4.1, predominan los enunciados que involucran elementos concretos (42%).

En la Tabla 4.2 se muestra la forma en que están integradas las modalidades correspondientes a esta categoría. Las mismas se han ubicado tanto en las columnas como en las filas de modo que la tabla es simétrica. Sobre la diagonal se ubican los porcentajes de enunciados de condiciones monomodales (en el sentido de corresponder a una modalidad) y en las posiciones no diagonales los porcentajes de enunciados bimodales (por combinación de dos modalidades). No se encontraron condiciones con las tres modalidades. Los totales se corresponden con los presentados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.2. Distribución porcentual de las modalidades correspondientes a la categoría *Enunciado de condiciones de trabajo* cuando éstas fueron formuladas

	Basadas en elementos concretos	Basadas en datos	Referidas a elementos teóricos	Total
Basadas en elementos concretos	13%	6%	23%	42%
Basadas en datos	6%	6%	3%	15%
Referidas a elementos teóricos	23%	3%	13%	39%
Total	42%	15%	39%	

Se identificó un 13% de estudiantes que considera únicamente proposiciones basadas en elementos concretos que incluyen ideas asociadas a las características de los elementos constitutivos del sistema en estudio o funciones de los mismos. Se transcribe a continuación lo establecido por uno de ellos:

A₂: “*La cuerda es inextensible y de masa despreciable; la polea sólo cambia la dirección de la cuerda*”

Asimismo se detectó que un 6% de los casos incluye, además, proposiciones contenidas en el enunciado del problema evidenciando una tendencia a trabajar en términos de certezas más que en el plano de las suposiciones, tal como se muestra en la transcripción siguiente (en negrita se destacan las proposiciones que el estudiante ha tomado textualmente del enunciado):

A₁₅: “***La superficie horizontal es rugosa (actúa sobre m_1), la masa m_1 y m_2 están conectadas por una cuerda, la polea no posee fricción, la cuerda y la polea no tienen masa (apreciable), la fuerza de magnitud F está aplicada sobre m_1 y forma un ángulo θ con la horizontal, el coeficiente de roce entre m_1 y la superficie es μ .***”

En el 23 % de los casos se detectó que en la elaboración de condiciones se integran proposiciones que involucran tanto características constitutivas del sistema en estudio, como también aspectos teóricos asociados al movimiento del mismo. Se muestra a continuación una de las situaciones identificadas:

A₃₀: “*Para tener en cuenta: la cuerda es de masa despreciable e inextensible; al ser la superficie rugosa, posee fuerza de roce; la fuerza F tiene que ser mayor a la fuerza que se opone al movimiento de m_1 (fuerza de roce) y al peso de m_2 ”*

Como se puede observar en este caso en particular, el estudiante, en forma implícita, adopta en la resolución un sistema de estudio integrado por los dos bloques y la cuerda, en lugar de considerar cada bloque como un sistema. Esto emerge de la omisión de la fuerza interna que pone tensa la cuerda. Cabe precisar que en el tratamiento propuesto por este estudiante se pierde información relativa a la interacción entre la cuerda y los bloques.

Otro estudiante expresa:

A₉: “*Se supone que la cuerda es inextensible, la polea de masa despreciable y la interacción entre la cuerda y la polea no produce efecto de roce*”

En este caso, su pensamiento está orientado hacia la elaboración de un modelo conceptual que posibilita el acceso a la resolución del problema como una actividad de construcción y no como una mera aplicación de algoritmos y ecuaciones. Sin embargo, se observa un error conceptual por considerar que no existe rozamiento entre la cuerda y la polea, cuando en realidad se produce roce estático. Esto muestra un intento de transferencia de conocimiento sin suficiente profundización.

El 6% de los casos (valor ubicado en la diagonal) enuncia como condiciones sólo lo que los datos sugieren o confirman recurriendo a la enumeración de los mismos. Se detalla lo expresado por un estudiante:

A₂₉: “Superficie horizontal rugosa, polea sin fricción, fuerza de magnitud F aplicada sobre m_1 formando un ángulo θ con la horizontal, fricción cinética entre m_1 y la superficie μ ”

Un único caso (3%) enuncia condiciones que se organizan tanto basadas en datos como en elementos teóricos (conceptos relacionados con la cinemática), al expresar:

A₆: “Se aplica una fuerza F a la masa m_1 que jala a las dos masas y produce una aceleración”

Se observó que un 13 % de los estudiantes, que sólo incluyen elementos teóricos en el enunciado de las condiciones, hacen referencia a un único tipo de movimiento: hacia la derecha de m_1 con MRUA. Asimismo, explicitan aspectos que deben tener en cuenta para simplificar el cálculo de las magnitudes demandadas en la situación problemática. Se presenta, como ejemplo, el siguiente enunciado:

A₂₁: “Se supone que la masa m_1 se mueve en la dirección de la fuerza \mathbf{F} , que las aceleraciones de m_2 y m_1 son iguales y que además las tensiones T_1 y T_2 son iguales a T (tensión del sistema)”

En esta modalidad se incluyen expresiones que evidencian un tratamiento sesgado de la situación física analizada: la única posibilidad de movimiento del bloque m_1 hacia la derecha al dar lectura a la interacción \mathbf{F} como motora. El estudiante no detecta que para determinadas intensidades y ángulos de inclinación de la misma, el sistema puede moverse en sentido contrario bajo condiciones de roce cinético y con

la fuerza \mathbf{F} actuando con un carácter resistente. Cabe destacar que este mismo sesgo se evidenció en los procedimientos de resolución de la totalidad de los casos: la focalización selectiva de la atención hacia un único tipo de situación (movimiento del bloque m_1 hacia la derecha) entre las dos posibles alternativas compatibles con el enunciado del problema. Además sólo se consideró como posible el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, excluyendo la posibilidad de aceleración nula.

Un 36% de los estudiantes (Tabla 4.1) no explicita las condiciones bajo las cuales encara la resolución del problema.

b) En relación con la categoría *Representación de fuerzas* se detectó que un 45%, (Tabla 4.1) de los estudiantes actuaron de acuerdo con la modalidad *representación avanzada* ya que identificaron correctamente la totalidad de las fuerzas actuantes sobre cada uno de los cuerpos que conforman el sistema de estudio definido. También reconocieron los correspondientes pares de acción y reacción denotando que han asimilado que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo son ejercidas por otros cuerpos o agentes que componen el medio ambiente inmediato.

La Figura 4.1 muestra la representación realizada por uno de los estudiantes (protocolo A₂₀). La diferenciación entre el sistema en estudio (bloques de masa m_1 y m_2 , cuerda y polea) y el medio ambiente y el reconocimiento de todas las interacciones (las fuerzas de contacto con el plano horizontal \mathbf{N}_1 y \mathbf{F}_{r1} , las fuerzas gravitatorias \mathbf{P}_1 y \mathbf{P}_2 , las fuerzas que ponen tensa la cuerda \mathbf{T} y \mathbf{T}_1 y, además, la fuerza \mathbf{F} que se ha dado en forma explícita como dato), evidencia que se han percibido los aspectos relevantes del problema que permiten representar la situación problemática planteada a fin de describir y explicar el movimiento en estudio. La inclusión del sistema de ejes coordenados estaría indicando la activación de procedimientos fundamentales para la descripción matemática del movimiento.

Sólo en algunos de estos casos se efectuó el diagrama de cuerpo aislado de la polea, haciendo explícita la suposición que las fuerzas en los extremos de una cuerda, que pasa por la garganta de una polea de masa despreciable y que no tenga rozamiento con el eje, tienen el mismo módulo cuando la cuerda está acelerada.

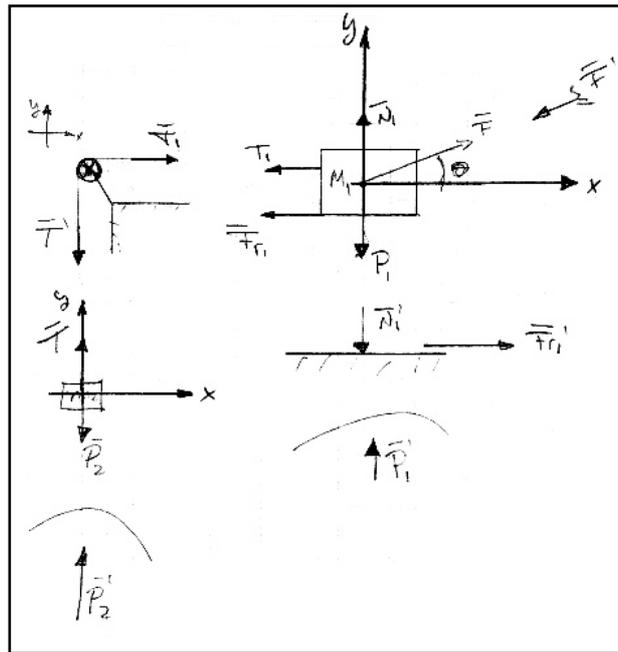


Figura 4.1. Diagrama de cuerpo aislado del protocolo A₂₀ correspondiente a la modalidad 'representación avanzada'

Un 19% de los estudiantes actuó según la modalidad *representación de interacciones y pares de acción y reacción*, por cuanto logran una representación parcial en la que se incluyen sólo las interacciones (las fuerzas de contacto con el plano horizontal \mathbf{N} y \mathbf{f}_r , la fuerza gravitatoria \mathbf{P} , la fuerza que pone tensa la cuerda \mathbf{T}_2 y la fuerza \mathbf{F} que se ha dado como dato) sobre los cuerpos de masas m_1 y m_2 y las correspondientes reacciones (las fuerzas de contacto sobre el plano horizontal \mathbf{N}' y \mathbf{f}'_r , la fuerza sobre la Tierra \mathbf{P}' , sobre la cuerda \mathbf{T}_2' y la fuerza sobre la mano que tira de la cuerda \mathbf{F}'). En la Figura 4.2 se consignan las representaciones realizadas por el estudiante A₁₆, que evidencian la fragmentación de la cuerda en dos tramos, sólo para indicar dónde se ubican las fuerzas (reacciones) que realizan ambos bloques sobre los extremos de los mismos. Este tratamiento puede deberse a que la polea no se constituyó en un elemento de estudio para el estudiante. También se observa que se omite la representación gráfica del sistema de coordenadas desde el que se analizará el movimiento. Se destaca que fueron identificadas adecuadamente todas las interacciones presentes sobre ambos cuerpos m_1 y m_2 .

Cabe destacar que el estudiante A₂₄ explicita "...otra duda es que no sé donde aplicar la reacción a la fuerza \mathbf{F} , ya que no sé si tira o empuja al cuerpo de masa m_1 ...". Esto denota la atención hacia el agente que estaría ejerciendo la fuerza \mathbf{F} que lo limita en la determinación de la representación correspondiente de la reacción.

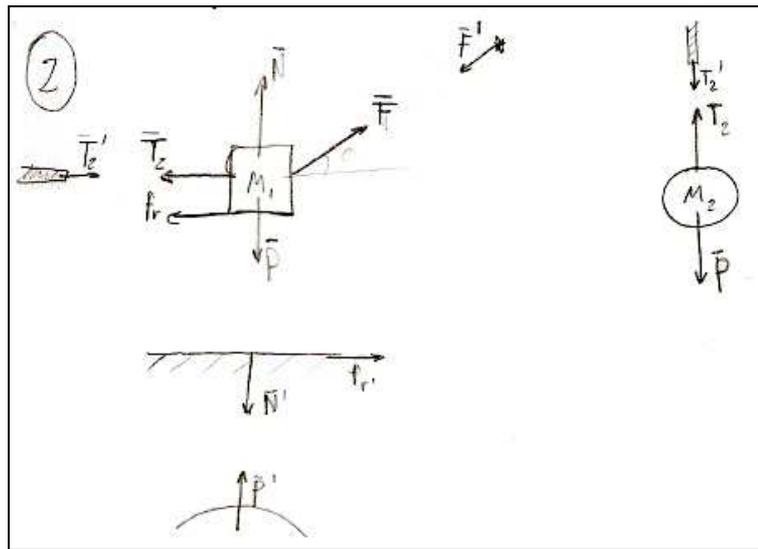


Figura 4.2. Diagrama de cuerpo aislado del protocolo A₁₆ correspondiente a la modalidad 'representación de interacciones y pares de acción y reacción'

Los casos restantes (36%) inscriptos en la modalidad *representación incompleta* focalizan su atención en las interacciones que actúan sobre ambos cuerpos sin identificar los elementos que conforman el medio ambiente; lo cual es necesario para indicar los pares de acción y reacción. En la Figura 4.3 se presenta el diagrama de cuerpo aislado de las masas m_1 y m_2 efectuado por el estudiante A₂₃ que constituye uno de estos casos.

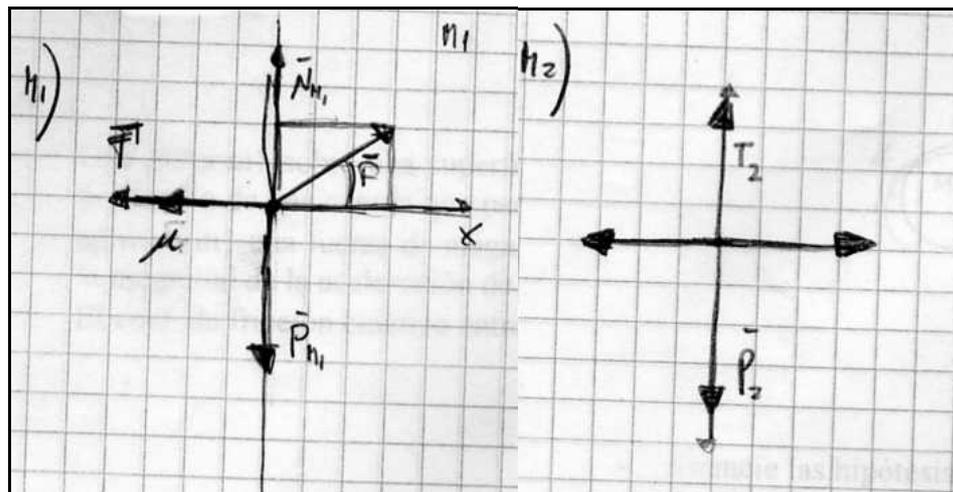


Figura 4.3. Diagrama de cuerpo aislado del protocolo A₂₃ correspondiente a la modalidad 'representación incompleta'

Si bien se consignan todas las interacciones presentes, se observa que en la representación de las mismas se identifica como fuerza al coeficiente de rozamiento,

denotando que no se ha logrado aún diferenciar estos conceptos. Asimismo, se simboliza con \mathbf{T}' y \mathbf{T}_2 a las fuerzas que ponen tensa la cuerda, sin considerar alguna relación entre sus intensidades. Esto no le permitió integrar ambos diagramas al avanzar hacia la resolución.

c) En relación con la categoría *Procesos asociados a la resolución*, se registró que un 55% de los estudiantes actúa de acuerdo con la modalidad *Aplicar conceptos y calcular* (Tabla 4.1). Este grupo aplica adecuadamente el Segundo Principio de Newton. En términos de la teoría de Newell y Simon, estos estudiantes estarían aplicando un operador de *relación causal*. Continúan la resolución introduciendo las componentes cartesianas de las fuerzas que actúan sobre cada uno de los bloques que conforman el sistema, como se observa en la resolución del problema del estudiante A₂₁ que se presenta en la Figura 4.4(a) y (b), lo cual estaría evidenciando la aplicación de un operador de *orientación espacial*.

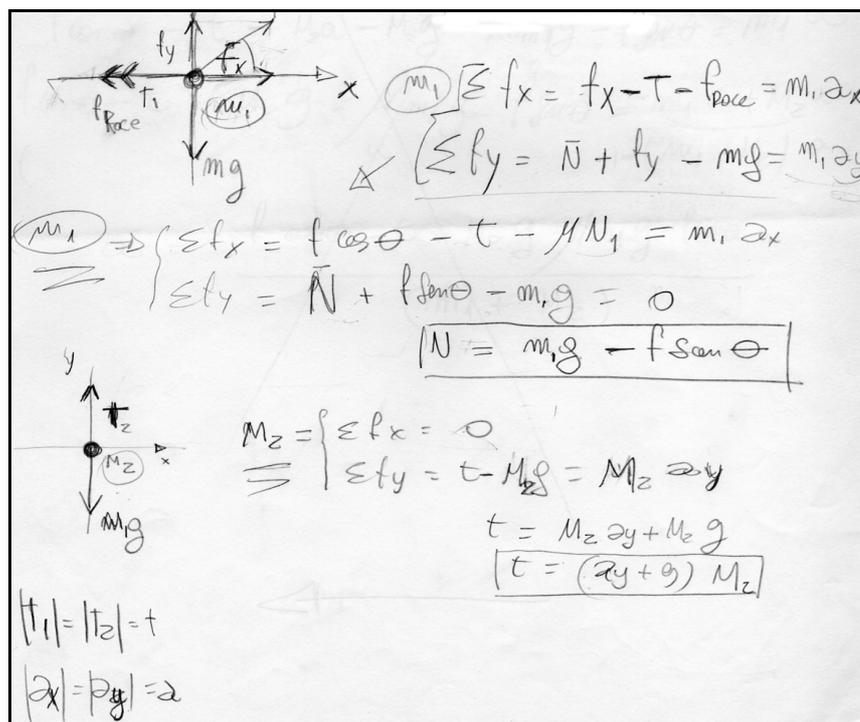


Figura 4.4(a). Resolución del problema elaborada por el estudiante A₂₁

$$\begin{aligned}
 N &= m_1 g - f \sin \theta \\
 f &= (a + g) M \\
 \sum f_x &= f \cos \theta - (a + g) M_2 - \mu (m_1 g - f \sin \theta) = m_1 a \\
 f \cos \theta - T - M_2 a - M_2 g - \mu m_1 g - f \sin \theta &= m_1 a \\
 f \cos \theta - T - \mu m_2 g - \mu m_1 g - f \sin \theta &= m_1 a + M_2 a \\
 &= (m_1 + M_2) a \\
 a &= \frac{f \cos \theta - T - \mu m_2 g - \mu m_1 g - f \sin \theta}{(m_1 + M_2)}
 \end{aligned}$$

Figura 4.4(b). Continuación de la resolución del problema elaborada por el estudiante A21

Si bien la mayoría de estos estudiantes busca formular la aceleración en función de los datos del problema, no reconoce la inclusión en la expresión algebraica de una magnitud desconocida como es el módulo de la fuerza que tensa la cuerda, T. Esto sugiere que estos estudiantes no han logrado aún discriminar la información disponible cuando se opera algebraicamente. Es posible que si se les hubiesen brindado datos numéricos, la presencia de T como incógnita habría quedado en evidencia, permitiéndoles continuar con la resolución. Es decir, la presencia de datos numéricos hubiese actuado como activador de un operador de *regulación de solución*.

Sólo un 29% dio cuenta en la resolución de características asociadas con la modalidad *Interpretar el modelo subyacente y calcular* (Tabla 4.1). La inclusión del diagrama de cuerpo aislado de la polea junto a los de los cuerpos de pesos P_1 y P_2 , que se observa en la Figura 4.5(a), la consideración explícita de la condición “*si la polea no tiene fricción*” asociada a las relaciones: $T_1 = T_2$ y $a_{x1} = a_{y2}$ y el procedimiento ordenado con una secuencia lógica (utilizando los operadores de *recurso algebraico*) que se evidencia a través de referencias numéricas -Figura 4.5 (b)- denota que se ha alcanzado una adecuada integración entre el modelo

conceptual y el lenguaje matemático como medio para expresar simbólicamente el comportamiento de la situación modelizada.

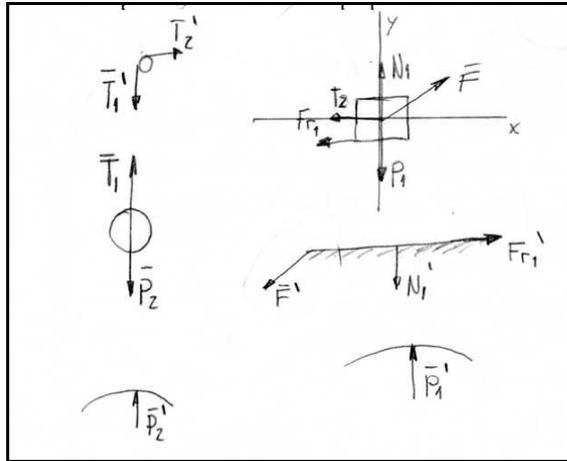


Figura 4.5(a). Diagrama de cuerpo aislado correspondiente al protocolo A₅

Estos estudiantes, además de encontrar una expresión matemática para el cálculo de la aceleración, fueron capaces de aplicar esta información al cálculo de la otra variable demandada (la fuerza que pone tensa la cuerda \mathbf{T}), mostrando evidencia de operar regulando la solución. Es decir, la adecuada aplicación tanto de los contenidos conceptuales como procedimentales les permitió alcanzar un mayor nivel de conceptualización y diferenciación en el análisis del movimiento.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma F_x = m_1 a_{x_1} \\ -T_2 - F_{r1} + F \cos \theta = m_1 a_{x_1} \\ \Sigma F_y = 0 \\ N_1 - P_1 + F \sin \theta = 0 \\ -T_2 - F_{r1} + F \cos \theta = m_1 a_{x_1} \\ N_1 - P_1 + F \sin \theta = 0 \quad (3) \\ T_1 - P_2 = m_2 a_{y_2} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} (2) \left\{ \begin{array}{l} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = m_2 a_{y_2} \\ T_1 - P_2 = m_2 a_{y_2} \end{array} \right. \\ 3 \text{ ecuaciones} \end{array} \right.$$

Si la polea no tiene fricción $T_1 = T_2$ y $a_{x_1} = a_{y_2}$

$$-T_2 - \mu N_1 + F \cos \theta = m_1 a_x \quad (2)$$

$$T_1 = m_2 a_{y_2} + P_2 \quad (1)$$

Reemplazo (1) en (2) porque $T_1 = T_2$

$$-(m_2 a_{y_2} + P_2) - \mu N_1 + F \cos \theta = m_1 a_x$$

$$-m_2 a_{y_2} - P_2 - \mu N_1 + F \cos \theta = m_1 a_x \quad (4)$$

De (3) $N_1 = P_1 - F \sin \theta$

Reemplazo en (4)

$$-m_2 a_{y_2} - P_2 - \mu_1 (P_1 - F \sin \theta) + F \cos \theta = m_1 a_x$$

$$-P_2 - \mu_1 (P_1 - F \sin \theta) + F \cos \theta = m_1 a_x + m_2 a_{y_2}$$

Como $a_{x_1} = a_{y_2} = a$

$$-P_2 - \mu_1 (P_1 - F \sin \theta) + F \cos \theta = (m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{-P_2 - \mu_1 (P_1 - F \sin \theta) + F \cos \theta}{(m_1 + m_2)} \quad (5)$$

Reemplazo (5) en (1) y averiguo T_1

$$T_1 = m_2 a + P_2$$

esto está muy claro, el concepto de aceleración en y del cuerpo m_1 . A mi criterio es 0.

Figura 4.5(b). Resolución del problema elaborada por el estudiante A5

El 16% de los casos responde a la modalidad *Aplicar conceptos y principios* (Tabla 4.1). Este grupo utiliza los conocimientos conceptuales específicos pero no reconoce la información necesaria y suficiente requerida para resolver la situación.

Se observa que estos estudiantes aplican el Segundo Principio de Newton para el análisis del movimiento de las masas m_1 y m_2 en forma independiente. Asimismo, no logran revisar la modelización para establecer las condiciones que les permiten vincular el movimiento de ambos cuerpos, es decir, no pueden formalizarlo e integrarlo como un sistema de ecuaciones.

The image shows handwritten mathematical work for two masses, m_1 and m_2 . For m_1 , the equations are:

$$\begin{cases} \sum F_x = F \cdot \cos \theta - T - F_r \\ M_1 \cdot a_{m_1} = F \cdot \cos \theta - T - \mu_c \cdot N \\ \sum F_y = N_{m_1} - P_{m_1} + F \sin \theta \\ \text{O} = N_{m_1} - P_{m_1} + F \sin \theta \end{cases}$$

For m_2 , the equations are:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = T - P_2 \\ M_2 \cdot a_2 = T - P_2 \end{cases}$$

Figura 4.6. Resolución del problema elaborada por el estudiante A₁₅

En la Figura 4.6 se observa que el estudiante A₁₅ no formula la condición de igualdad en los módulos de las aceleraciones de ambas masas. La ausencia de explicitación de los supuestos de partida y de las diferentes direcciones de movimiento de las masas m_1 y m_2 , considerando que los cuerpos se mueven vinculados mediante una cuerda inextensible y de masa despreciable, constituyen factores que interfirieron en la resolución. Esto sugiere una aplicación incompleta de los operadores *condiciones de trabajo* y la ausencia del operador *orientación espacial*, respectivamente.

d) En relación con la categoría *Lenguaje*, la información recogida se ha organizado articulando el lenguaje literal con el matemático según se observa en la Tabla 4.3. Así, en las columnas se han ubicado las tres modalidades que distinguen el lenguaje literal utilizado por los estudiantes para presentar términos y proposiciones que aluden a los conceptos, las condiciones de trabajo, los supuestos establecidos durante la resolución, etc., de acuerdo con los criterios especificados en el apartado 3.3.3. Tales modalidades son: (a) académico -cuando se recurre al lenguaje propio de la Física y característico de los libros de texto-; (b) coloquial -cuando se emplea el lenguaje simple próximo al cotidiano para orientar la lectura de la resolución efectuada- y (c) sin proposiciones literales -cuando se utilizan esquemas, símbolos y expresiones matemáticas-, dando por sentado que quien lo lee

puede interpretar la resolución generada. En las filas se han ubicado las modalidades que diferencian el uso del lenguaje simbólico (lenguaje matemático), cuando proceden a resolver el problema para obtener las magnitudes demandadas (Scanchich, Massa y Yanitelli, 2009a).

Tabla 4.3. Distribución porcentual de las modalidades correspondiente a la articulación entre el lenguaje literal y el simbólico

		Lenguaje literal			Total
		Académico	Coloquial	Sin proposiciones literales	
Lenguaje Simbólico	Matemático sin determinación de las variables requeridas	16%	13%	26%	55 %
	Matemático con determinación de las variables requeridas	23%	19%	3%	45%
Total		39%	32%	29%	100%

En la intersección de las filas y columnas se indican los porcentajes de las diferentes combinaciones identificadas en los protocolos, dando cuenta de las articulaciones lingüísticas utilizadas para organizar y comunicar los procedimientos cognitivos.

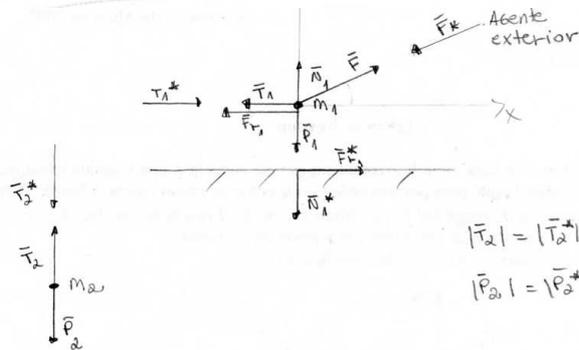
Un 39% de los estudiantes muestra un nivel de comunicación académico que se formaliza con el lenguaje matemático. Esto muestra un dominio de vocablos que denota la articulación de los significados atribuidos a los términos disciplinares con la elaboración de condiciones y su representación simplificada con los atributos esenciales. Por ejemplo, al consignar las condiciones de trabajo el estudiante A₁₀ apeló a proposiciones que frecuentemente se incluyen en los libros de texto (Tipler y Mosca, 2005, pp.114; Resnick y Halliday, 1980, pp. 101), tales como: “*la cuerda es inextensible de masa despreciable*”; “*polea sin fricción de peso despreciable*”; “*de acuerdo con el sistema de referencia adoptado la aceleración de m_2 en la dirección del eje x y la de m_1 en la dirección del eje y es cero*”; “*la aceleración de las masas es la misma*”.

En la Tabla 4.3 se observa que ese grupo está constituido por:

- Un 23% (A_2 , A_5 , A_9 , A_{10} , A_{18} , A_{22} y A_{30}) que avanza con una operatoria orientada a la obtención de las variables a calcular, según lo solicitado. Los estudiantes A_5 y A_{18} concluyen la resolución del problema con la obtención de una expresión algebraica de la aceleración. Si bien, en una primera etapa expresan el módulo de la fuerza \mathbf{T} en función de la aceleración, luego no hacen referencia explícita a que procederán a su cálculo una vez obtenida la aceleración. Los casos restantes (A_2 , A_9 , A_{10} , A_{22} y A_{30}) son capaces de determinar tanto la aceleración de las masas como la fuerza de tensión en la cuerda indicando un mayor nivel de abstracción y sinopsis (Figura 4.7). Dado que este grupo integra el lenguaje académico con el lógico-matemático de manera que arriba a una correcta resolución del problema denotando competencias para un uso adecuado del lenguaje en la formalización, se lo denomina “grupo experto”.

HIPOTESIS

- Cuerda de masa despreciable
- polea sin Fricción
- la aceleración de m_1 en y es igual a 0
- la aceleración de m_2 en x es igual a 0
- " " en y (de acuerdo con el sistema de referencia) es negativa
- Aceleración de los cuerpos es la misma



$$|\vec{T}_2| = |\vec{T}_2^*| = |\vec{T}_1| = |\vec{T}_1^*| = T$$

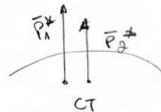
$$|\vec{P}_2| = |\vec{P}_2^*|$$

$$|\vec{P}_1| = |\vec{P}_1^*|$$

$$|\vec{N}_1| = |\vec{N}_1^*|$$

$$|\vec{F}_{r1}| = |\vec{F}_{r1}^*|$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}^*|$$



Cuerpo m_2 .

$$\sum F_x = m_2 \cdot \overset{0}{a_x}$$

$$\sum F_y = m_2 \cdot a_y$$

$$T_2 - P_2 = m_2 \cdot a_y$$

$$\boxed{T_2 - m_2 g = m_2 a_y}$$

Cuerpo m_1

$$\sum F_y = m_1 \cdot \overset{0}{a_y}$$

$$N_1 + \sin \theta \cdot F - P_1 = 0$$

$$\boxed{N_1 + \sin \theta \cdot F - m_1 \cdot g = 0}$$

$$\sum F_x = m_1 \cdot a_x$$

$$\cos \theta \cdot F - T_1 - F_{r1} = m_1 a_x$$

$$\boxed{\cos \theta \cdot F - T_1 - N_1 \mu = m_1 a_x}$$

$$T_2 = m_2 a_y + m_2 g$$

$$T_2 = m_2 (a_y + g)$$

$$T_1 = -m_1 a_x + \cos \theta F - N_1 \mu$$

$$m_2 a_y + m_2 g = -m_1 a_x + \cos \theta F - N_1 \mu$$

$$m_2 a + m_1 a = \cos \theta F - N_1 \mu - m_2 g$$

$$a(m_2 + m_1) = \cos \theta F - N_1 \mu - m_2 g$$

$$\boxed{a = \frac{\cos \theta F - N_1 \mu - m_2 g}{m_2 + m_1}}$$

$$\boxed{T = m_2 (a + g)}$$

$$|a_y = a_x = a$$

Figura 4.7. Resolución del problema elaborada por el estudiante A10

- Un 16% (A₁, A₁₄, A₁₆, A₁₇ y A₃₁) que hizo uso académico del lenguaje literal sin determinar la aceleración de las masas y la fuerza que produce la tensión en la cuerda. Se evidencia que este grupo de estudiantes enuncia condiciones de trabajo incorporando elementos del lenguaje científico, tal es el caso de A₁: “la a_x de m_1 y a_y de m_2 tendrán igual módulo”. Sin embargo, no logró organizar la solución del problema (Figura 4.8). El tratamiento formal se constituyó en un obstáculo pues no consiguieron interrelacionar las ecuaciones matemáticas planteadas a partir de la aplicación del Segundo Principio de Newton. Por esto, se lo denomina “grupo avanzado”.

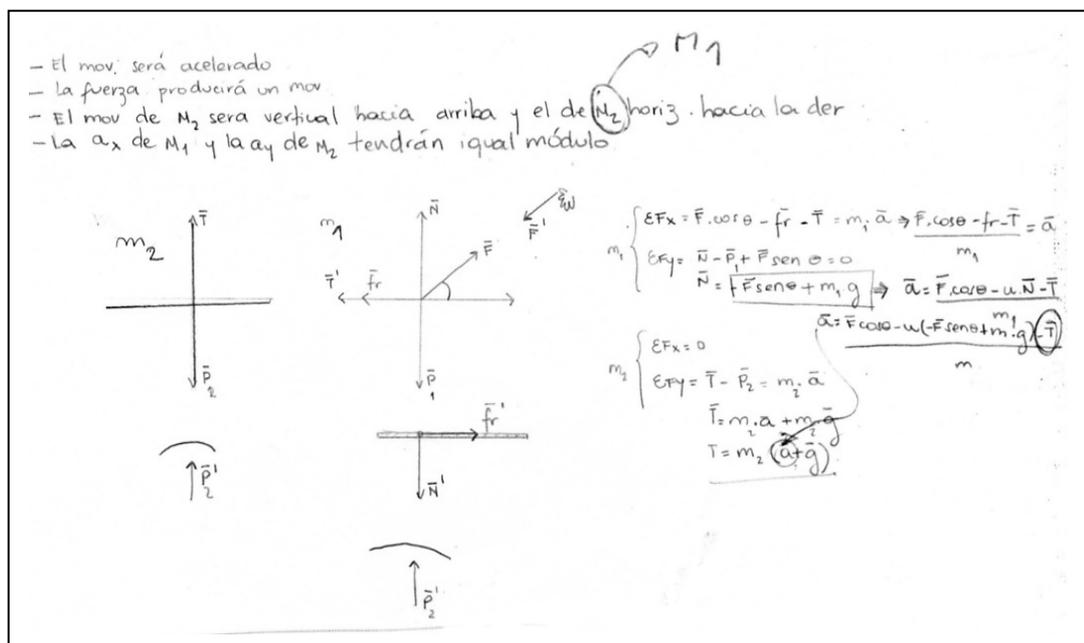


Figura 4.8. Resolución del problema elaborada por el estudiante A₁

El 32% de los estudiantes (Tabla 4.3) utilizó un lenguaje matemático acompañado de lenguaje coloquial, situación que reduce la precisión del proceso de resolución. Así, el estudiante identificado como A₂₇ consignó entre las condiciones de trabajo: “Saber hacer los diagramas aislados...Saber descomponer la fuerza en X y en Y.” (Figura 4.9), denotando que aún no se han construido aquellas condiciones pertinentes con las demandas del problema.

- Los casos A₄, A₁₃, A₂₀, A₂₁, A₂₇, A₂₉ (19%) desarrollaron el formalismo para arribar a expresiones que permiten el cálculo de la aceleración del sistema (Figura 4.9). Si bien las relaciones matemáticas que devienen del Segundo Principio se plantean apropiadamente, la interrelación de las mismas se

alcanza luego de sucesivos intentos hasta obtener la solución adecuada, por ello al presente grupo se lo designa “grupo persistente”. Este tipo de abordaje es consistente según Ausubel (1968, en Ausubel et al., 1998) con el enfoque denominado “por ensayo y error”.

• SABER QUE LA CUERDA NO ES EXTENSIBLE
 • SABER HACER LOS DIAGRAMAS AISLADOS
 • SABER QUE HAY ROCE
 • SABER DESCOMPONER LA FUERZA EN X Y EN Y

$\Sigma F_{ix} = m \cdot a$
 $\Sigma F_{iy} = m \cdot a$

Grupo 1
 $m_1 \cdot a = F \cos \alpha - T_1 - \mu N_1$
 $m_1 \cdot a = N_1 + F \cos \alpha - \frac{P_1}{m_1 g}$

$m_1 \cdot a = F \cos \alpha - T_1 - \mu N_1$
 $m_1 \cdot a = N_1 + F \cos \alpha - m_1 g$

$T_1 = T_2$

Grupo 2
 $\Sigma F_{ix} = m \cdot a = 0$
 $\Sigma F_{iy} = T_2 - P_2 \Rightarrow \Sigma F_{iy} = T_2 - m_2 g = a_{2y} \cdot m$

$m_2 a_{2y} + m_2 g = T_2$
 Puede averiguar la N_1 y cuando averiguo la normal averiguo la aceleración

$m_1 a_{1x} = F \cos \alpha - (m_2 a_{2y} + m_2 g) - \mu N_1$
 $m_1 a = F \cos \alpha - m_2 a - m_2 g + \mu (m_1 g - F \sin \alpha)$
 $m_1 a_{1y} = N_1 + F \sin \alpha - m_1 g$

$a = \frac{F \cos \alpha - m_2 g - \mu (m_1 g - F \sin \alpha)}{m_1 + m_2}$

Figura 4.9. Resolución del problema elaborada por el estudiante A27

- El 13% (casos A₆, A₁₁, A₁₅, A₂₆) efectúa un correcto uso del Segundo Principio de Newton por componentes escalares para el movimiento de los dos bloques, opera con las expresiones matemáticas pero no introduce los supuestos establecidos para relacionar las ecuaciones planteadas a fin de alcanzar la solución (Figura 4.10). Se evidencian debilidades tanto en las expresiones literales como en los procedimientos matemáticos para la resolución de un sistema de ecuaciones lineales con dos incógnitas. En función de lo evidenciado en sus producciones, se lo denomina “grupo débil”.

- se le aplica una fuerza F a la m_1 que genera a los dos bloques \rightarrow produce una aceleración.

- Enuncie las hipótesis de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas. Explique.

M_1

M_2

$\sum F = m \cdot a$

$T_2 - T_2' = m \cdot a$

$T_2 - m \cdot g = m \cdot a$

$T_2' = m \cdot a + m \cdot g$

$T_2' = m \cdot (a + g)$

$\sum F_x = m \cdot a_x$

$f \cos \theta - T_1 - f_r = m \cdot a_x$

$f \sin \theta - T_1 - N_1 \cdot \mu = m \cdot a_x$

$\frac{f \cos \theta}{m} - \frac{T_1}{m} - \frac{N_1 \cdot \mu}{m} = a_x$

$f_x = f \cos \theta$
 $f_y = f \sin \theta$

(M1)

$\sum F_y = m \cdot a_y$

$N_1 + f_r - m \cdot g = m \cdot a_y$

$N_1 + f \cos \theta - m \cdot g = m \cdot a_y$

$a_y = \frac{N_1 + f \cos \theta}{m} - g$

$\sum F_x = m \cdot a_x$

Figura 4.10. Resolución del problema elaborada por el estudiante A₆

Finalmente, un 29% de los estudiantes (Tabla 4.3) se expresa recurriendo únicamente al lenguaje simbólico específico de la Matemática.

- Un sólo caso de este grupo (A₃, 3%), desarrolló formalmente la resolución completa del problema (Figura 4.11), mostrando también un dominio de tipo “experto”, con un lenguaje ya internalizado que se expresa operacionalmente con un formalismo adecuado.

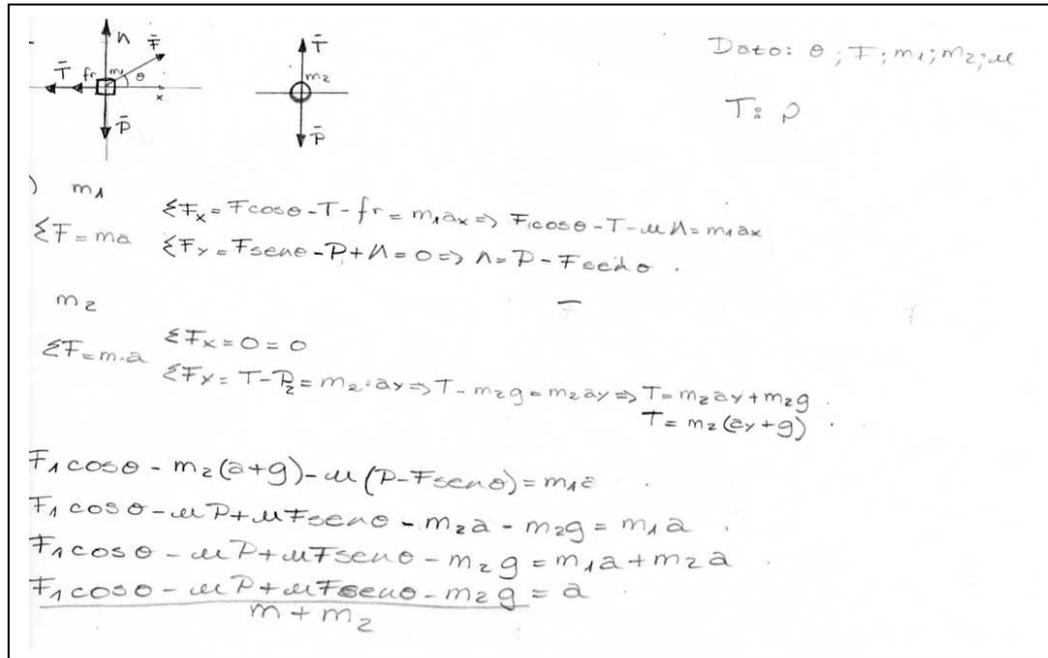


Figura 4.11. Resolución del problema elaborada por el estudiante A3

- El 26% (A7, A8, A12, A19, A23, A24, A25, A28) plantea el Segundo Principio de Newton por componentes. Los casos A8, A19, A23, A24 y A28 no diferencian entre componentes escalares y vectoriales. En particular, el estudiante designado como A8 consignó: “ $\sum F_x = F \cos \theta - \vec{T}_1 - \vec{f}_r = m a_x$ ”, al plantear para el cuerpo de masa m_1 la ecuación del movimiento en la dirección del eje x. Asimismo, este estudiante define un sistema de coordenadas y utiliza el lenguaje simbólico para dar sentido al diagrama de cuerpo aislado (Figura 4.12) vinculado al planteo por componentes de las interacciones. En este grupo se observan avances en la búsqueda de la resolución, operando en forma independiente en el análisis del movimiento de las masas m_1 y m_2 , pero la ausencia del reconocimiento de la igualdad en intensidad de la fuerza **T** en los extremos de la cuerda y de las condiciones cinemáticas que relacionan el movimiento de ambos cuerpos no les permitió completar la resolución. Por esto, se lo denomina “grupo mecánico”, por cuanto se limitan a reproducir un procedimiento algorítmico (reconocer fuerzas, seleccionar un sistema de coordenadas, aplicar el Segundo Principio de Newton y expresar por componentes escalares), sin avanzar en el reconocimiento de condiciones que vinculan los movimientos de ambos cuerpos. Ello determina que interrumpan y abandonen la resolución.

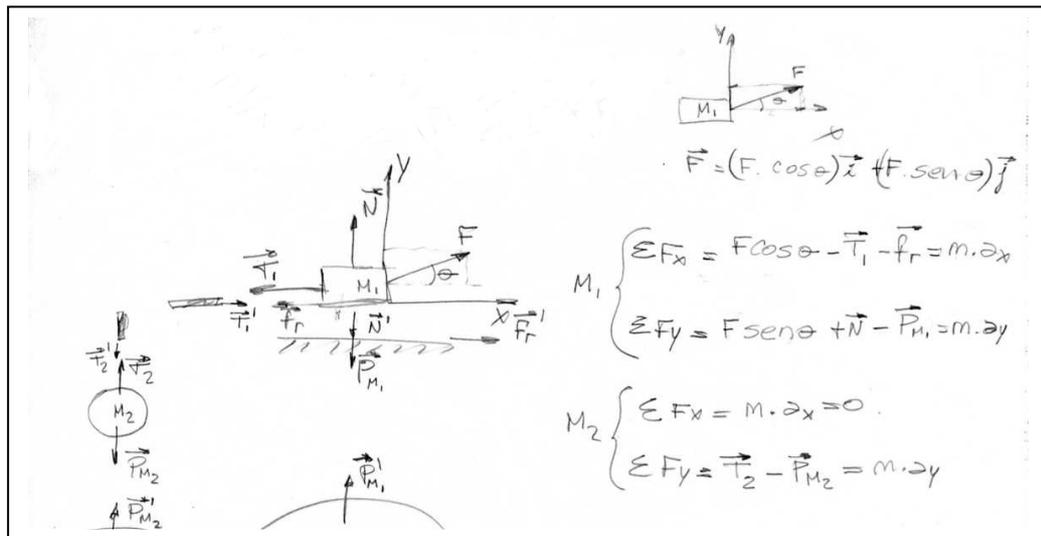


Figura 4.12. Diagrama de cuerpo aislado correspondiente al protocolo A₈

Se destaca que en el “grupo mecánico” las dificultades están asociadas fundamentalmente con aspectos conceptuales, de naturaleza física. Es decir, no reconoce que la masa de la cuerda se puede despreciar, por ser mucho menor que la masa de los cuerpos sujetos a sus extremos como así también la masa de la polea. Por ello, los integrantes de este grupo no son capaces de reconocer que las fuerzas que se ejercen en los extremos de la cuerda tienen igual módulo y que ambos cuerpos, vinculados por la cuerda inextensible, tienen aceleraciones de la misma intensidad. Ésta es una diferencia significativa con el que se denominara anteriormente como “grupo avanzado”. Sus dificultades, asociadas con el reconocimiento de la igualdad en intensidad: de la fuerza **T** en los extremos de la cuerda y de las componentes de las aceleraciones de ambos cuerpos, no les permitió interrelacionar las ecuaciones matemáticas que plantearon a partir del Segundo Principio de Newton.

4.2.2 Tipología emergente de los modos de resolución del problema

El análisis de la categoría *Procesos asociados a la resolución* de la matriz de datos (Anexo I), permitió efectuar una clasificación de los estudiantes en función de sus modos de actuación (Scancich, Yanitelli y Massa, 2008b; 2009b). Los integrantes de cada una de ellas se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Conformación de las clases en función de los modos de resolución del problema

	Distribución porcentual de integrantes	Identificación de estudiantes
Clase 1	29%	A ₂ , A ₃ , A ₅ , A ₁₀ , A ₁₈ , A ₂₂ , A ₂₇ , A ₂₈ , A ₂₉
Clase 2	55%	A ₁ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₉ , A ₁₁ , A ₁₃ , A ₁₄ , A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₉ , A ₂₀ , A ₂₁ , A ₂₃ , A ₂₄ , A ₃₀ , A ₃₁
Clase 3	16%	A ₈ , A ₁₂ , A ₁₅ , A ₂₅ , A ₂₆ ,

A continuación se consignan las características específicas de cada clase en función de las semejanzas detectadas considerando, además, las modalidades de las restantes categorías identificadas en los protocolos de cada clase:

Clase 1. La integran estudiantes que evidencian un proceso de búsqueda activa de la solución del problema a resolver. Basan el planteo de condiciones o supuestos de trabajo tanto en elementos concretos como teóricos que dan cuenta de la igualdad en módulo de las fuerzas que tensan la cuerda (T_1 y T_2) y de las aceleraciones de ambos cuerpos (a_{x1} y a_{y2}). Reconocen todas las interacciones entre el sistema y el medio ambiente inmediato indicando, en la mayoría de los casos, los pares de acción y reacción. También representan el sistema de coordenadas -Figuras 4.5(a) y (b)-. La inclusión de la polea como sistema en estudio derivó en el enunciado de las correspondientes condiciones de trabajo (masa y rozamiento con el eje despreciables) que le imprimen a la misma un comportamiento ideal. La situación así modelizada propició el tratamiento matemático del problema. El estilo formal del lenguaje empleado se caracterizó por un adecuado uso simbólico acompañado de enunciados académicos. Relacionan los significados de los términos disciplinares con la elaboración de supuestos y la representación simplificada del sistema en estudio con los atributos básicos. La línea de razonamiento seguida, al aplicar sus conocimientos, derivó en una conclusión lógica y satisfactoria, característica propia de la resolución de problemas por discernimiento (Ausubel et al., 1998).

Debido a que la mayoría de los estudiantes que conforman esta clase construyeron una representación adecuada de las interacciones actuantes, integraron el lenguaje académico con el lógico-matemático denotando competencias para la formalización

correcta de la solución características del “grupo experto” y modelizaron satisfactoriamente el sistema físico, se nombra esta clase “*integración significativa*”.

Clase 2. Está constituida por estudiantes que efectúan una adecuada comprensión del problema y de los fines perseguidos. Activan ideas antecedentes y conceptos previos, detectándose un intento de búsqueda de solución en forma de proposiciones o enunciando supuestos y condiciones de trabajo. En este sentido, la resolución efectuada por el estudiante identificado como A₁₃, da evidencia de esta característica dado que si bien activa como supuesto de trabajo que: “*la cuerda no se estira...por lo que la tensión es la misma en toda la cuerda*”, no asocia dicho supuesto con la igualdad en el módulo de las tensiones, indicados como T_1 y T_2 que actúan en distintas direcciones. Es decir, abordan el proceso de resolución partiendo de un modelo teórico sesgado: el movimiento aislado de los cuerpos que se mueven en distintas direcciones y los resultados analíticos se presentan en función de las variables demandadas. Este tratamiento sesgado derivó en que el cálculo de la aceleración del sistema, variable requerida en la solución del problema, se expresara en función de la fuerza que tensa la cuerda. En la Figura 4.4(a) y (b) correspondiente al estudiante A₂₁, también se observa este tratamiento sesgado. Esto no les permite, a la mayoría de los estudiantes que conforman esta clase, arribar al resultado por cuanto no logran comprender que las expresiones planteadas, por componentes, del Segundo Principio de Newton constituyen un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas cuya resolución debe ser desarrollada hasta encontrar una expresión de la fuerza que tensa la cuerda o de la aceleración del sistema en estudio en función de los datos brindados.

Dado que la mayoría de los estudiantes que pertenecen a esta clase no logra arribar a una solución en función de los datos consignados en el enunciado del problema y que, en igual proporción, los estudiantes hacen uso del lenguaje académico sin formalizar acabadamente la solución, característica propia del “grupo avanzado” o del lenguaje coloquial con sucesivos intentos en la formalización de la solución, actuación correspondiente al “grupo persistente”, se nombra esta clase “*integración débil*”.

Clase 3. La integran estudiantes que evidencian un estado de duda, de perplejidad cognoscitiva, sustentada en el reconocimiento de su dificultad. Se detecta un intento por identificar el problema sin incluir los fines perseguidos. Si bien activan ideas antecedentes, no logran reorganizarlas en forma de proposiciones o condiciones de trabajo, aspecto esencial para la modelización, lo cual estaría indicando que aún no han internalizado que un modelo conceptual “traduce de otra forma” la naturaleza de un sistema (Morrison y Morgan, 1999).

Se observa que, si bien utilizan el Segundo Principio de Newton para estudiar el movimiento de las masas m_1 y m_2 , no logran relacionar la componente a_x de la aceleración correspondiente a la masa m_1 con la componente en la dirección y de la aceleración de la masa m_2 (Figura 4.6). Esta dificultad sumada a la ausencia de enunciado de condiciones de trabajo y a las características propias de los grupos “débil” y “mecánico” a los cuales pertenecen estos estudiantes, admite nombrar esta clase “*sin integración*”.

4.2.3 Acerca de las frases del enunciado que generaron dudas en los estudiantes

En el campo de las dificultades, frente a la consigna: *Indique las frases que le generan dudas y fundamente*, el 90% de los estudiantes no manifiesta dudas en relación al enunciado del problema. Sin embargo, se observa una comprensión sesgada del enunciado al no cuestionar la ausencia de una proposición indicando, eventualmente, el sentido del movimiento del sistema, reforzada por la adopción del movimiento de ascenso de m_2 .

Otros casos centraron sus dificultades en el uso de sistemas de coordenadas. Así, el estudiante A_{20} manifestó: “¿Puedo utilizar el mismo sistema de referencia tanto para m_1 como para m_2 ?”. Se reconoce que aún no ha logrado distinguir conceptualmente sistema de referencia de sistema de coordenadas, a pesar de ser conceptos que se busca diferenciar desde el inicio del curso de Física I. En el caso del estudiante A_5 la dificultad se presentó en la determinación de la aceleración del cuerpo de masa m_1 : “No está muy claro el concepto de aceleración en y del cuerpo m_1 . A mi criterio es cero”. Esto sugiere la presencia de un estado de duda debido a

la descomposición de la fuerza \mathbf{F} en sus componentes F_x y F_y . Es decir que, así como por efecto de la componente F_x el cuerpo de masa m_1 se mueve hacia la derecha, podría moverse aceleradamente hacia arriba por efecto de la componente F_y . No obstante, en el planteo por componentes del Segundo Principio de Newton, para el cuerpo de masa m_1 considera nula la aceleración en la dirección y (a_y), indicado como $\sum F_y = 0$, en la Figura 4.5(b).

4.3 Segunda fase: Resolución de la situación experimental

4.3.1 Resultados derivados del análisis de los informes escritos

Como se indicó en el apartado 3.4.2, una situación problemática análoga al problema de lápiz y papel fue presentada como actividad experimental al mismo curso. Los estudiantes debían proceder al montaje del dispositivo, analizar el movimiento y efectuar las mediciones que consideraban pertinentes para dar solución al problema. El proceso seguido debía ser comunicado en forma escrita a través de un informe grupal.

El contenido de cada informe, en su carácter de protocolo en esta fase de la investigación, fue analizado identificando características relevantes para cada una de las categorías de análisis: *Enunciado de condiciones de trabajo*, *Representación de fuerzas* y *Procesos asociados a la resolución* y las correspondientes modalidades que fueron presentadas en el apartado 3.3.3.

Un primer resultado fue transformar cada protocolo en una tabla como síntesis del contenido del informe, como se muestra en la Tabla 4.5 para el grupo G1. Para cada una de las categorías mencionadas se señalan los aspectos relevantes de la producción del grupo de acuerdo a la modalidad detectada. Las tablas que sintetizan los protocolos de los grupos restantes se presentan en el Anexo III, tal como se consignó en el capítulo Metodología.

enuncian las condiciones de trabajo, las características adoptadas en la formalización de la resolución de la cuestión planteada y las funciones cognitivo-lingüísticas puestas en juego.

Tabla 4.6. Modalidades detectadas en el lenguaje utilizado por los estudiantes al elaborar el informe

Proto- colo	Condiciones		Formalización de la aceleración	Funciones		
	lenguaje	ubicación		compara	describe	justifica
G1	Académico	En la introducción teórica	Gráfica y analíticamente Deducción y resultado	Aceleración gráfica/analítica Módulo de F_n/P_2	Operatoria experimental	
G2	Académico	En el procedimiento experimental	Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g	Operatoria experimental	$a \neq g$
G3	Académico	En la conclusión	Gráfica y analíticamente Deducción y resultado	Módulo de F_n/P_2 y T_1/T_2		$T_1 = T_2$ $F_n \neq P_2$
G4	Académico	En la conclusión	Gráfica y analíticamente Deducción y resultado	Aceleración gráfica/analítica Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g		$T \neq F_n$ $a \neq g$
G5	Académico	En el procedimiento experimental	Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g	Operatoria experimental	$T \neq F_n$ $a \neq g$
G6	Académico	En la introducción teórica	Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g		$F_n \neq P_2$ $a \neq g$
G7	No enuncia		Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 , T_1/T_2 y T/F_n Aceleración sistema y g	Operatoria experimental	$F_n \neq P_2$ $a \neq g$
G8	Académico	En la introducción teórica	Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n	Operatoria experimental	
G9	No enuncia		Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 Aceleración sistema y g	Operatoria experimental	$F_n \neq P_2$
G10	No enuncia		Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g		$F_n \neq P_2$ $T \neq F_n$
G11	No enuncia		Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g	Operatoria experimental	$T \neq F_n$ $F_n \neq P_2$ $a \neq g$
G12	No enuncia		Gráficamente	Módulo de F_n/P_2 y T/F_n Aceleración sistema y g		$T \neq F_n$ $F_n \neq P_2$ $a \neq g$

En la Tabla 4.6 se utilizó la siguiente notación para indicar las magnitudes utilizadas por los estudiantes: F_n (fuerza neta del sistema), P_2 (peso del cuerpo colgante de masa m_2), a (aceleración del sistema), g (aceleración de la gravedad), T (fuerza que pone tensa la cuerda), T_1 y T_2 (fuerzas debidas a la tensión a ambos lados de la polea).

Puede observarse que las condiciones de trabajo, cuando están explícitamente indicadas en el informe, se expresan utilizando un lenguaje académico. En particular, se registró que se enuncian en diferentes apartados del informe. Los grupos G1, G6 y G8 las ubican en la introducción teórica mientras que los grupos G2 y G5 lo hacen en el procedimiento experimental, denotando que la comparación entre las propiedades del modelo conceptual y las del sistema experimental se efectúa, tanto al comienzo del experimento como durante el desarrollo del mismo. Esto sugiere que los primeros grupos estarían otorgando especial relevancia al proceso de modelado del equipo experimental al abordar la práctica de laboratorio. Las simplificaciones y aproximaciones efectuadas, desde el inicio del experimento, para transformar la situación experimental en una situación simplificada donde los datos devienen de las mediciones efectuadas, evidencia la construcción de un modelo del sistema experimental. Esto les permitió a los estudiantes tomar decisiones controladas durante la planificación y ejecución del experimento y reflexionar sobre la validez del modelo conceptual construido. Así, el grupo G8 consignó: “...se trata de verificar que este modelo teórico es válido...” (Tabla VII, Anexo III). A pesar de que los grupos G2 y G5, recurrieron al proceso de modelado al desarrollar el procedimiento experimental no se evidenciaron imprecisiones en el momento de proyectar el experimento y ejecutar las mediciones. Los grupos G3 y G4 las ubicaron en las conclusiones como interpretación y justificación de los resultados obtenidos, lo cual estaría denotando que el experimento se podría haber desarrollado a partir de un modelado implícito sin mayores cuestionamientos que luego ante la necesidad de interpretar y justificar se pone de manifiesto.

Respecto a la formalización desarrollada en la determinación de la aceleración, se registraron las modalidades: determinación gráfica por software, determinación analítica utilizando expresiones matemáticas pre-establecidas (ajuste lineal con

cálculo de pendientes) y determinación analítica a partir de la deducción de ecuaciones derivadas del Segundo Principio de Newton.

La mayoría de los grupos formaliza el cálculo de la aceleración gráficamente haciendo uso de software. Sólo G1, G3 y G4 avanzan planteando un desarrollo matemático a partir de la expresión formal del Segundo Principio de Newton. Esto los llevó a la comparación de los resultados obtenidos con ambas metodologías y al grupo G1 a expresarlo explícitamente en las conclusiones: “*el cálculo de la aceleración, gráfica y analíticamente, arroja iguales resultados (excepto por los errores de medición) implicando que las ecuaciones usadas son válidas*”.

Del reconocimiento de las funciones cognitivo-lingüísticas puestas en juego se derivan las modalidades: *compara*, *describe* y *justifica* que permitieron evidenciar distintos niveles de conceptualización.

Todos los grupos apelaron a la comparación entre magnitudes, lo cual estaría dando cuenta de un intento por integrar el conocimiento adquirido durante el desarrollo de la experiencia. La comparación F_n / P_2 , sugerida en la guía (Anexo II), derivó en el planteo formal del Segundo Principio de Newton tanto para los cuerpos de masas m_1 y m_2 independientemente, como para un sistema formado por ambas masas. Los grupos G2, G4, G5, G6, G7, G8, G10, G11 y G12 establecieron, además, la comparación entre T / F_n , que favoreció la elaboración de sus conclusiones y justificaciones. Se destaca que la mayoría de los grupos, excepto G1, G3 y G8, compararon la aceleración del sistema con la de la gravedad, según se propone en la guía, apelando a expresiones declarativas ambiguas. Así, G5 consignó: “*...en el cálculo de la aceleración del sistema se incluyen distintas fuerzas de distintas direcciones y valores, por lo que la aceleración de la gravedad será mucho mayor que la aceleración del sistema...*”

Algunos grupos, G1, G2, G5, G7, G8, G9 y G11, realizaron una descripción de la operatoria experimental que llevaron a cabo durante la realización del trabajo, lo cual está relacionado con la observación que hacen tanto sobre el sistema en estudio, como del movimiento de ambas masas y/o las acciones que efectúan durante el desarrollo de la experiencia. Esto les permitió ordenar la información que disponían, fijar las características esenciales del sistema en estudio que derivó en la elaboración

del modelo conceptual de partícula e interpretar el movimiento del planeador y el cuerpo colgante en función de los contenidos asociados al Segundo Principio de Newton. Así, el grupo G5 consignó: “... *la leve inclinación de la pista debido a una mala calibración puede generar una fuerza neta diferente...*” (Tabla IV, Anexo III) denotando que la nivelación de la pista, acción mencionada en la descripción de la operatoria experimental, se constituyó en un aspecto relevante a tener en cuenta para satisfacer el modelo conceptual aplicado.

Los grupos G3, G6, G10 y G12, no desarrollaron explícitamente la descripción de la operatoria experimental y el grupo G4 sólo se limitó a enumerar los materiales requeridos para el desarrollo de la experiencia, lo cual indica que no le otorgaron la misma relevancia que a los demás contenidos del informe.

Los siguientes grupos: G3, G6, G7 y G9, establecieron una justificación de la desigualdad $F_n \neq P_2$:

“De acuerdo a la Segunda Ley de Newton, debería cumplirse que cuando se desprecia el roce con el aire, la F_n debe ser igual a P_2 . En el experimento nos aproximamos bastante a esta igualdad, obteniendo un porcentaje de discrepancia con el resultado teórico menor del 0.3%.” G3

“... se puede deber a que el rozamiento entre el deslizador y el colchón de aire y el momento de inercia de la polea no pueden ser despreciados.” G6 y G9

“Esta diferencia surge porque no se consideran... las fuerzas de roce con la polea y la resistencia viscosa con el aire.” G7

En la elaboración de la justificación, se destaca que estos grupos apelaron a la correspondencia entre el sistema en estudio y el modelo conceptual -ausencia de rozamiento- asociado al mismo, dando cuenta de la necesidad de los estudiantes de sostener los resultados obtenidos desde lo teórico. Estas producciones dan cuenta de los conocimientos que utilizaron para elaborar las conclusiones y que fundamentaron su razonamiento.

Los grupos G4 y G5 justificaron la desigualdad $T \neq F_n$. Sólo G10, G11 y G12 justificaron ambas desigualdades. Se observó que los estudiantes que conforman el

grupo G5 apelaron a consideraciones sobre equilibrio de una partícula con respecto a un observador inercial, aspecto que denota que han diferenciado conceptos que generalmente suelen confundirse: reposo y equilibrio. Así, el grupo G5 indicó:

“...la fuerza neta es mayor que la tensión. Esto se debe a que la fuerza neta es la fuerza resultante del sistema y se acerca en su valor al del peso de la masa que cae. Si el valor de la tensión fuera igual al del peso..., el sistema se mantendría en equilibrio”.

Los grupos G2, G4, G5, G6, G7, G11 y G12 justificaron la desigualdad $a \neq g$. Las producciones elaboradas denotan una conceptualización sesgada por términos no específicos tales como: “*fuerza residual*”, “*el sistema se ve expuesto a diferentes fuerzas*”, etc., y un tratamiento superficial en la diferenciación de movimientos: “*no es una caída libre*”. En este sentido y a modo de ejemplo se consigna lo enunciado por el grupo G4:

“...alguna fuerza residual generada por la pista o por el cuerpo de masa m_1 podría haber afectado esta desigualdad entre la aceleración del sistema y el de la gravedad”.

El análisis de las Tablas 4.5, 4.6 y las incluidas en el Anexo III, permitió reconocer para cada categoría los grupos que comparten las mismas modalidades. En la Tabla 4.7 se consignan los protocolos identificados para cada modalidad (Scancich, Yanitelli y Massa, 2009c).

Tabla 4.7. Identificación de los protocolos correspondientes a cada modalidad

Categoría	Modalidad	Identificación protocolo
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos concretos	G2, G3
	Referidas a elementos teóricos	G1, G4, G5, G6, G8
	No enuncia condiciones	G7, G9, G10, G11, G12
Representación de fuerzas	Representación avanzada	G1, G2, G3, G4, G5, G8, G10
	Representación de interacciones y pares de acción y reacción	G9
	Representación incompleta	G6, G7, G11, G12
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	G1, G2, G3, G4, G5, G8, G9, G10
	Aplicar conceptos y calcular	G6, G7
	Aplicar conceptos y principios	G11, G12
Lenguaje	Describir	G1, G2, G5, G7, G8, G9, G11
	Comparar	G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12
	Justificar	G2, G3, G4, G5, G6, G7, G9, G10, G11, G12

4.3.2 Características emergentes de los modos de resolución del problema experimental

La integración de las categorías y las modalidades se constituyó en la base de los criterios para conformar los modos de razonamiento desarrollados por los estudiantes a semejanza de los organizados en relación con la resolución del problema de lápiz y papel (apartado 4.2.2). De este análisis, resultaron tres modos de razonamiento: integración significativa, integración débil y sin integración que se consignan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Modos de razonamiento y protocolos en los que fueron identificados

Modo de razonamiento	Criterios	Identificación protocolo
Integración significativa	Enunciado de condiciones de trabajo: -Basadas en elementos concretos -Referidas a elementos teóricos Representación avanzada de fuerzas Interpretar modelo y calcular Lenguaje académico Los grupos avanzan en el proceso de comparación de módulos de fuerzas y/o aceleraciones La mayoría elabora descripciones y justificaciones	G1, G2, G3, G4, G5, G8
Integración débil	- Enunciado de condiciones de trabajo: -Referidas a elementos teóricos - No enuncia R Representación de fuerzas incompleta Aplicar conceptos y calcular Lenguaje académico Ambos comparan módulos de fuerzas y aceleraciones y justifican	G6, G7
	No enuncia condiciones de trabajo Representación de fuerzas - Avanzada - Representación de interacciones y pares acción y reacción I Interpretar modelo y calcular - Ambos comparan módulos de fuerzas y aceleraciones y justifican	G9, G10
Sin integración	No enuncia condiciones de trabajo R Representación de fuerzas incompleta Aplicar conceptos y principios Ambos comparan módulos de fuerzas y aceleraciones y justifican	G11, G12

Las características relevantes detectadas que corresponden a los modos de razonamiento resultantes se presentan a continuación:

Integración significativa, modo identificado en el 50% de los participantes. Las producciones de estos estudiantes evidencian un proceso de indagación activa que se tradujo en términos de esquematización y de modelización de la situación experimental. Ellos no se limitaron solamente a responder a las consignas sino a satisfacer una necesidad de apropiación que los llevó a consensuar en el grupo tanto

la formulación de condiciones de trabajo como la elaboración de un procedimiento de operaciones coordinadas con el fin de obtener los objetivos propuestos. Se observó que los grupos muestran un nivel de comunicación académico en donde se manifiesta un estilo formal con cierto dominio de vocablos específicos. Estos estudiantes articularon permanentemente los significados atribuidos a los términos disciplinares tanto en la elaboración de condiciones como en la representación simplificada del sistema en estudio, fijando claramente los atributos esenciales del mismo. Esto derivó en un adecuado y satisfactorio enunciado de conclusiones lógicas.

Todos los grupos formalizaron el cálculo de la aceleración gráficamente haciendo uso de software. Sólo G1 y G4 avanzaron en la comparación de la aceleración obtenida en forma gráfica y analítica.

La mayoría de los grupos efectúa una descripción de la operatoria experimental mientras que las operaciones de comparación entre las magnitudes físicas involucradas -aceleración del sistema y aceleración de la gravedad; F_n y P_2 ; F_n y T - son establecidas por todos los grupos. La validación de las comparaciones efectuadas, apelando a la justificación de las mismas, fue formalizada por la mayoría de estos grupos. Los aspectos mencionados dan cuenta del modo en que los estudiantes estructuraron el conocimiento adquirido durante el desarrollo de la experiencia, en función de los contenidos asociados al Segundo Principio de Newton, favoreciendo un aprendizaje significativo.

Integración débil, modo evidenciado por el 33% de los participantes. Fue reconocido en aquellos grupos de estudiantes que denotaron procedimientos de modelización incompletos. Activan ideas antecedentes y conceptos previos, detectándose la sistematización de una secuencia de operaciones, como esquema de resolución tipo, que les permitió determinar experimentalmente las magnitudes buscadas. Las conclusiones que se explicitaron en forma de proposiciones aisladas evidencian un análisis limitado de los resultados obtenidos derivado de la acotada formulación de condiciones de trabajo o de la representación incompleta del sistema en estudio.

Sólo el grupo G6 utiliza un nivel de comunicación académico en el enunciado de las mismas, ubicándolas en la introducción teórica. Los grupos G7 y G9 efectúan una descripción de la operatoria experimental lo que les permitió tomar acciones para el desarrollo de la experiencia a partir de la observación del sistema en estudio.

Si bien todos los grupos formalizaron el cálculo de la aceleración gráficamente haciendo uso de software, se limitaron a emplear dicho valor sin un cuestionamiento previo y sin desarrollar un análisis de la aceptabilidad del resultado obtenido.

Los procesos de comparación y justificación, establecidos por la mayoría, dan cuenta de los criterios que utilizaron al elaborar las conclusiones a partir de los resultados obtenidos y de los contenidos teóricos pertinentes.

Sin integración, modo reconocido en el 17% de los estudiantes. Los grupos abordaron el proceso de resolución considerando aspectos parciales del modelo conceptual asociado a la situación. Sólo apelaron a las magnitudes definidas previamente en las clases teóricas limitándose a la determinación experimental de los datos numéricos, lo cual da cuenta únicamente de la habilidad de medición y cálculo alcanzado.

Uno de los rasgos que caracteriza a esta clase es la ausencia de enunciado explícito de las condiciones en las que se realizó el trabajo experimental y de los supuestos que se establecieron para modelizar la situación, organizar la resolución y formalizar el cálculo de la aceleración en forma gráfica. Otro aspecto propio de estos grupos es la elaboración de comparaciones y sus correspondientes justificaciones a través de expresiones conceptuales confusas denotando un conocimiento frágil que implica carencia de una auténtica comprensión.

4.4 Aportes derivados del desarrollo de la actividad experimental

Atendiendo a las clases resultantes en ambas fases de la investigación, se consignan a continuación las conceptualizaciones construidas por los estudiantes a partir del desarrollo de la actividad experimental que no fueron observadas en la resolución del problema de lápiz y papel.

La Teoría de Newell y Simon es específicamente relevante en lo que se refiere a proporcionar explicaciones de los procesos cognitivos utilizados por un sujeto en la solución de problemas. Sin embargo, no da cuenta del proceso de negociación de significados que se produce en el seno de un grupo de trabajo una vez realizada la actividad experimental. Por lo tanto, el análisis que se efectúa a continuación está sustentado en la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel. Desde esta teoría, las memorias escritas se constituyeron en elementos de producción en las que los estudiantes integraron contenidos conceptuales y procedimentales dando cuenta de los niveles de diferenciación progresiva y reconciliación integradora alcanzados a partir de la tarea realizada.

➤ En relación a los grupos que conforman la clase *Integración significativa*

Se detectó que en la situación experimental el rozamiento se constituyó en objeto de análisis respecto del problema de lápiz y papel, lo cual puede atribuirse a que en el enunciado del mismo el rozamiento entre superficies está consignado explícitamente a través de la frase: “el coeficiente de roce cinético es μ ”. En este sentido en la actividad experimental su tratamiento derivó en diferentes conceptualizaciones. En algunos casos se introdujo en las condiciones de trabajo: “...despreciamos el rozamiento del deslizador sobre la pista.” (G4) y en otros en la elaboración de conclusiones: “...el porcentaje de discrepancia obtenido entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante podría surgir de no considerar la fuerza de roce con el aire...” (G3).

Se observa que el grupo G3 reconoce la interacción colchón de aire-planeador como la acción debida a un “empuje” resultante de la presión del aire perpendicular a las alas del planeador (Tabla II, Anexo III), denotando que se ha diferenciado un nuevo concepto “empuje” por analogía con la fuerza que un fluido ejerce sobre un cuerpo cuando está total o parcialmente sumergido en el mismo. El concepto de fuerza se transforma y, por lo tanto, se reestructura ampliándose su significado para dar lugar a la reconciliación integradora del mismo.

En los grupos G1, G2 y G4, si bien esta interacción se simbolizó con N, extendiendo una notación usualmente empleada para indicar la fuerza debida al contacto entre superficies sólidas, los estudiantes tuvieron en cuenta que se trata de

la acción del colchón de aire sobre el planeador. Así el grupo G2 explicitó: “*la normal que afecta al planeador representa la reacción del colchón del aire y no de una superficie rígida*” y por otra parte el grupo G4 indicó: “*N es la fuerza que ejerce el aire sobre el planeador*”.

El grupo G5 reconoce esta interacción notándola como \mathbf{F}_a , fuerza que ejerce el colchón de aire sobre el planeador y además diferencia con \mathbf{F}_r la fuerza de rozamiento viscoso debida al aire circundante que actúa en sentido opuesto al movimiento del planeador (Tabla IV, Anexo III). Lo cual evidenciaría que se construyeron ideas específicas para el anclaje de nuevos conceptos o proposiciones relacionadas con las fuerzas originadas cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido.

En el tratamiento de la situación experimental la polea se constituyó en sistema de estudio, mientras que en la resolución del problema de lápiz y papel sólo algunos estudiantes ampliaron el análisis con la inclusión del diagrama de cuerpo aislado de la misma.

Los grupos G1, G2, G3 y G8 identificaron las fuerzas ejercidas por la cuerda a ambos lados de la polea como \mathbf{T}_1 y \mathbf{T}_2 , dando cuenta que la modelizaron como un cuerpo rígido. No obstante, al apelar al enunciado de la condición: “*polea de masa despreciable*” (en comparación con la masa del planeador) les fue posible concluir que los módulos de \mathbf{T}_1 y \mathbf{T}_2 son iguales. Es decir, el sistema real se sustituyó por uno ideal, lo cual les permitió avanzar en la resolución de la situación experimental. El grupo G3 refuerza la igualdad de los módulos de \mathbf{T}_1 y \mathbf{T}_2 al incorporar en el informe dos esquemas que incluyen la representación de las interacciones actuantes. En uno de ellos se representa la polea y se distinguen ambas tensiones (Tabla II, Anexo III), mientras que en el otro, recurriendo a la condición antes mencionada, se desdibuja el sistema real al excluir la polea y consignar con \mathbf{T} a las tensiones (Figura 4.13).

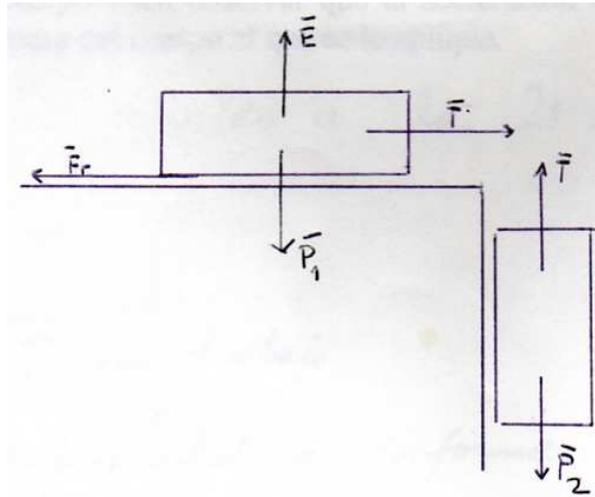


Figura 4.13. DCA donde el sistema en estudio se sustituyó por otro simplificado elaborado por G3

Se evidencia que los estudiantes al activar procesos que implican: comparar, describir y justificar en la comunicación de sus ideas sobre la actividad experimental realizada desarrollaron funciones cognitivo-lingüísticas que, en la resolución de problemas de lápiz y papel quedaron postergadas.

Todos los grupos que componen esta clase establecieron comparaciones entre las magnitudes involucradas que les permitió diferenciar las características del sistema en estudio de las del modelo conceptual aplicado. Asimismo, la mayoría de los grupos efectuó una descripción de la operatoria experimental desarrollada, denotando que se llevaron a cabo procesos tales como: observación sistemática del objeto en estudio, ordenamiento de la información, interpretación del fenómeno en función del Segundo Principio de Newton. Los grupos G2, G3, G4 y G5 establecieron justificaciones que derivaron en la elaboración de relaciones entre los datos registrados y el enunciado de conclusiones.

En síntesis, los grupos que pertenecen a la clase *Integración significativa* avanzaron hacia una integración de conocimientos que conlleva una comprensión que va más allá de la información suministrada y que les demandó apelar a distintos tipos de conocimientos -perceptual, de sentido común, representacional abstracto y experimental- (Sassi, 2001).

➤ En relación a los grupos que conforman la clase *Integración débil*

Al igual que en la clase *Integración significativa*, la polea se constituyó en objeto de estudio. Así, el grupo G6 estableció: “*el momento de inercia de la polea podría considerarse nulo*”, lo cual evidencia que, en la construcción de las condiciones de trabajo necesarias para el proceso de modelización, han recurrido a conceptos o ideas específicas relacionadas con la mecánica de un cuerpo rígido. Además, en las conclusiones, este grupo explicitó que el porcentaje de discrepancia obtenido entre la fuerza neta del sistema y el peso del cuerpo colgante se debe a la condición de trabajo impuesta “momento de inercia nulo”. Cabe aclarar que los conceptos de cuerpo rígido y momento de inercia no habían sido desarrollados aún pero la presencia en el grupo de un estudiante que cursaba nuevamente la asignatura propició la incorporación de estos contenidos conceptuales. El grupo tiene en cuenta que la polea sólo cambia la dirección de la fuerza que tensa la cuerda.

Por otra parte, el grupo G7, si bien no mencionó la polea, consignó que las tensiones a ambos lados de la misma tienen el mismo módulo a través de la expresión $T_A = T_B$, lo cual estaría indicando que implícitamente han considerado nula a la masa de la misma. Los grupos G9 y G10, consideraron la presencia de la polea en el diagrama de cuerpo aislado del sistema sin constituirse ésta en objeto de estudio.

Los grupos pertenecientes a esta clase, a semejanza de los de *Integración significativa*, reconocieron la interacción colchón de aire – planeador como F_a o N_a dando cuenta que en el tratamiento efectuado han considerado que el contacto se produce entre una superficie sólida y un fluido (aire) y no entre superficies sólidas. Esta diferenciación evidencia que el nivel de conceptualización se amplía otorgando un nuevo significado a las interacciones de contacto.

En relación a la elaboración de las justificaciones correspondientes a las desigualdades $F_n \neq P_2$ y $a \neq g$ en el caso de los grupos G6 y G7; $F_n \neq P_2$ planteada por G9 y $F_n \neq P_2$ y $T \neq F_n$ indicadas por G10, se observó un tratamiento ambiguo y en algunos casos incorrecto (G9 y G10). No obstante, se valora la inclusión de conceptos tales como momento de inercia (asociado a la polea) y fuerza viscosa (debida al aire circundante) en el enunciado de las justificaciones.

Los avances observados respecto de la resolución del problema de lápiz y papel estarían mostrando que la situación experimental planteada promovió el inicio de prácticas de mayor demanda cognitiva.

➤ En relación a los grupos que conforman la clase *Sin integración*

Se evidencia un intento por considerar a la polea como elemento de estudio. Así, el grupo G11, si bien no la representó en el diagrama de cuerpo aislado, indicó el cambio de dirección de la tensión, lo cual denotaría que ha considerado despreciable la masa de la polea. El grupo G12 mencionó a la polea como uno de los aspectos que condiciona la igualdad entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante.

Si bien se observó la integración de información previa relevante ya existente en la estructura cognitiva con el tratamiento formal de la misma, se advierte un conocimiento frágil que se pone en evidencia al justificar, las desigualdades $F_n \neq P_2$ y $T \neq F_n$.

De estos resultados se desprende que la actividad experimental se constituyó para todos los grupos, aún para aquellos correspondientes a la clase *Sin integración*, en un entorno de aprendizaje que favoreció la construcción de modelos conceptuales más completos; una mayor reflexión asociada a la interpretación y análisis de los resultados obtenidos en la resolución de la situación problemática y el desarrollo de funciones cognitivas lingüísticas -comparar, describir, justificar-. Desde esta perspectiva la actividad experimental contribuyó al fortalecimiento del proceso de conceptualización.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1 Introducción

En este capítulo se consignan las conclusiones que brindan respuestas a las cuestiones que motivaron el desarrollo de esta tesis, en relación con el marco teórico abordado en el capítulo 2. Se valoran las implicancias y contribuciones de los resultados así como las perspectivas que quedan abiertas para futuros trabajos de investigación.

Las cuestiones correspondientes a la primera fase de esta indagación, explicitadas en el apartado 3.3, atienden a los procesos cognitivos que desarrollan los estudiantes cuando se enfrentan a un problema de lápiz y papel, a fin de establecer niveles de diferenciación progresiva alcanzados en su resolución identificados como claves. Esto permitió la organización de las actuaciones en tres clases: *integración significativa*, *integración débil* y *sin integración*, como fuera presentado en el apartado 4.2.2. Asimismo, las preguntas asociadas a la segunda fase, consignadas en el apartado 3.4, tienen como objetivo conocer los modos de resolución que activan frente a una actividad experimental a partir de los niveles de conceptualización alcanzados, los procedimientos utilizados y la valoración de los resultados obtenidos.

La presentación de las conclusiones se organizó de la siguiente manera: en primer término se ofrecen aquéllas correspondientes a los aspectos generales asociados al razonamiento activado, que dan cuenta de las dificultades vinculadas a la comprensión tanto de los contenidos conceptuales como de los procedimientos involucrados en la resolución de la situación problemática. En segundo término, se consigna la configuración del espacio del problema y búsqueda de la solución, asociado al problema de lápiz y papel. Posteriormente se incluyen los diagramas que sintetizan el modo de actuación a la situación experimental, apelando a los mecanismos empleados en la aplicación, transformación e integración de los

contenidos teóricos. Finalmente, se incluye una reflexión crítica sobre los aportes que devienen de la resolución de una actividad experimental indicando algunas implicancias que pueden resultar de interés en las clases de resolución de problemas en cursos de Física Básica universitaria cuando se abordan contenidos de Dinámica de la Partícula.

5.2 Acerca de la resolución del problema de lápiz y papel

A fin de sintetizar las respuestas encontradas en función del trabajo realizado, se transcriben a continuación las cuestiones foco que orientaron el desarrollo de la primera fase de la investigación.

¿Cómo orientan los estudiantes su razonamiento, en relación con los contenidos teóricos que integran y los procedimientos activan, al abordar una situación problemática de lápiz y papel? ¿Qué dificultades se presentan al abordar dicha situación?

A partir de los resultados obtenidos, el estudio efectuado para dar respuesta a estas cuestiones, se presenta según dos niveles de análisis. El primer nivel da cuenta de aspectos generales que resultan esenciales para la implementación de estrategias que contribuyan a revertir las dificultades encontradas al encarar la resolución de problemas de lápiz y papel. El segundo nivel atiende aspectos específicos propios de las categorías detectadas en función de la construcción del espacio del problema que permite viabilizar la resolución.

➤ Primer nivel de análisis. Aspectos generales del razonamiento activado

1. Se evidencia una comprensión sesgada del enunciado del problema de lápiz y papel. No se formuló cuestionamiento alguno relativo a la ausencia de una proposición que señale el sentido del movimiento del sistema. Esto está asociado al hecho que la resolución de la situación problemática se abordó teniendo en cuenta como único sentido de movimiento posible, el que coincide con el de la componente de la fuerza \mathbf{F} aplicada.

Se observa que la totalidad de los estudiantes no registró como obstáculo en el proceso de representación y búsqueda del espacio del problema la ausencia de

indicación del sentido de movimiento del sistema. Se evidencia que actúan utilizando un *sesgo de economía cognitiva* interpretando la fuerza \mathbf{F} con un claro efecto “motor”, es decir, ella determina la orientación del movimiento resultante y, además, acelera al sistema. Esta interpretación realizada por los estudiantes estaría sugerida desde el enunciado cuando, tras realizarse una descripción y caracterización de los componentes que se muestran en la figura que acompaña el texto, se señala “*Si se aplica a m_1 una fuerza de magnitud F ...*” y se destaca la misma \mathbf{F} como la única fuerza representada vectorialmente en dicha figura. Esta forma de organizar el enunciado estaría sugiriendo a los estudiantes una situación inicial de equilibrio estático (estado que en ningún momento se indica explícitamente) que luego sería modificada por la aplicación de la fuerza.

En este sentido, esta forma de organizar el enunciado literal y gráfico estaría limitando el desarrollo de competencias procedimentales específicas asociadas a la construcción mental de la situación descrita en el enunciado, el reconocimiento de diferentes alternativas de movimiento, la articulación de esta representación con los conceptos activados y la incorporación de estrategias adecuadas para el cálculo de las variables demandadas.

2. Se evidencia una ausencia de construcción de hipótesis vinculadas con las posibles alternativas de movimiento. El proceso de resolución desarrollado derivó del supuesto implícito mencionado anteriormente: la fuerza \mathbf{F} indicada genera un movimiento acelerado hacia la derecha del sistema mostrado en la Figura 3.1 correspondiente al enunciado del problema de lápiz y papel. La exclusión de un posible movimiento rectilíneo y uniforme hacia la derecha como otra posibilidad estaría indicando una interpretación del Segundo Principio de Newton en forma directa: toda fuerza produce una aceleración en su misma dirección y sentido, sin ampliar la interpretación a las situaciones donde actúan varias fuerzas simultáneamente con resultante nula. Es decir, la representación gráfica de la fuerza \mathbf{F} estaría provocando una atención selectiva que limita una mirada global a otras interacciones con otros cuerpos del medio ambiente, tales como la fuerza que transmite la cuerda sobre el cuerpo de masa m_1 y la fuerza de roce con la superficie rugosa. Inclusive, la interpretación realizada del Segundo Principio de Newton por los estudiantes pareciera ser tan contundente que obstruiría la posibilidad de otros

razonamientos que derivan de un análisis más detallado de la fuerza de roce que actúa sobre m_1 en el análisis del movimiento. Así, no se detectó que alguno de los estudiantes siguiera un razonamiento del siguiente tipo, suponiendo que hubiesen interpretado el enunciado según lo indicado en el ítem anterior:

- Si antes de actuar la fuerza \mathbf{F} , el conjunto de cuerpos está en reposo, entonces la fuerza de roce estático debe actuar hacia la derecha para equilibrar la fuerza que tensa la cuerda (Figura 5.1).

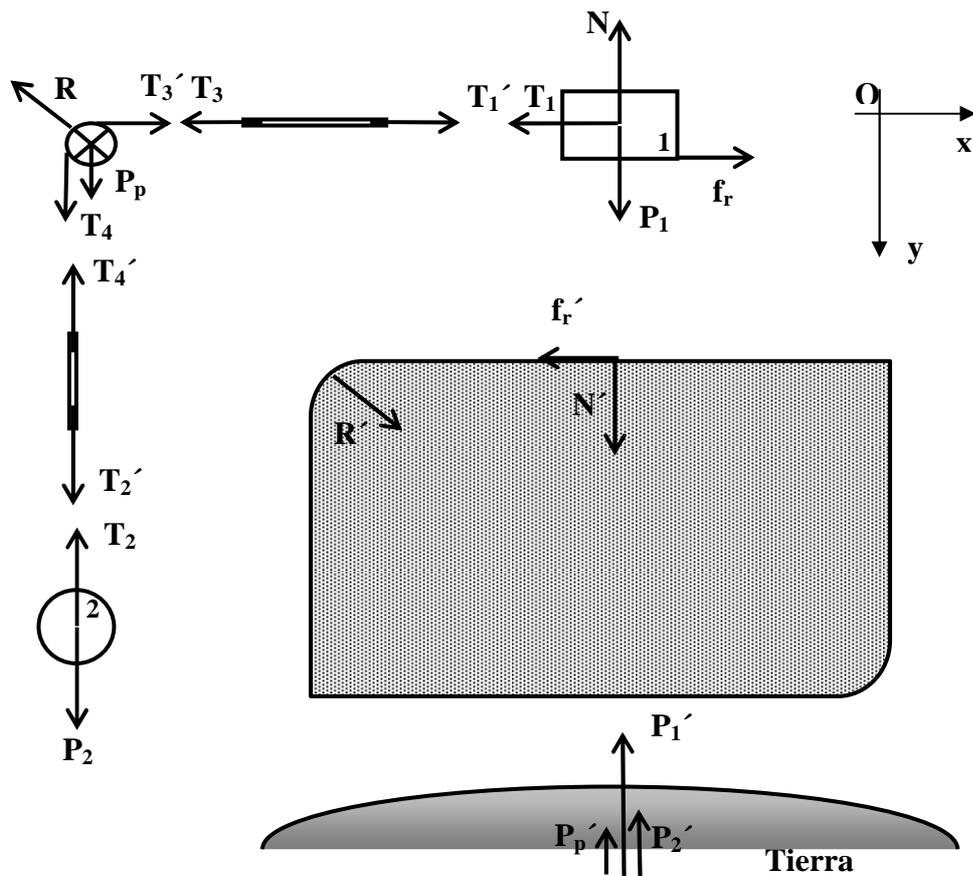


Figura 5.1. Diagrama de cuerpo aislado del sistema si estuviese en reposo antes de aplicar la fuerza \mathbf{F} donde T : fuerza que tensa la cuerda, R : fuerza de vínculo, P : peso, N : normal, f_r : fuerza de roce

- Al aplicar la fuerza \mathbf{F} y moverse m_1 hacia la derecha, se invierte la fuerza de roce y puede ser que equilibre la componente horizontal de \mathbf{F} (Figura 5.2) y el sistema se traslade con MRU.

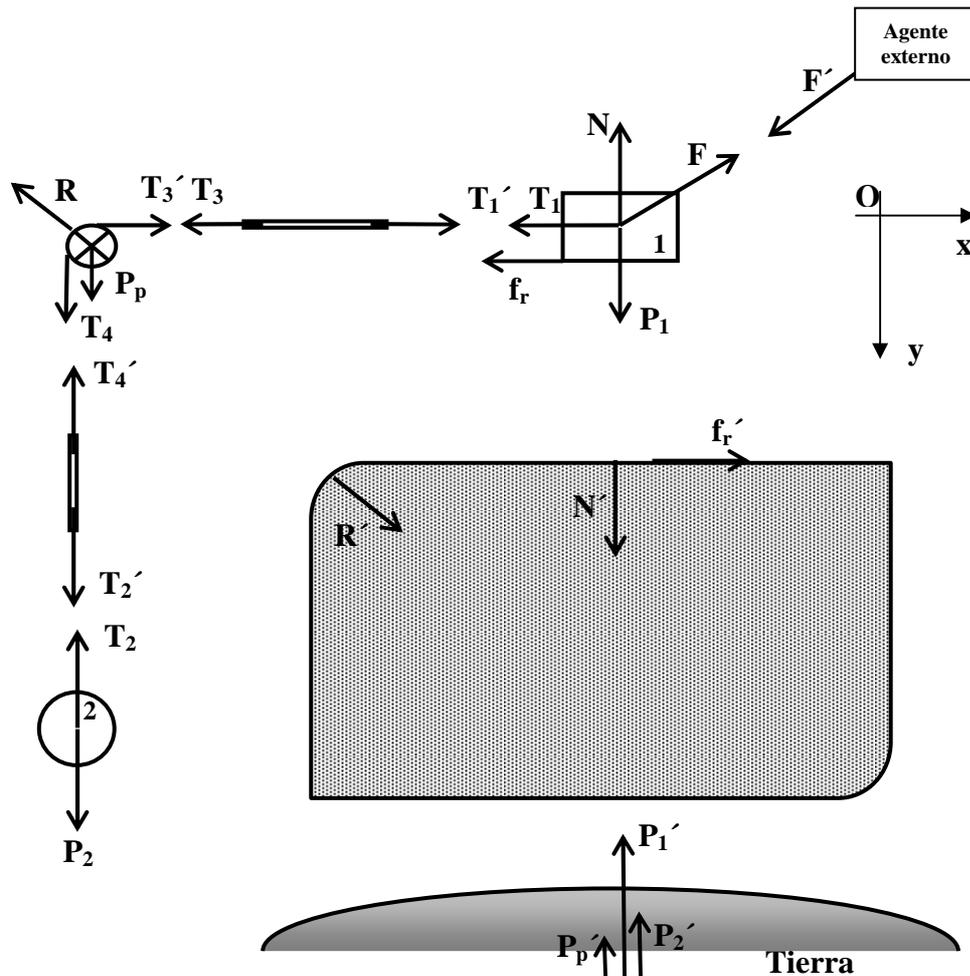


Figura 5.2. Diagrama de cuerpo aislado del sistema donde F : fuerza ejercida por el agente externo, T : fuerza que tensa la cuerda, R : fuerza de vínculo, P : peso, N : normal, f_r : fuerza de roce

Razonar en términos de hipótesis implica considerar las opciones que devienen de la comprensión del enunciado, dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos, contrastar los resultados alcanzados con los elaborados por los pares y reflexionar críticamente. Tanto la focalización selectiva de la atención hacia un sólo tipo de movimiento como la dificultad que se presenta al considerar todas las alternativas en el sentido del desplazamiento del sistema derivan de deficiencias en la capacidad de explicitar hipótesis.

Puede interpretarse que los enunciados de tipo abstracto, como el que se presenta en esta tesis, no sólo hacen que la comprensión del discurso se centre fundamentalmente en el contexto de la Física, y específicamente, en el conocimiento disponible (Sánchez, 2011), sino también que limitan el proceso de razonamiento en

términos de hipótesis. Este último aspecto constituye un notable aporte, en particular, a los resultados de la investigación realizada por Sánchez (2011) y, en general, a la investigación en Enseñanza de las Ciencias. Asimismo, aún considerando todas las alternativas de movimiento, el enunciado del problema promueve la conceptualización de un tipo particular de fuerza de rozamiento que Concari, Pozzo y Giorgi, (1999) designan como prototipo en función de su efecto retardador o disipativo, que deriva en la generalización incorrecta de esa propiedad a cualquier situación.

3. Se detecta que la representación de fuerzas se orientó hacia la resolución del problema. El 64% de los estudiantes representó adecuadamente las fuerzas, identificando los respectivos pares de acción y reacción. En su mayoría son representaciones avanzadas por cuanto consideraron, además, el diagrama de cuerpo aislado de la polea e indicaron el sistema de coordenadas utilizado para el planteo del Segundo Principio de Newton. Esto estaría indicando que prácticamente las dos terceras partes de los estudiantes habría desarrollado la capacidad para reconocer y representar fuerzas, etapa básica en el proceso de conceptualización en Física.

4. Se observa, en el 71% de los estudiantes, una ausencia de modelización de la situación problemática. El proceso de resolución se abordó sin considerar el modelo conceptual asociado donde el objeto real se sustituye por uno ideal con propiedades rigurosamente fijadas y sujeto a relaciones descriptas en términos lógico-matemáticos, lo cual indicaría que la modelización no constituye para los estudiantes una fase relevante en la solución de problemas de lápiz y papel o que asumen que estos problemas se presentan parcialmente modelizados. Este resultado concuerda con los obtenidos por Solsona, Izquierdo y Gutiérrez (2000) a partir de una investigación sobre la significatividad de los modelos conceptuales en el área de Química donde se evidenció que sólo un 8% de los estudiantes construyeron modelos conceptuales científicamente aceptados.

El modelo teórico construido por el 29% de los estudiantes denota que la interpretación del movimiento se realizó en términos de interacciones, de consideraciones explícitas sobre la polea que le confieren un comportamiento ideal y del lenguaje formal empleado. En la formalización de la solución hay una relación coherente y equilibrada entre el lenguaje matemático y académico.

5. Se evidencian distintos modos de articulación entre el lenguaje literal y el matemático. El denominado “grupo experto” presenta un uso adecuado del lenguaje en la formalización de la solución del problema, integrando el lenguaje académico con el lógico-matemático lo cual derivó en un desarrollo correcto del procedimiento. Para el designado “grupo avanzado”, el lenguaje formal se constituyó en un obstáculo dado que no lograron interrelacionar las ecuaciones matemáticas planteadas a partir de la aplicación del Segundo Principio de Newton. El “grupo persistente” formaliza apropiadamente la solución utilizando un lenguaje matemático acompañado de lenguaje coloquial, situación que reduce la precisión del proceso de resolución. En el “grupo débil”, las expresiones literales y los procedimientos matemáticos para la resolución de un sistema de ecuaciones lineales con dos incógnitas, no tienen la rigurosidad del lenguaje académico-formal. El “grupo mecánico” no utiliza adecuadamente el lenguaje académico-formal lo cual no le permitió completar la resolución.

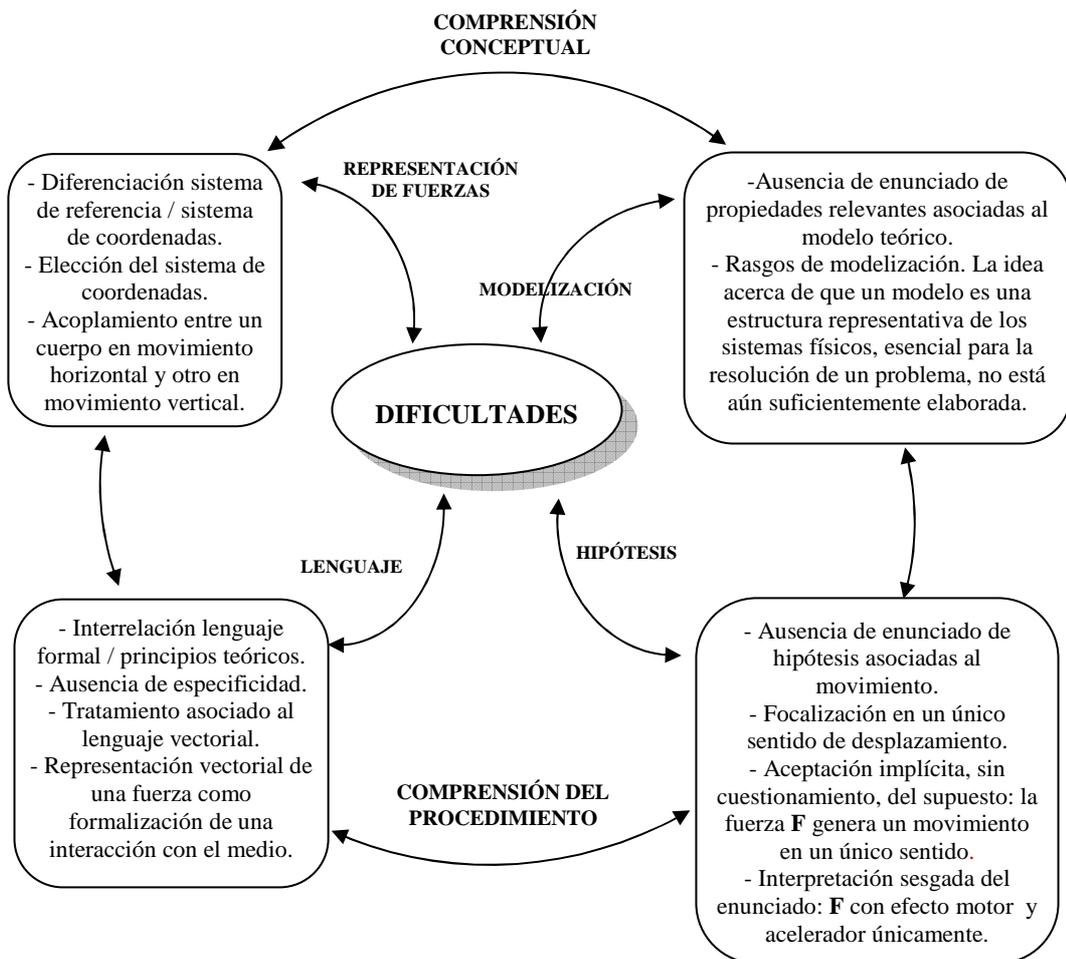


Figura 5.3. Dificultades asociadas a la resolución

En el diagrama que se presenta en la Figura 5.3 se sintetizan las dificultades que se han detectado en el marco de la investigación efectuada. Las mismas están asociadas a la comprensión tanto de los contenidos conceptuales como de los procedimientos involucrados en la resolución de la situación problemática.

Las flechas externas, de doble sentido, indican que tanto los aspectos conceptuales como procedimentales sobre los que se asientan las dificultades, están relacionados con las categorías de análisis *Representación de fuerzas y Lenguaje* y con dos procesos significativos involucrados en la categoría *Procesos asociados a la resolución* como son la Modelización y la elaboración de Hipótesis.

➤ Segundo nivel de análisis. Construcción del espacio del problema

Los resultados obtenidos permitieron diferenciar tres modos de actuación identificados como *clases*. A continuación, para cada una de ellas, se presenta un diagrama que sintetiza la interpretación, emergente de la resolución, de los sucesivos estados, inherentes a la construcción del espacio del problema (Newell y Simon, 1972), que viabilizaron la determinación de las variables demandadas.

En la Figura 5.4 se presenta el diagrama de la evolución del espacio del problema de A_{22} , que puede considerarse como prototipo de la Clase 1 denominada *Integración significativa* ya que su modo de actuación reúne las características representativas de la misma. Se reitera que el 29% de los estudiantes integra esta clase. Los operadores para producir nuevos estados del problema se representan mediante un óvalo verde.

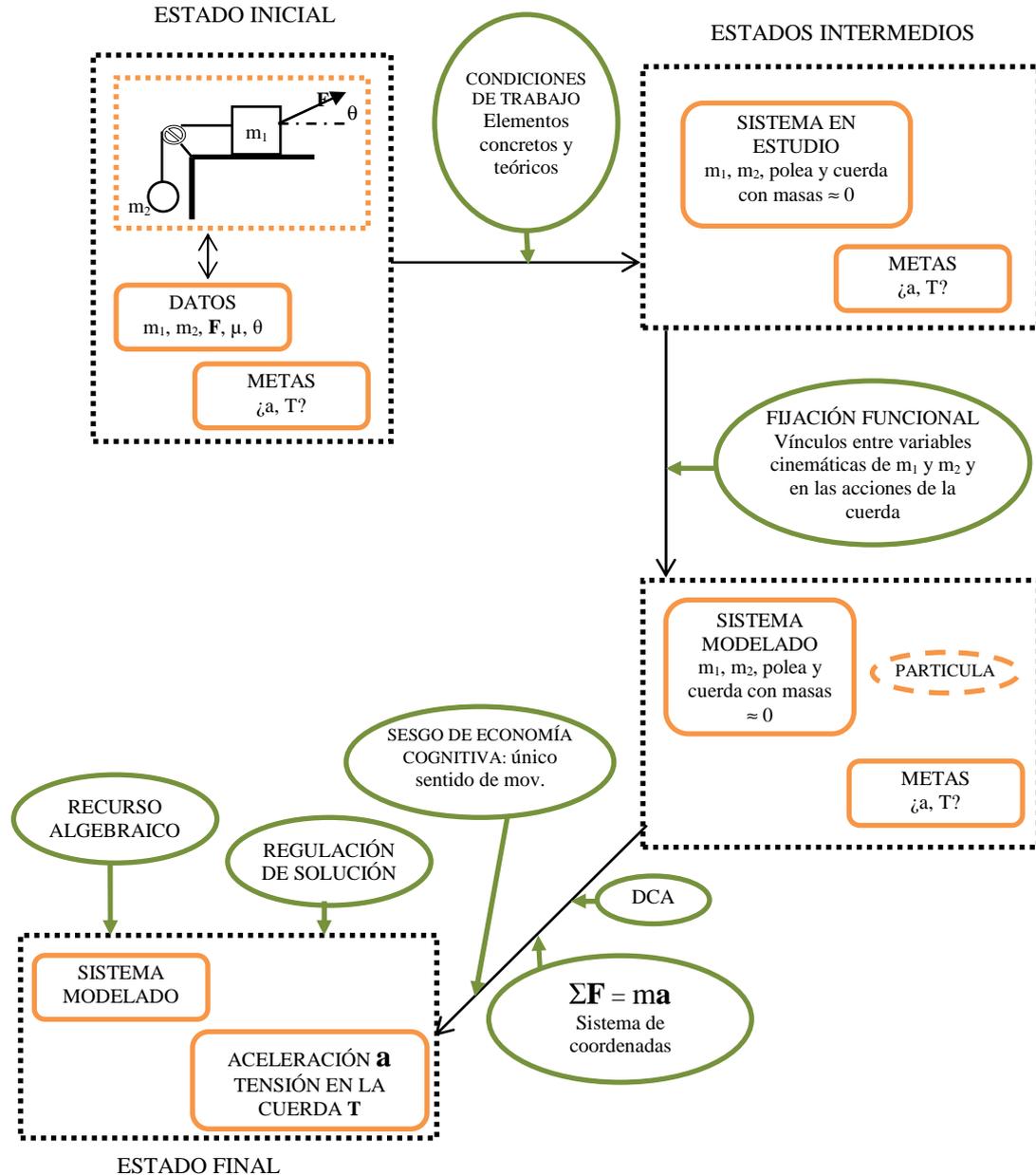


Figura 5.4. Diagrama de la evolución del espacio del problema de A22, prototipo de la Clase 1 “Integración significativa”

El estado inicial se organizó apelando a la figura y a los datos consignados en el enunciado y a partir de la formulación de la meta reconocida. La aplicación del operador *condiciones de trabajo* le permitió al estudiante el acceso a un nuevo estado del espacio del problema en el que la polea adquirió relevancia como objeto de análisis en la definición del sistema en estudio. Si bien no la representó gráficamente, hizo referencia a la misma en el texto con que acompaña la resolución (Figura 5.5). Además, en forma implícita se le otorga a la polea un lugar en la organización

espacial adoptada en el DCA. Activa el operador *fijación funcional* para atribuir a esta situación relaciones que fueron antes establecidas para la resolución de otros problemas de la práctica, sin efectuar un análisis específico para este caso. Emergen así las igualdades: “*la tensión en 1 es igual a la tensión en 2*” y “*a_y en 2 es igual a a_x en 1*” lo cual posibilitó el modelado del sistema en el que está implícito el concepto de partícula (representado con línea punteada). El *reconocimiento de las interacciones* (DCA); la transformación de una representación vectorial (en el DCA) a representaciones escalares equivalentes (el Segundo Principio de Newton) viabilizada por la inclusión del sistema de coordenadas (operador de *orientación espacial*) y la vinculación de las interacciones, a través de una *relación causal*, con la aceleración ($\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$) les permitió, haciendo uso del operador *recurso algebraico*, arribar a la solución satisfactoria de las variables demandadas en la situación problemática (aceleración, \mathbf{a} y tensión en la cuerda, \mathbf{T}). El control de estos aspectos denota que han operado regulando la solución. No obstante, la consideración de un único sentido de movimiento (ascendente de la masa m_2 con MRUA) evidencia la presencia de un sesgo de economía cognitiva.

La disponibilidad de conceptos y principios en la estructura cognitiva, pertinentes con la demanda de la tarea, les permitió a los estudiantes, en términos de Ausubel y colaboradores (1998), resolver comprensivamente el problema.

Suponemos que la masa de la cuerda es despreciable y que en la polea no hay roce, por lo tanto la Tensión en 1 es igual a la Tensión en 2.

Al ser T lo mismo en 1 y 2, entonces suponemos que a_y en 2 es igual a a_x en 1

DATOS: m_1
 m_2
 F
 θ
 μ

$a_x?$
 $T?$

$\sum F_x = 0 = m_2 a_x \Rightarrow a_x = 0$
 $\sum F_y = m_2 a_y = T - P_2 = T - m_2 g \Rightarrow$
 $a_y = \frac{T - m_2 g}{m_2} = \frac{T}{m_2} - g$

$\sum F_x = m_1 a_x = F_x - (T + f_r) \Rightarrow$
 $\Rightarrow m_1 a_x = F \cos \theta - (T + \mu N) \quad (1)$
 $\sum F_y = 0 = (N + F_y) - P_1 \Rightarrow N + F \sin \theta = m_1 g \Rightarrow$
 $N = m_1 g - F \sin \theta \Rightarrow$
 $(1) \Rightarrow m_1 a_x = F \cos \theta - [T + \mu(m_1 g - F \sin \theta)]$
 $\Rightarrow m_1 a_x = F \cos \theta - T + \mu m_1 g - \mu F \sin \theta$

Como $a_{y2} = a_{x1}$:
 $\frac{T}{m_2} - g = \frac{F \cos \theta}{m_1} - \frac{T}{m_1} + \mu g - \frac{\mu F \sin \theta}{m_1}$
 $\frac{T}{m_2} + \frac{T}{m_1} = \frac{F \cos \theta}{m_1} + \mu g - \frac{\mu F \sin \theta}{m_1} + g$

$T \left(\frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_1} \right) = \frac{F \cos \theta}{m_1} + \mu g - \frac{\mu F \sin \theta}{m_1} + g = T \cdot \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right)$

$T = \frac{F \cos \theta}{m_1} \cdot \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right) + \mu g \cdot \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right) - \frac{\mu F \sin \theta}{m_1} \cdot \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right) + g \cdot \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right)$

$T = \frac{F \cos \theta \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1^2 + m_1 \cdot m_2} + \frac{\mu g \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} - \frac{\mu F \sin \theta \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1^2 + m_1 \cdot m_2} + g \cdot \left(\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right)$

$a_{y2} = a_{x1} = \frac{T}{m_2} - g$

Figura 5.5. Resolución del problema elaborada por el estudiante A22, prototipo de la Clase 1 “Integración significativa”

La Figura 5.6 muestra el diagrama de la evolución del espacio del problema de A14, ejemplo de la Clase 2 denominada *Integración débil* (55%).

La meta no está explícitamente reconocida en el estado inicial, de allí que se la identificó con líneas de puntos en el diagrama de evolución. La polea no se constituyó en un elemento de estudio, no obstante, el operador *reconocimiento de*

interacciones (DCA) le permitió al estudiante avanzar en la caracterización del sistema en estudio.

Asimismo, no ha logrado abstraer los aspectos relevantes del sistema que le permitirían elaborar el modelo conceptual dado que, en el DCA los cuerpos se han esquematizado manteniendo sus formas. Sin embargo, la activación del operador *relación causal* (Segundo Principio de Newton), sugiere que está apelando a un sistema modelado (representado por línea punteada) que aún no reconoce explícitamente.

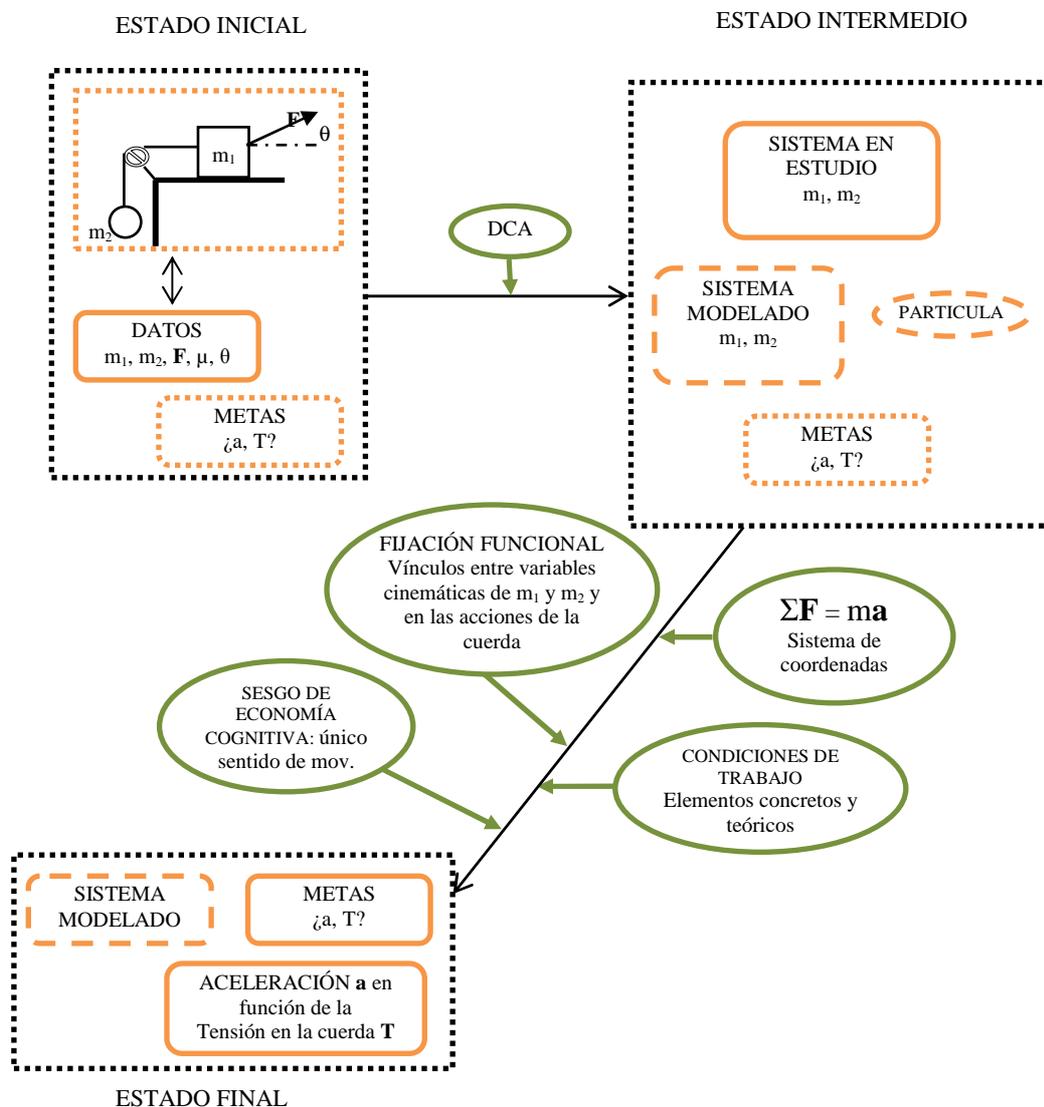


Figura 5.6. Diagrama de la evolución del espacio del problema de A₁₄, prototipo de la Clase 2 “Integración débil”

Se observa que frente a la necesidad de reducir el número de variables a la cantidad de ecuaciones planteadas, el estudiante A₁₄, activó los operadores *condiciones de trabajo* y de *fijación funcional*. Esto le permitió hacer explícita la meta en términos de las variables demandadas, identificadas como T₁ y a_x en la Figura 5.7. Como consecuencia de la ausencia del operador *recurso algebraico* obtiene una solución parcial expresada en función de “...dos ecuaciones con dos incógnitas...”. Es decir, no alcanzó las condiciones requeridas para arribar a la meta final

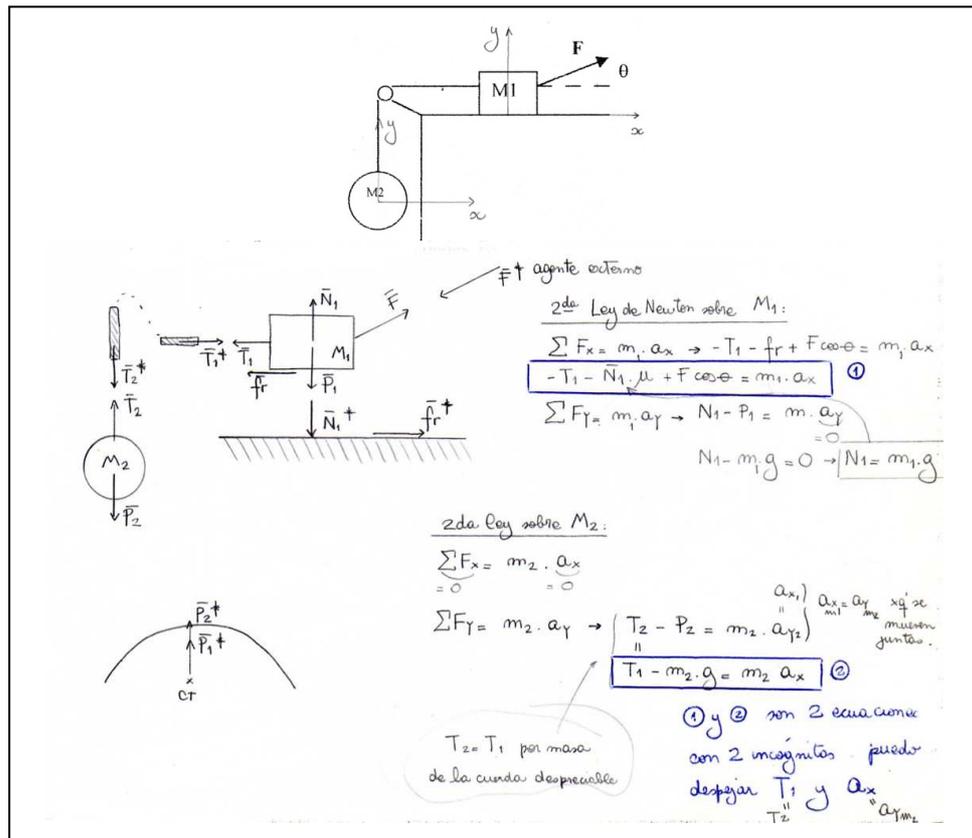


Figura 5.7. Resolución del problema elaborada por el estudiante A₁₄, prototipo de la Clase 2 “Integración débil”

El diagrama correspondiente al estudiante A₁₂, prototipo de la Clase 3, nombrada *Sin integración*, (16%), se muestra en la Figura 5.8.

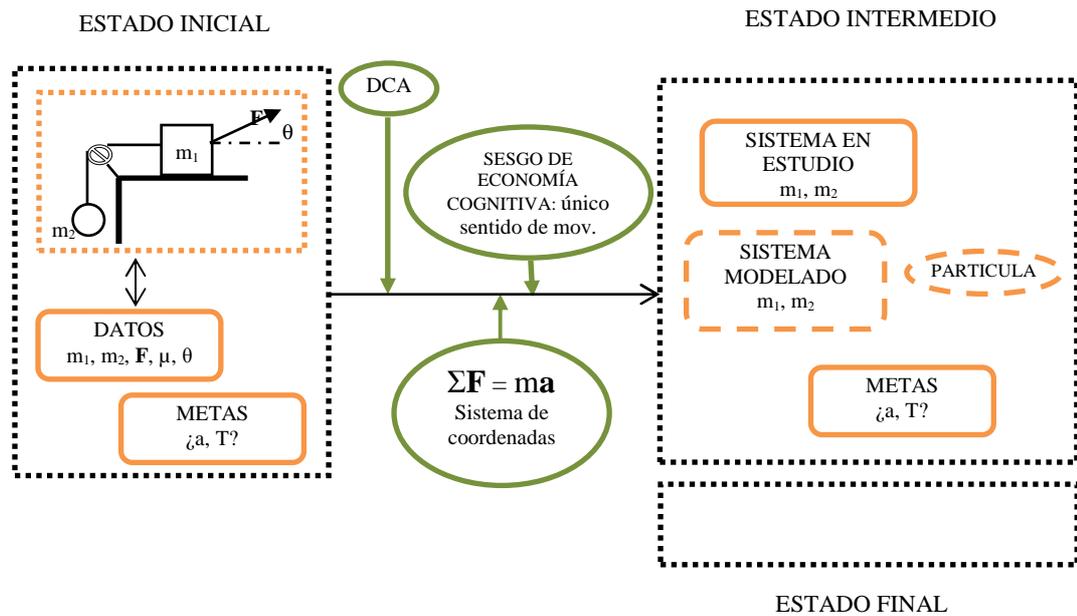
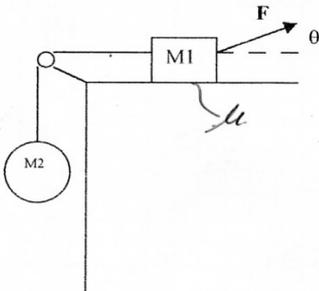


Figura 5.8. Diagrama de la evolución del espacio del problema de A₁₂, prototipo de la Clase 3 “Sin integración”

Se evidencia que el estudiante reconoció los datos del problema ya que incorporó en forma escrita, en el esquema incluido en el enunciado, el símbolo μ correspondiente al coeficiente de fricción cinético, único dato no consignado en dicho esquema. Asimismo, reconoció las variables demandadas al destacar con una línea de trazo continuo la frase del enunciado que hace referencia a las mismas (Figura 5.9). Al igual que el estudiante correspondiente a la Clase 2, apela a los operadores *reconocimiento de interacciones* (DCA) y *relación causal* al construir el diagrama de cuerpo aislado y al aplicar el Segundo Principio de Newton por componentes respectivamente, lo cual sugiere que recurre a un sistema modelado implícitamente reconocido. El sentido asignado a la fuerza de rozamiento \mathbf{f}_r denota que considera un único sentido de movimiento. Asimismo, no logra activar los operadores que le permitirían organizar las relaciones necesarias para completar la demanda de la tarea.

Una masa m_1 sobre una superficie horizontal rugosa, se conecta a una segunda masa m_2 por medio de una cuerda que pasa por una polea sin fricción tal como indica la figura. Si se aplica a m_1 una fuerza de magnitud F que forma un ángulo θ con la horizontal, determine la magnitud de la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda.
 El coef. de fricción cinético entre m_1 y la superficie es μ .



- Enuncie las hipótesis de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas. Explique.

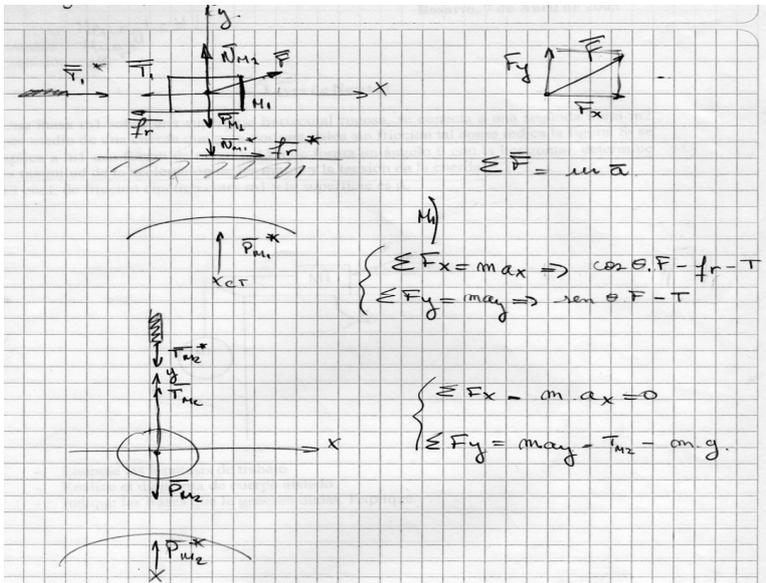


Figura 5.9. Resolución del problema elaborada por el estudiante A_{12} , prototipo de la Clase3 “Sin integración”

Del análisis de los diagramas de evolución, que denotan la aplicación de los diferentes operadores que actúan generando cambios de estados para arribar a la meta, se puede concluir, acordando con Sánchez (2011), que los operadores aplicados pueden ser los mismos pero los espacios del problema presentan diferentes calidades de solución debido a la ausencia de alguno/s de ellos.

Asimismo, coincidiendo con Justi (2006), se reconoce la necesidad de planificar acciones docentes que contribuyan a que los estudiantes desarrollen una adecuada comprensión acerca de la naturaleza y utilización de los modelos conceptuales, como

así también la importancia de la elaboración de los mismos en la construcción del conocimiento científico.

5.3 Acerca de la resolución de la situación experimental

Con el objeto de consignar las respuestas encontradas a partir del estudio realizado en la segunda fase de la investigación, se transcriben a continuación las cuestiones foco que orientaron dicha fase:

¿De qué forma los estudiantes dirigen su razonamiento al abordar una situación experimental planteada como un problema semi-estructurado y qué procedimientos activan durante su tratamiento? ¿Qué aportes devienen de la resolución de una situación problemática como actividad experimental respecto de su planteo como problema de lápiz y papel?

A continuación se presentan los modos de actuación identificados que devienen de los resultados obtenidos. Cada uno de ellos se sintetiza en un diagrama que muestra aspectos específicos, propios de las categorías detectadas, relacionados con la organización de los contenidos conceptuales y procedimentales puestos en juego en la resolución de la situación experimental. La lectura del diagrama no es lineal, de allí que se apeló a flechas de doble sentido para especificar las relaciones entre los distintos elementos constitutivos del mismo.

En la Figura 5.10 se presenta el diagrama que sintetiza el modo de actuación del grupo G3 (Tabla II, Anexo III), prototipo de la clase denominada *Integración significativa* (50%).

Se observa que las condiciones de trabajo, basadas en elementos concretos, le permitieron simplificar el sistema en estudio recurriendo a una representación que guarda similitud con la observada en la resolución del problema de lápiz y papel. Esto le permitió al grupo avanzar en el proceso de modelización. Asimismo, el colchón de aire se constituyó en un aspecto relevante de este proceso ya que al observar el efecto del aire que emerge por los orificios de la pista, que eleva el planeador de la misma, los estudiantes designan su acción como un “empuje” en el DCA. Este concepto no queda claramente definido dado que corresponde a Mecánica

de Fluidos, contenido que es objeto de estudio en un curso posterior en las carreras de Ingeniería en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

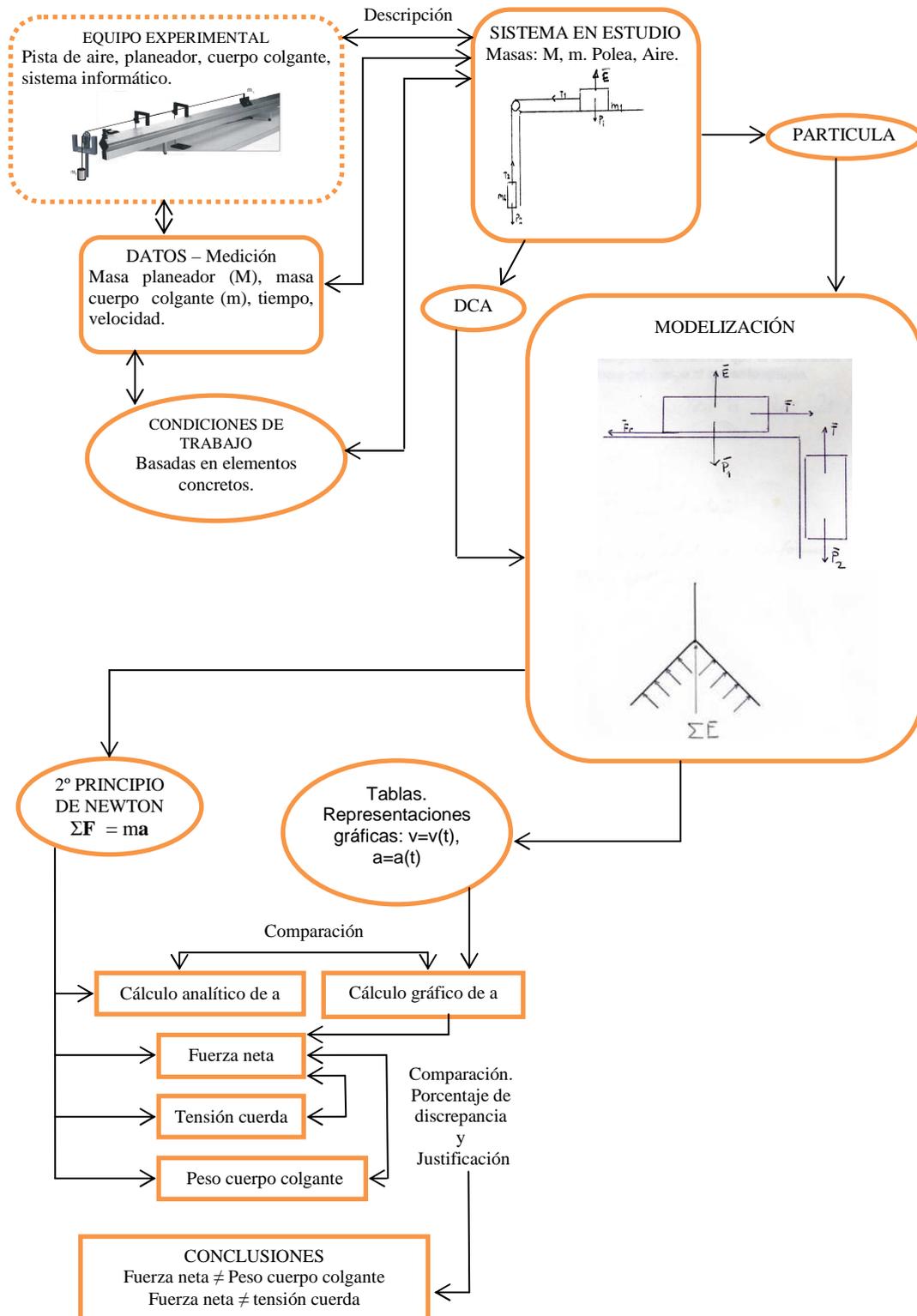


Figura 5.10. Diagrama del modo de actuación del grupo G3 prototipo de la clase "Integración significativa"

El Segundo Principio de Newton y la gráfica $v = v(t)$ le permitió al grupo desarrollar la formalización específica para la determinación de la fuerza neta y la tensión en la cuerda. Los procesos de comparación entre *cálculo analítico – gráfico de a* por una parte y *fuerza neta – peso cuerpo colgante; fuerza neta – tensión en la cuerda* por otra, con sus correspondientes justificaciones, viabilizaron el camino hacia la meta final.

Otros grupos de trabajo pertenecientes a esta clase, enunciaron condiciones de trabajo basadas en elementos teóricos. Las proposiciones elaboradas incluyen conceptos disciplinares articulados significativamente. Así el grupo G5 consignó: “...despreciamos la fuerza que realiza el rozamiento viscoso...”, aplicando los conceptos que se desarrollan en la asignatura asociados a los distintos tipos de fuerzas, en particular, las fuerzas originadas por los fluidos (Creus, et al., 1998).

En síntesis, los resultados obtenidos muestran que la mitad de los grupos que conforman esta clase generó su propio modo de actuación al describir los procedimientos a seguir, es decir, fueron capaces de diseñar y desarrollar el experimento a fin de obtener los objetivos previstos. El enunciado de condiciones de trabajo no fue un hecho mecánico sino que emergió de las reflexiones en el grupo ante el dispositivo experimental y el movimiento registrado. La conceptualización se afianzó tanto en este proceso como durante la modelización y la contrastación de los resultados obtenidos.

En la Figura 5.11 se presenta el diagrama correspondiente al modo de actuación del grupo G7 (Tabla VI, Anexo III), prototipo de la clase denominada *Integración débil* (33%).

Se observó que la ausencia de enunciado de condiciones de trabajo condicionó la modelización de la situación experimental; es decir, que en el modelado queda implícita la condición ‘polea de masa despreciable’. No obstante, ante la necesidad de justificar la desigualdad entre el módulo de la fuerza neta y el del peso del cuerpo colgante, la polea se constituyó en parte del sistema en estudio. Así, el grupo consignó: “... Esta diferencia surge porque no se consideran otras fuerzas externas actuantes... Dentro de las fuerzas externas a considerar podemos mencionar a la de roce con la polea y la resistencia viscosa con el aire.”

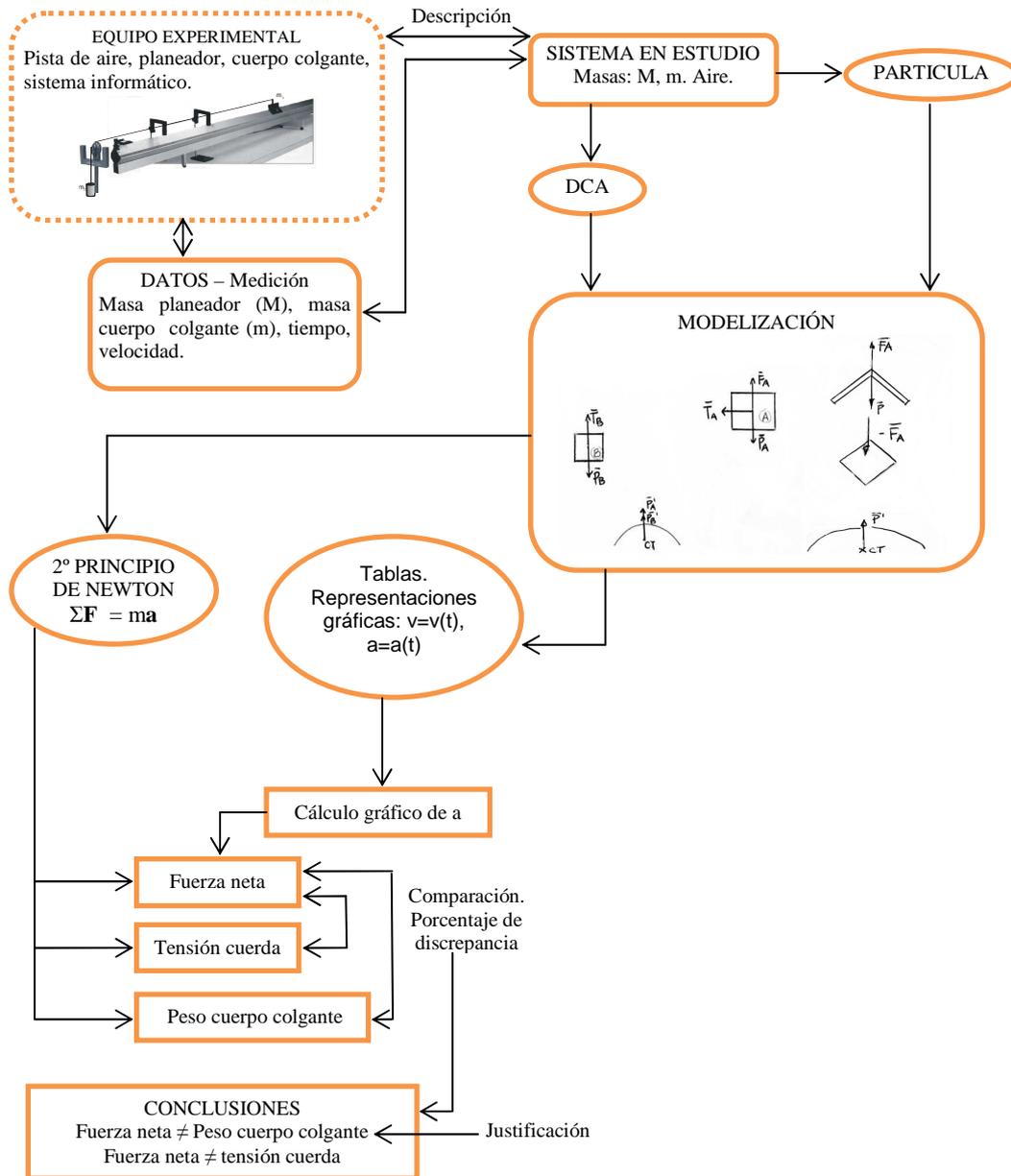


Figura 5.11. Diagrama del modo de actuación del grupo G7 prototipo de la clase “Integración débil”

A diferencia de la clase anterior, en este grupo se detectó una tendencia hacia el registro inmediato de la velocidad en función del tiempo, que derivó sólo en el cálculo gráfico de la aceleración. Asimismo, el grupo limitó la justificación a la desigualdad entre el módulo de la fuerza neta y el del peso del cuerpo colgante, evidenciándose un tratamiento ambiguo respecto de la desigualdad entre el módulo de la tensión y el de la fuerza neta: “...el valor de la tensión es proporcional a la fuerza neta”.

Sólo el grupo G6 perteneciente a esta clase, (Tabla V, Anexo III) consignó las condiciones de trabajo en el informe escrito. Al establecer las mismas, basadas en elementos teóricos, apeló al concepto de momento de inercia al referirse a la polea; no obstante, ésta no formó parte del sistema en estudio. Así consignó: “*El momento de inercia de la polea podría considerarse nulo*”. Cabe mencionar que el concepto ‘momento de inercia’ se desarrolla en profundidad al tratar el análisis de los movimientos de cuerpos modelizados como rígidos en una unidad posterior a la de Dinámica de la partícula. Tal como se mencionó en el apartado 4.4, el aporte de un estudiante, que había cursado previamente Física I, favoreció la discusión de este concepto.

En síntesis, se evidencia en los grupos que conforman esta clase un análisis limitado, en términos de justificaciones, de los resultados obtenidos. En algunos casos, las proposiciones enunciadas en forma ambigua, derivaron de la ausencia de formulación de condiciones de trabajo o de la representación de fuerzas incompleta del sistema en estudio.

En la Figura 5.12 se muestra el diagrama asociado al modo de actuación del grupo G11 (Tabla X, Anexo III), prototipo de la clase denominada *Sin integración* (17%).

Se destaca que la ausencia de condiciones de trabajo limitó la definición del sistema en estudio, quedando éste conformado únicamente por los cuerpos de masas M y m . El aire no se constituyó en elemento de estudio pues la reacción N' del planeador está aplicada sobre la pista y no sobre el colchón de aire. Esto se ve reflejado también en la justificación de la desigualdad entre el módulo de la fuerza neta y el del peso del cuerpo colgante: “*La pequeña diferencia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante se debe a: roce entre la pista y el planeador...*”. Asimismo, el grupo apela a justificaciones erróneas de la desigualdad entre la fuerza neta y la tensión en la cuerda: “*...el valor de la tensión de la cuerda es prácticamente igual al de la fuerza neta porque la cuerda sólo transmite la fuerza, en condiciones ideales...*”. Esto sugiere que las ideas elaboradas no han podido relacionarse, es decir no han logrado en términos de Ausubel y colaboradores (1998) una reconciliación integradora.

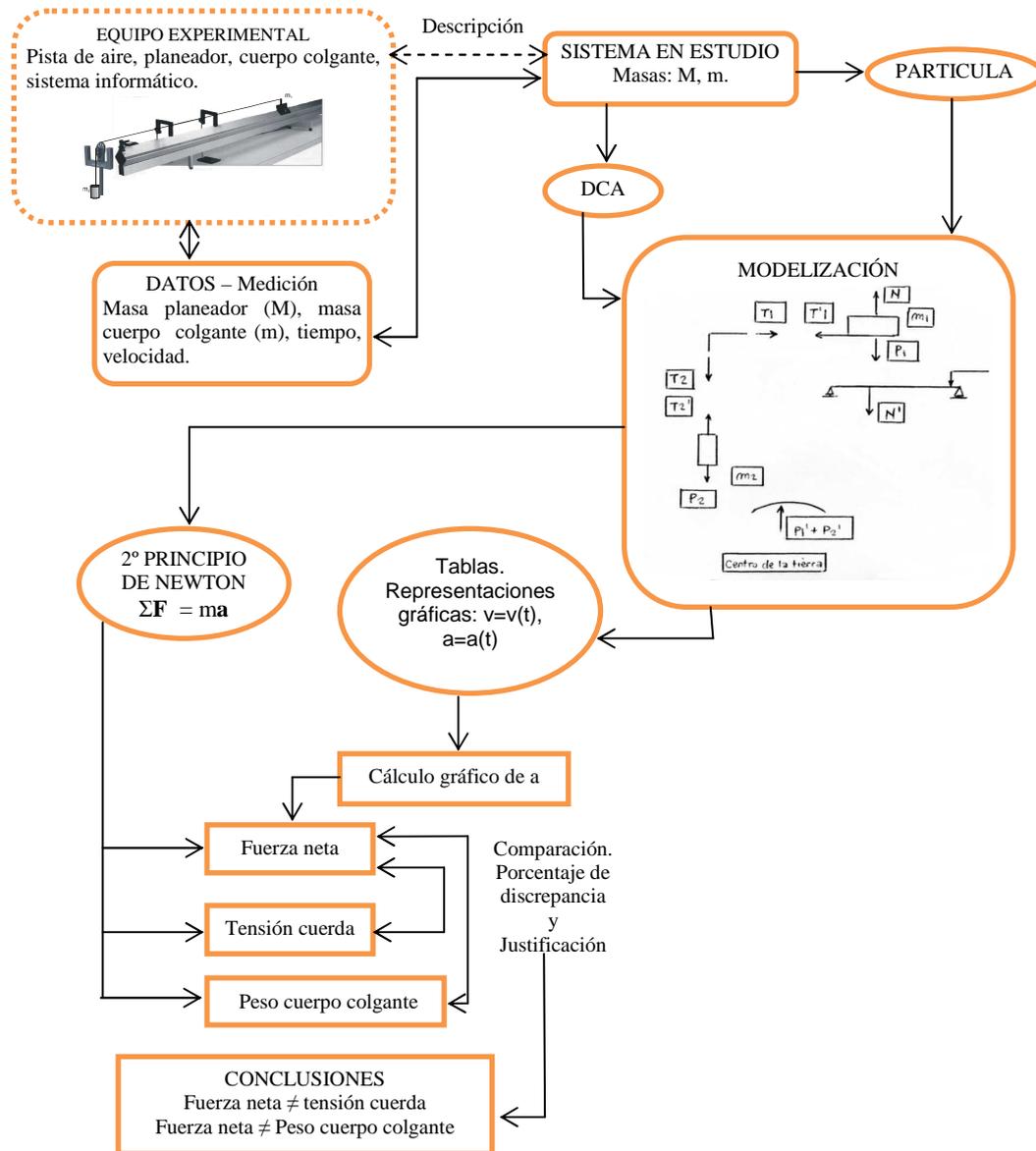


Figura 5.12. Diagrama del modo de actuación del grupo G11 prototipo de la clase “Sin integración”

En síntesis, se evidencia en esta clase que la descripción de los procedimientos estuvo ausente en el grupo G12 y se realizó en forma parcial en el grupo G11 (indicada con una línea discontinua en la Figura 5.12). Ambos grupos elaboran justificaciones de carácter general y algunas incorrectas.

5.4 Aportes que devienen de la situación experimental

En el diagrama que se presenta en la Figura 5.13 se sintetizan los aportes asociados a la resolución de la situación experimental respecto de la del problema de

lápiz y papel que se han detectado en el marco de esta investigación. Los mismos se organizaron en torno a los núcleos: Representación de fuerzas, Modelización, Hipótesis y Lenguaje.

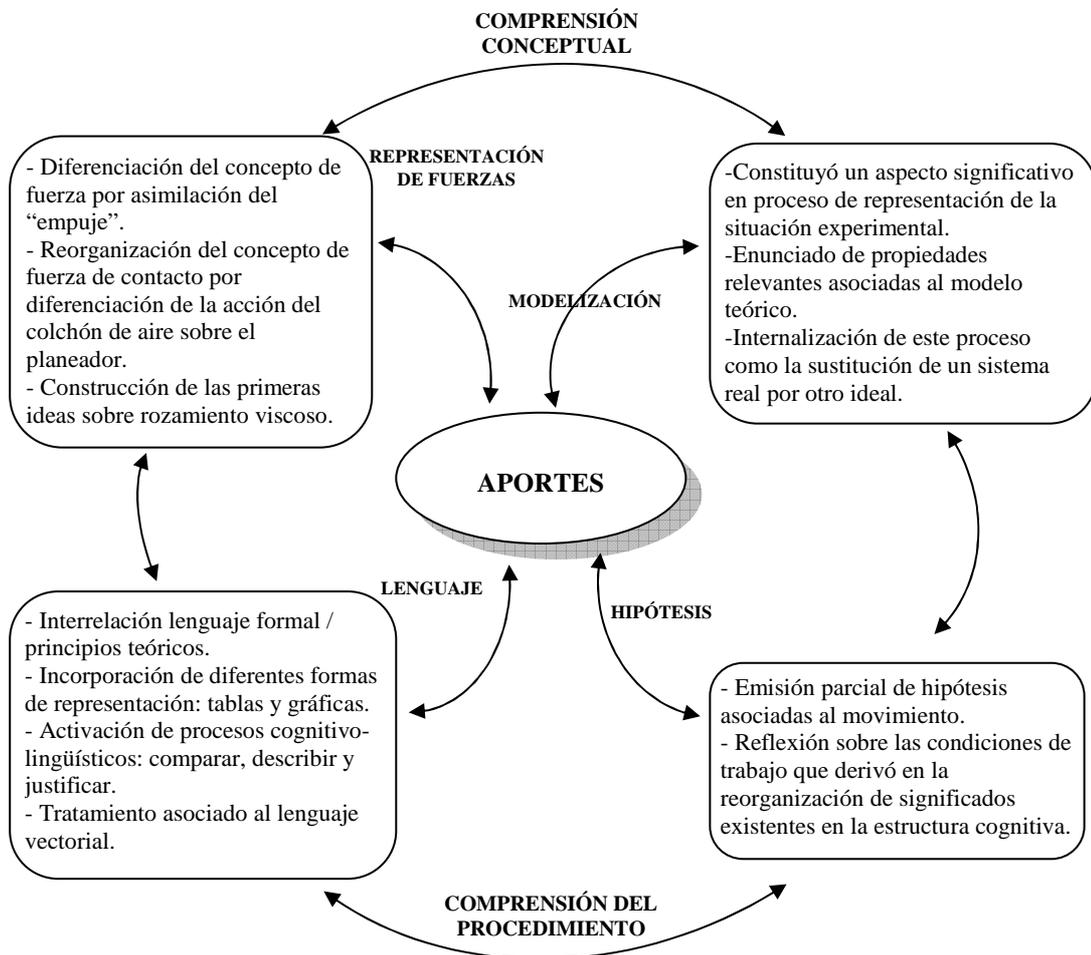


Figura 5.13. Aportes asociados a la resolución de la situación experimental

Se evidencia que las dificultades detectadas en la resolución del problema de lápiz y papel, asociadas a la representación de fuerzas, no constituyeron una limitación en el tratamiento de la situación experimental. Así, en el tratamiento de la interacción entre el planeador y el colchón de aire se reconoce una fuerza resultante vertical, hacia arriba, que lo mantiene suspendido y equilibra al peso -en algunos grupos se la denominó como "empuje" con diversas notaciones, E , ΣE , F_A - denotando consideraciones vinculadas a la "noción de sustentación". Este aspecto resulta de particular interés en la diferenciación progresiva del concepto de fuerza, existente en la estructura cognitiva de los estudiantes, pues la idea de fuerza serviría como

subsursor de la nueva información (empuje) dando por resultado un crecimiento y mayor elaboración del concepto de fuerza. Es decir, cuando un nuevo concepto “empuje” interactúa con un concepto subsursor “fuerza”, éste se modifica dando lugar a la diferenciación progresiva del concepto subsursor “fuerza”. Estos resultados son convergentes con los obtenidos por Yanitelli, Rosolio y Massa (2004) en una investigación orientada a detectar si la propuesta de una actividad experimental para el estudio de movimientos utilizando una pista de aire, estimula el desarrollo de ideas para la asimilación de nueva información.

Asimismo el enunciado de hipótesis, ausente en la resolución del problema de lápiz y papel, se convirtió en un aspecto de análisis en la comprensión e interpretación del movimiento considerado en la práctica de laboratorio. Es así como en la valoración de la situación experimental el modelo de partícula, válido para los cuerpos en movimiento de traslación, se hace presente en forma explícita en algunos casos e implícita en otros al momento de proceder a la resolución de la misma. Esto estaría dando cuenta de un proceso de reconciliación integradora en términos de Ausubel y colaboradores (1998). La simplificación del sistema en estudio al establecer la condición de trabajo “*polea de masa despreciable*” permitió a los estudiantes construir un modelo conceptual que favoreció el desarrollo de procesos de simbolización y representación. Esta aseveración concuerda con los resultados obtenidos en una investigación efectuada por Yanitelli, Scancich y Massa (2010) sobre niveles de conceptualización alcanzados por los estudiantes al desarrollar una actividad experimental para el estudio del Primer Principio de Newton a partir del movimiento de un planeador que flota sobre un colchón de aire. Se observó que los estudiantes recurrieron a procesos de simbolización y representación (a través de la identificación de interacciones incluidas en los DCA) para justificar la falta de nivelación de la pista de aire en algunos casos y el choque contra la banda elástica en otros.

El lenguaje se enriquece no sólo a partir de la activación de procesos cognitivos-lingüísticos sino también por la incorporación de diferentes formas de representación -tablas y gráficas-. La interrelación evidenciada entre estos tipos de lenguajes, utilizados para describir el movimiento del sistema, derivó en la reconciliación integradora de las distintas formas de representación. Asimismo la activación de

procesos como comparar, describir y justificar propiciaron el desarrollo de funciones cognitivo-lingüísticas, relegadas en la resolución del problema de lápiz y papel.

La situación experimental semi-estructurada propuesta potenció el desarrollo de procesos cognitivos de orden superior -organizar, analizar e internalizar información específica-. Esto le demandó al grupo, en el momento de elaborar la memoria escrita, no sólo un mayor esfuerzo cognitivo sino también un mayor compromiso y permitió generar una posición frente al trabajo experimental con un estilo de pensamiento no dogmático que utiliza la teoría como recurso para interpretar las situaciones reales. Por lo tanto, es fundamental proponer situaciones problemáticas en el laboratorio que favorezcan este tipo de razonamiento, así como también implementar estrategias de enseñanza que promuevan una postura de pensamiento hipotético-deductivo en el estudiante cada vez que va a abordar un problema.

5.5 Algunas posibles implicancias

A continuación se señalan algunas consecuencias que pueden resultar interesantes para futuros trabajos de investigación. Debido a la influencia directa que el pensamiento hipotético-deductivo tiene en el desarrollo y enriquecimiento profesional de los estudiantes universitarios, compete a los docentes de Física otorgar un lugar importante al planteo de situaciones problemáticas que favorezcan esta forma de pensamiento. En este sentido, al abordar situaciones problemáticas tanto de lápiz y papel como de laboratorio debería considerarse, como práctica permanente, sistematizar: la construcción de modelos, la elaboración de hipótesis y el desarrollo del lenguaje como un instrumento de comunicación y construcción de ideas inherentes a la disciplina.

Se destaca la necesidad de implementar un conjunto de organizadores previos (Ausubel et al., 1998) que se constituyan en puentes entre los conocimientos disponibles en la estructura cognitiva de los estudiantes y aquello que deberían conocer para fortalecer la comprensión tanto de contenidos conceptuales como procedimentales y, por lo tanto, fortalecer el proceso de resolución de problemas.

Otro aspecto relevante es indagar sobre estrategias que permitan no sólo una mayor integración de saberes al abordar situaciones problemáticas sino también

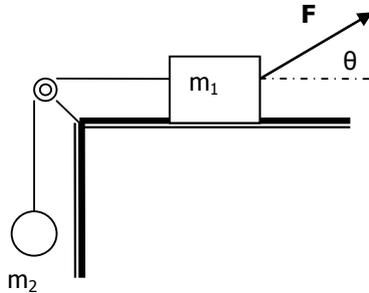
superar las dificultades detectadas asociadas a la comprensión conceptual y de procedimiento que impiden utilizar completamente el potencial de dichas situaciones. Es también importante relevar las demandas e inquietudes de estudiantes, profesores e investigadores para proponer acciones correctivas y nuevas iniciativas.

Asimismo, sería recomendable continuar los estudios sobre las representaciones mentales que construyen los estudiantes cuando resuelven situaciones problemáticas con el fin de evitar un aprendizaje mecánico. Dado que es frecuente observar este último comportamiento en los estudiantes, los lineamientos establecidos en esta tesis, pueden utilizarse como insumos para orientar actividades escolarizadas en las clases de ciencias.

En particular, sería importante generar actividades para incentivar y potenciar el análisis de diferentes alternativas de movimiento en una misma configuración, situación que fue registrada como ausente en esta investigación. Esto permitiría trabajar para modificar la concepción de la existencia de una única resolución de cualquier problema. A su vez sería de interés estudiar, con otro grupo de estudiantes, los modos de actuación ante diferentes organizaciones del enunciado de este problema, atendiendo a las cuestiones discutidas en el apartado 5.2:

- una situación que no condicione una interpretación en etapas sucesivas *reposo – aplicación de una fuerza* que resulta de incluir luego de la descripción inicial de los elementos del sistema, una proposición del tipo “*Si se aplica a m_1 una fuerza de magnitud F ...*”. Es decir, analizar la posible consideración de distintas alternativas de movimiento a partir de un enunciado del tipo:

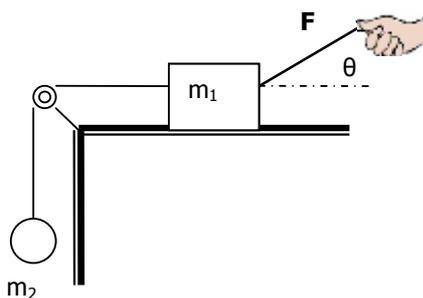
Una fuerza de magnitud F , que forma un ángulo θ con la horizontal, está actuando sobre una masa m_1 conectada a otra m_2 por medio de una cuerda que pasa por una polea sin fricción. La superficie horizontal es rugosa, siendo μ el coeficiente de fricción cinético entre m_1 y la superficie. Determine la magnitud de la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda.



- Enuncie las condiciones de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas y fundamenta.

- una situación donde se sustituya la fuerza \mathbf{F} , representada vectorialmente en la figura que acompaña el enunciado, por una cuerda sostenida por una mano ligada al cuerpo de masa m_1 :

Una fuerza de magnitud F , que forma un ángulo θ con la horizontal, está actuando sobre una masa m_1 conectada a otra m_2 por medio de una cuerda que pasa por una polea sin fricción. La superficie horizontal es rugosa, siendo μ el coeficiente de fricción cinético entre m_1 y la superficie. Determine la magnitud de la aceleración de las masas y la tensión en la cuerda.



- Enuncie las condiciones de trabajo.
- Realice el diagrama de cuerpo aislado.
- Indique las frases que le generan dudas y fundamenta.

Finalmente, otra temática que sería importante retomar es la vinculada al reconocimiento de habilidades cognitivas que promuevan el desarrollo de una comprensión más coherente, flexible, sistemática y principalmente crítica. Esta línea de investigación ofrecería la posibilidad de extender el campo del conocimiento de

las habilidades cognitivas que permiten abordar el estudio de fenómenos o conceptos físicos desde las características concretas del mismo, hasta llegar de forma progresiva a sus características más abstractas. Este proceso de interiorización, a través del cual se forman las ideas en el plano mental, demanda a los estudiantes el desarrollo de capacidades intelectuales específicas incluyendo la aptitud para comprender y utilizar el lenguaje.

5.6 Nuevos interrogantes

Los resultados alcanzados en la presente investigación han dado lugar al planteamiento de nuevos interrogantes, susceptibles de ser respondidos con futuros estudios sobre la temática que nos ocupa. Así, sería conveniente continuar indagando:

- _ ¿Qué estrategias de enseñanza deberían implementarse a fin de promover en los estudiantes la formulación de hipótesis cuando resuelven problemas de lápiz y papel?
- _ ¿Qué actividades favorecen el desarrollo de una forma de pensamiento que incluya la construcción de modelos a fin de lograr una comprensión más amplia de los contenidos teóricos puestos en juego al resolver una situación problemática?
- _ ¿Qué características deben tener los entornos de aprendizaje de modo de fortalecer las interrelaciones entre los diferentes tipos de lenguajes -icónico, verbal, tabular, gráfico y algebraico- utilizados para describir movimientos reales?
- _ ¿Qué cambios deben implementarse en las prácticas de enseñanza a fin de promover la interrelación entre las prácticas de resolución de problemas y de laboratorio?

Las respuestas a estos interrogantes aportarán elementos valiosos, tanto teóricos como prácticos, en la interpretación de problemas y situaciones que cada día emergen en el sistema educativo ante una realidad en permanente cambio.

Bibliografía

Angelone, L., Pons, A., Reynares, C., Sorribas, J. & Széliga, C. (2010). Impacto del curso de ingreso en la aprobación de Informática I en las ingenierías de la FCEIA. *Actas IV Jornadas de Ciencia y Tecnología. UNR* (pp. 23-25). Rosario, Argentina.

Andrés, M. & Pesa, M. (2004). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en un Trabajo de Laboratorio de Física. *Revista Brasileira Pesquisa em Educacao Ciências*, 4(1), 59-75.

Ausubel, D., Novak, J. & Hanesian, H. (1998). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial Trillas.

Bachelard, G. (1988). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI.

Baker, L. (1991). Metacognition, Reading and Science Education. En C.M. Santa & D. Alvermann (Eds.), *Science Learning* (pp. 2-13). Delaware: Intemational Reading Association.

Barolli, E., Laburú, C. & Guridi, V. (2010). Laboratorio didáctico de Ciencias: Caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 88-110.

Becerra Labra, C., Gras-Martí, A. & Martínez-Torregrosa, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de Física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 275–286.

Beney, M. & Séré, M.G. (2001). Entre réussir et comprendre ou de l'effet des consignes opératoires sur la compréhension des procédures de mesurage en TP de physique de 1r. cycle universitaire. *Didaskalia*, 19, 9-37.

Bernárdez, E. (1995). El papel del léxico en la organización textual. *Publicación de la Universidad Complutense de Madrid*.

Best, J. (2001). *Psicología cognitiva*. Madrid: International Thomson/Paraninfo.

Buteler, L.M., Coleoni, E.A. & Gangoso, Z. E. (2008). ¿Qué información útil arrojan los errores de los estudiantes cuando resuelven problemas de física? Un aporte desde la perspectiva de recursos cognitivos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 349-36.

Buteler, L.M., Gangoso, Z. E., Brincones Calvo, I. & González Martínez, M. (2001). La resolución de problemas en Física y su representación: Un estudio en la escuela media. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 285-295.

Campanario, J.M. (1995). Commentary on influential books and journal articles initially rejected because of negative referee evaluations. *Science Communication*, 16, 304-325.

Campanario, J.M. & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Las principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 179-192.

Carcavilla, A. y Escudero, T. (2004). Los conceptos en la resolución de problemas de física «bien estructurados»: Aspectos identificativos y aspectos formales. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 213-228.

Ceberio Garate, M., Guisasola Aranzabal, J. & Almudí García, J. M. (2005). Revisión de las investigaciones sobre propuestas didácticas en resolución de problemas de física. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, VII Congreso.

Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.

Coleoni, E., Gangoso, Z. & Hamity, V. (2007). Novatos exitosos: un análisis de resoluciones de un problema de olimpiada de Física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 457-470.

Coleoni, E., Otero, J., Gangoso, Z. & Hamity, V. (2001). La construcción de la representación en la resolución de un problema de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.

Concari, S., Pozzo, R. & Giorgi, S. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de Física de nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 273-280.

Cook, T. D. & Reichardt, Ch. S. (1997). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Madrid: Ediciones Morata.

Cortés Gracia, A. L. & de la Gándara Gómez, M. (2006). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: Una experiencia didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 435-450.

Covián Regales, E. & Celemín Matachana, M. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 23-42.

Creus, E., Massa, M. & Cortes, A. (1998). *Mecánica*. Rosario: UNR Editora.

Denzin, N. & Lincoln, Y. (1994). *Handbook of Qualitative Research*. Londres: Sage Publications.

Escudero, C. & Jaime, E. (2007). La comprensión de la situación física en la resolución de situaciones problemáticas. Un estudio en dinámica de las rotaciones. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1).

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (1995). Resolución N° 283/95 CD.

Fávero, M.H. & Soares Gomes de Sousa, C.M. (2001). A resolução de problemas em física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(2).

Ferreira, P. & Justi, R. (2005). Atividades de construção de modelos e ações envolvidas. *Memórias V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru, SP.

García Sastre, P., Insausti, M.J. & Merino, M. (2003). Evaluación de los trabajos prácticos mediante diagramas V. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(1). <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero1/Art3.pdf>.

Garnham, A. & Oakhill, J. (1996). *Manual de Psicología del Pensamiento*. Barcelona: Paidós.

Garret, R.M. (1989). Problem-solving and cognitive style. *Research in Science & Technological Education*, 7 (1), 27-44.

Gil Pérez, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasola, J. et al. (1999) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 311-320.

Gil Pérez, D. & González, E. (1993). Las Prácticas de Laboratorio de Física en la formación del profesorado. Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 6 (1), 47-61.

Gil Pérez, D. & Valdés, P. (1995). Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora. *Alambique*, 6, 93-102.

Gil Pérez, D., & Valdés Castro, P. (1996). Tendencias actuales en la enseñanza aprendizaje de la Física. En *Temas escogidos de la didáctica de la Física* (pp. 1-20). Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.

Gilbert, J.K., Boulter, C.J. & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.

- Gilbert, J. & Zylbersztajn, A. (1985). A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. *European Journal of Science Education*, 7(2), 107-120.
- González, E. (1994). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 206-211.
- Guisasola, J., Furio, C., Ceberio, M.J. & Zubimendi, J.L. (2003). ¿Es necesaria la enseñanza de contenidos procedimentales en cursos introductorios de física en la universidad? *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 17-28.
- Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Almudí, J. M. & Ceberio, M. (2007). Propuesta de enseñanza en cursos introductorios de Física en la universidad, basada en la investigación didáctica: Siete años de experiencia y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 91–106.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Hançer, A. H. & Durkan, N. (2008). Turkish Pupils Understanding of Physical Concept: Force and Movement. *World Applied Sciences Journal*, 3(1), 45-50.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, P. & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. (1a. ed). México: Mc Graw Hill.
- Hewitt, P. (2004). *Física Conceptual*. Novena edición. México: Pearson Education.
- Holton, G. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Segunda edición mejorada y ampliada por Brush S. Barcelona: Reverté.
- Jaime, E. & Escudero, C. (2008). Posibilitar la generación de conocimiento durante el trabajo experimental en enseñanza de la Física ¿para qué? *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física*. Rosario, Argentina.
- Jonassen, D. (2003). Using cognitive tools to represent problems. *Journal of Research on Technology in Education*, 35(3), 362-381.

Jhonsen-Laird, J., Newell, A. & Rosenbloom, P. (1987). SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial intelligence*, 33(1), 1-64.

Justi, R. (2006). La enseñanza de Ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

Justi, R. & Gilbert, J.K. (2003). Models and Modelling in Chemical Education. En Gilbert, J.K., Jong, O.D., Justi, R., Treagust, D.F. y V. Driel, J.H. (eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.

Koedinger, K.R. & Nathan, M.J. (2004). The Real Story Behind Story Problems: Effects of Representations on Quantitative Reasoning. *Journal of the Learning Sciences*, 13(2), 129-164.

Laburú, C.E. (2003). Problemas abiertos e seus problemas no laboratório de Física: Uma alternativa dialética que passa pelo discursivo multivocal e univocal. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(3), 1-26.

Laburú, C.E. (2006). Fundamentos para um experimento cativante. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23, 383-405.

Leonard, W., Gerace, W. & Dufresne, R. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 387-400.

Linder, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77, 293-300.

Llancaqueo Henríquez, A., Caballero Sahelices, M. C. & Alonqueo Boudon, P. (2007). Conocimiento previo en Física de estudiantes de Ingeniería. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 205-216.

Llonch, E., Sánchez, P. & Massa, M. (2000). La tecnología multimedial como recurso didáctico para la enseñanza de la estructura de la materia. *Memorias VII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*. Canela, Brasil.

Llonch, E., Sánchez, P., Massa, M. & D'Amico, H. (2001). La comprensión de problemas: una cuestión de modelado situacional. *VI Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, (pp.305-306). Barcelona, España.

Maloney, D. (1994). Research on Problem Solving: Physics. *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. Gabel, Dorothy (ed.). Mac Millan Publishing Company.

Martínez Torregrosa, J., Domènech, J.J. & Verdú, R. (1993). Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: La epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza de las ciencias física y química. *Qurriculum*, 6, 67-89.

Massa, M. & D'Amico, H. (2003). Los problemas: una mirada desde lo procedimental. *Memorias XIII Reunión Nacional de Educación en Física*. Río Cuarto, Argentina.

Massa, M. & Sánchez, P. (2002). Las gráficas y el proceso de modelado en problemas de Cinemática. *Memorias VI Simposio de Investigadores en Educación en Física*. Corrientes, Argentina.

Massa, M., D'Amico, H. & Llonch, E. (2004). ¿Al encuentro o en persecución?: influencia de las primeras modelizaciones sobre la interpretación de resultados. *Memorias VII Simposio de Investigación en Educación en Física*. Santa Rosa, Argentina.

Massa, M., D'Amico, H. & Llonch, E. (2008). Is it an encounter or a persecution between two moving bodies? How initial models in problem solving influence results interpretation. *GIREP 2008 International Conference*. Nicosia, Chipre.

Massa, M., Llonch, E. & Sánchez, P. (2001). El "encuentro" como heurístico de resolución. *Memorias XII. Reunión Nacional de Educación en Física*. Buenos Aires, Argentina.

Massa, M., Llonch, E. & D'Amico, H (2005). La modelización de un problema de "encuentro" desde la perspectiva del estudiante: un estudio de caso. *Memorias XIV Reunión Nacional de Educación en Física*. Bariloche, Argentina.

Massa, M., Sanchez, P. & Llonch, E. (2001). El modelado situacional como elemento clave en la resolución de problemas. *Memorias Encuentro Nacional de Profesores de Física* (pp. 301- 310). Córdoba, Argentina.

Massa, M., Sánchez, P., Llonch, E. & D'Amico, H. (2000). Modos de comprensión lectora de enunciados de problemas. *Actas III Encontro Internacional sobre aprendizagem significativa* (pp.379 – 382). Peniche, Portugal.

Maturano, C., Mazzitelli, C. & Macías, A. (2006). ¿Cómo los estudiantes regulan la comprensión cuando leen un texto instructivo con dificultades? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5(2).

Mayer, R. & Hegarty, M. (1996). The process of understanding Mathematical Problems. En Sternberg R., Ben-Zeev. T. (eds.). *The Nature of Mathematical Thinking*. N.J : Erlbaum.

Ministerio de Educación de la Nación Argentina (2006). Ley de Educación Nacional N° 26.206.

Morrison, M. & Morgan, M. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Ideas in Context, 52. Cambridge: Cambridge University Press.

Mortimer, E. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), 67-82.

Mulhall, W & Massa, M. (1987). La construcción de modelos como base para generar la estructura conceptual de una teoría física. *Memorias Quinta Reunión Nacional de Educación en la Física* (pp.394-400). Mar del Plata, Argentina.

- Neto, A. & Valente, M. O. (2001). Disonancias pedagógicas en la resolución de problemas de Física: una propuesta para su superación de raíz vygotskiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 21-30.
- Newell, A. (1980). Physical Symbol System. *Cognitive Science*, 4 (2), 135-183.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1964). *Information processing systems*. Working Paper, 76. Carnegie: Institute of Technology.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs. N. J.: Prentice Hall.
- Oñorbe de Torre, A. & Sánchez Jiménez, J. M. (1996). Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de los problemas de Física y Química. I. Opiniones de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 165 - 170.
- Perales, F.J. (2000). *Resolución de problemas*. Madrid: Síntesis Educación.
- Petrucci, D., Ure, J. & Salomone, H. D. (2006). ¿Cómo ven a los trabajos prácticos de laboratorio de física los estudiantes universitarios? *Revista de Enseñanza de la Física*, 19 (1), 7-20.
- Posner, M. (1998). *Foundations of Cognitive Science*. Massachusetts: Mit Press.
- Pozo, J. I. (1994). *La solución de problemas*. Madrid: Santillana.
- Pozo, J.I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid : Visor.
- Pozo, J.I. (1996). La psicología cognitiva y la educación científica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2), 110-131.
- Quivy, R. & Van Campenhoudt, L. (1998). *Manual de Investigaciones en Ciencias Sociales*. México: Editorial Limusa.

Ramírez Castro, J. L., Gil Pérez, D. & Martínez Torregrosa, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación*. Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones.

Resnick, R. & Halliday, D. (1980). *Física*. (Vol. 1). México: Compañía Editorial Continental S.A.

Rubinstein, J. & Tignanelli, H. (1999). *Física I*. Argentina: Angel Estrada y Cía. S.A.

Ryder, J. & Leach, J. (2000). Interpreting experimental data: the views of upper secondary school and university science students. *International Journal of Science Education*, 22(10), 1069-1084.

Salinas de Sandoval, J. & Colombo de Cudmani, L. (1992). Los laboratorios de Física de Ciclos Básicos Universitarios Instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), 10-16.

Salinas de Sandoval, J., Gil Pérez, D. & de Cudmani, L.C. (1995a). La elaboración de estrategias educativas acordes con un modo científico de tratar las cuestiones. *Memorias IX Reunión Nacional de Educación en Física* (pp. 336-349). Salta, Argentina.

Salinas de Sandoval, J., Gil Pérez, D. & de Cudmani, L. (1995b). ¿Cómo adecuar las estrategias educativas a los requerimientos de modelos de aprendizaje basados en psicologías constructivistas? *Memorias IX Reunión Nacional de Educación en Física* (pp. 350-362). Salta, Argentina.

Sanchez, P. (2011). Las representaciones mentales en la resolución de problemas de Mecánica Clásica. *Tesis Doctoral*. Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación, Facultad de Psicología, UNED. España.

Sánchez, P., Massa, M. & Rosolio, A. (2008). A problem with different solutions: a study of university students' modeling and reasoning. *GIREP 2008 INTERNATIONAL CONFERENCE*. Nicosia, Chipre.

Sanjosé, V., Solaz-Portolés, J. & Valenzuela, T. (2009). Transferencia inter-dominios en resolución de problemas: Una propuesta instruccional basada en el proceso de traducción algebraica. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), 169–184.

Sassi, E. (2001). Computer supported lab-work in Physics Education: advantages and problems. En R. Pinto and S. Surinach (eds), *Physics teacher education beyond 2000*. Paris: Elsevier.

Savelsberg, E., De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. (2002). Situational Knowledge in Physics: The case of Electrodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (10), 928-951.

Savinainen, A. & Scott, P. (2002a). The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. *Physics Education*, 37, 45-52.

Savinainen, A. & Scott, P. (2002b). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37, 53-58.

Scancich, M., Yanitelli, M. & Massa, M. (2008a). De los problemas de lápiz y papel a las situaciones experimentales: obstáculos que se pueden presentar durante su resolución. *Memorias IX Simposio de Investigacion en Educacion en Fisica*. Rosario, Argentina.

Scancich, M., Yanitelli, M. & Massa, M. (2008b). De los problemas de lapiz y papel a las situaciones experimentales en el contexto de la mecánica newtoniana. *Actas II Jornadas de Ciencia y Tecnología. UNR* (pp. 367-370). Rosario, Argentina.

Scancich, M., Massa, M. & Yanitelli, M. (2009a). Análisis comparativo sobre el uso del lenguaje en la resolución de problemas de lápiz-papel y de laboratorio. *Memorias X Conferencia Inter Americana de Educación en Física CIAEF*. Medellín, Colombia.

Scancich, M., Yanitelli, M. & Massa, M. (2009b). ¿Cómo orientan los estudiantes su razonamiento al abordar un problema de lápiz y papel en el contexto de la mecánica newtoniana. *Memorias XVI Reunión Nacional de Educación en Física*. San Juan, Argentina.

Scancich, M., Yanitelli, M. & Massa, M. (2009c). Acerca de la efectividad de una práctica de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias, VIII Congreso*, 213-217.

Schmidt, R. (1995). Consciousness and foreign language learning: A tutorial on attention and awareness in learning. En Schmidt, R. (Ed). *Attention and awareness in foreign language learning*, 1-63. Honolulu, HI: University of Hawaii, National Foreign Language Resource Center.

Scholnick, E. & Friedman, S. (1987). The planning construct in the Psychological literature. En Friedman, S., Scholnick, E., Cocking R. (Eds.). *Blueprints for Thinking: The role of planning in cognitive development*. Cambridge: University Press.

Séré, M. G. (2002a). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 357-368.

Séré, M. G. (2002b). Towards Renewed Research Questions from the Outcomes of the European Project Labwork in Science Education. *Science Education*, 86(1), 624- 644.

Serway, R. (1998). *Física*. (Vol. 1). México: Mc Graw - Hill.

Simon, H. (1978). Information-processing Theory of Human Problem Solving, En W. K. Estes (Ed.). *Handbook of Learning and Cognitive Processes* (Vol. 5, pp. 271-295). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

Solano, I., Jiménez-Gómez, E. & Marín, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de lo que el alumno sabe sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 171-188.

Solaz-Portolés, J.J. & Sanjosé, V. (2006). Problemas algorítmicos y conceptuales: Influencia de algunas variables instruccionales. *Educación Química*, 17(3), 372-378.

Solaz-Portolés, J. & Sanjosé López, V. (2007a). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1).

Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2007b). Cognitive variables in science problem solving. *Journal of Physics Teacher Education on Line*, 4(2), 25-32.

Solsona, N., Izquierdo, M. & Gutierrez, R. (2000). El uso de razonamientos causales en relación con la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 15-23.

Stake, R. (1995). *The art of case research*. CA: Sage Publications.

Stewart, J. & Hafner, R. (1991). Extending the conception of «problem» in problem-solving research. *Science Education*, 75(1), 105-120.

Taylor, S. & Bogdan, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados*. Buenos Aires: Paidós.

Tipler, P. & Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología*. (Vol. 1). Barcelona: Reverté.

Valdés Castro, P. & Valdés Castro, R. (1999). Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 521-531.

Vallés, M. (1997). *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid: Síntesis.

Vasconcelos, C., Lopes, B., Costa, N., Marques, L. & S. Carrasquinho (2007). Estado da arte na resolução de problemas em Educação em Ciência. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências*, 6(2), 235-245.

Vásquez, S., Bustos, P., Núñez, G. & Mazzitelli, C. (2004). Planteo de situaciones problemáticas como estrategia integradora en la enseñanza de las ciencias y la tecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 73-85.

Vázquez Bernal, B., Jiménez Pérez, R., Mellado Jiménez, V., Martos Carrasco, M. & Taboada Leñero, C. (2006). Evolución de la reflexión y práctica de aula en la resolución de problemas. El caso de dos profesoras de ciencias de secundaria. *Campo Abierto*, 25(1), 135-154.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.

Watt, D. M. & Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16(6), 360-365.

Yanitelli, M., Rosolio, A. & Massa, M. (2003). Mecánica de los cuerpos rígidos. Un experimento de laboratorio asistido por ordenador. *Memorias XIII Reunión Nacional de Educación en Física*. Río Cuarto, Argentina.

Yanitelli M., Rosolio A. & Massa, M. (2004). La práctica experimental como generadora de ideas para la asimilación de nueva información. *Memorias VII Simposio de Investigación en Educación en Física* (pp. 171-178). Santa Rosa, Argentina.

Yanitelli, M., Rosolio, A. & Massa, M. (2005). Estudio de una colisión entre dos cuerpos rígidos. Un experimento de laboratorio con ordenador. *Memorias XIV Reunión Nacional de Educación en Física*. Bariloche, Argentina.

Yanitelli, M., Scancich, M. & Massa, M. (2010). Un experimento asistido por un sistema informático. Una indagación de relaciones conceptuales en el estudio del movimiento sobre una pista de aire. *Memorias X Simposio de Investigación en Educación en Física*. Posadas, Argentina.

ANEXOS

ANEXO I

Matriz de datos correspondiente a las categorías y modalidades encontradas en la Primera Fase de la investigación

ENUNCIADO DE CONDICIONES DE TRABAJO				REPRESENTACIÓN DE FUERZAS			LENGUAJE					PROCESOS ASOCIADOS A LA RESOLUCIÓN			
MODALIDADES				MODALIDADES			MODALIDADES					MODALIDADES			
	No enuncia condiciones de trabajo	Basadas en elementos concretos	Basadas en datos	Referidas a elementos teóricos	Represen. Avanzada	Represen. de interacc. pares a/r	Represen. incompleta	Académico	Matemático sin cálculo variables	Matemático con cálculo variables	Coloquial	Sin prop. literales	Interpretar mod. subyacente y calcular	Aplicar conceptos y calcular	Aplicar conceptos y principios
A1				X	X			X	X					X	
A2		X			X			X		X (T)			X (a y T)		
A3	X						X			X		X	X		
A4				X			X			X	X			X	
A5	X				X			X		X			X		
A6			X	X			X		X		X			X	
A7	X						X		X			X		X	
A8	X				X				X			X			X
A9		X		X	X			X		X (T)				X	
A10		X		X	X			X		X			X		
A11		X		X	X				X		X			X	
A12	X				X				X			X			X
A13		X		X	X					X	X			X	
A14				X	X			X	X					X	
A15		X	X			X			X		X				X
A16		X				X		X	X					X	
A17		X					X	X	X					X	
A18		X		X	X			X		X			X		
A19	X				X				X			X		X	
A20	X				X					X	X			X	
A21				X			X			X (T)	X			X	
A22		X		X			X	X		X (T)			X (prob con T)		
A23	X						X		X			X		X	
A24	X					X			X			X		X	
A25	X						X		X			X			X
A26			X				X		X		X				X
A27		X	X				X			X (T)	X		X		
A28	X						X		X			X	X (prob con T)		
A29			X							X (T)	X		X		
A30		X		X	X			X		X (T)				X	
A31		X						X	X					X	

ANEXO II

**Guía de Trabajo Práctico utilizada en la Segunda Fase
de la investigación**

LABORATORIO

TRABAJO PRÁCTICO N° 4

ANÁLISIS DE FUERZAS Y MOVIMIENTOS UTILIZANDO UNA PISTA DE AIRE

Segunda ley de Newton del movimiento

Si colocamos un bloque sobre una superficie lisa, sin roce, y le aplicamos sucesivamente varias fuerzas horizontales diferentes, observaremos que las aceleraciones producidas son también diferentes: correspondiendo a mayor fuerza, mayor aceleración. Si, en cambio, aplicamos la misma fuerza a bloques del mismo material pero de diferente masa, las aceleraciones tendrán diferentes valores; correspondiendo a los bloques de mayor masa, las menores aceleraciones.

Se comprobaría también, en todos los casos, que las aceleraciones tendrían la misma dirección y sentido que las fuerzas y sus módulos dependen no solamente de las fuerzas, sino también de la masa del bloque.

Luego, en función de lo expresado, la segunda ley de Newton o Principio de masa, se puede enunciar así:

“La aceleración producida por una o varias fuerzas que obran sobre un cuerpo, es de magnitud proporcional a la resultante de las fuerzas que obran sobre él y de su misma dirección y sentido”

En lenguaje vectorial: $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$; donde, $\Sigma \vec{F}$ es la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo, m es la masa de dicho cuerpo y \vec{a} es su aceleración.

De acuerdo con lo expuesto, reflexiona sobre la cuestión planteada al finalizar la actividad A1 y enuncia tus conclusiones.

A continuación, te proponemos completar el estudio de la segunda ley de Newton analizando el movimiento de un cuerpo de masa m_1 sobre una pista horizontal de aire, que es tirado mediante una cuerda que pasa sobre una polea y que sostiene a otro cuerpo de masa m_2 , tal como muestra la Fig. 3.

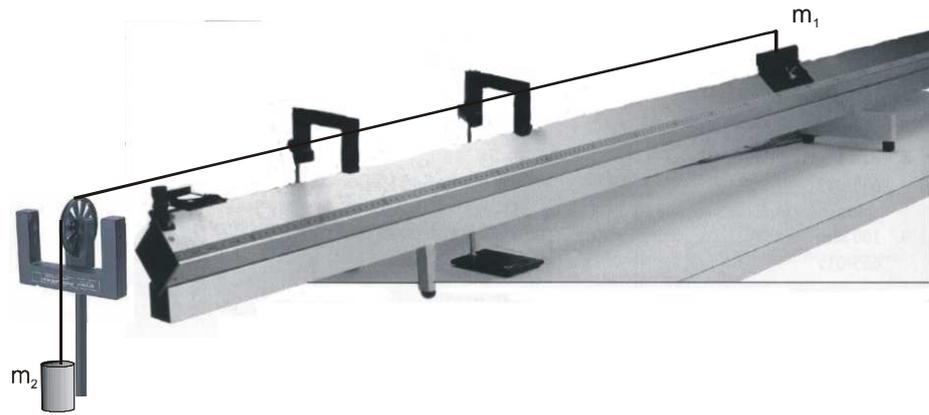


Fig. 3

Materiales a utilizar:

- Pista horizontal de aire
- Planeador
- Polea y sensor
- Masa colgante
- Balanza y set de pesas
- Computadora

Para ello, te sugerimos:

- ✓ Formula todas las hipótesis de trabajo que consideres te orientarán en la explicación del movimiento.
- ✓ Calcula la aceleración del sistema. Para ello verifica la horizontalidad de la pista procediendo de la misma forma que se realizó en la actividad anterior y registra en la Tabla 2 la velocidad de caída de la masa m_2 en función del tiempo.

Tabla 2: Tiempo vs Velocidad de caída

Tiempo (s)	Velocidad de caída (m/s)

Grafica la velocidad de caída de la masa m_2 en función del tiempo para determinar la aceleración a con su correspondiente incerteza.

- ✓ Confecciona el diagrama de cuerpo aislado de ambas masas y calcula la fuerza neta o resultante $m \cdot \bar{a}$ donde m es la masa total que está siendo acelerada. Registra los resultados obtenidos en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados

Análisis de datos

Masa del deslizador $m_1 = \dots\dots\dots$

Masa suspendida $m_2 = \dots\dots\dots$

<i>Aceleración del sistema</i>	
<i>Fuerza neta = ma</i>	
<i>$m_2 \cdot g$</i>	
<i>% Dif.</i>	

De acuerdo a la segunda ley de Newton, cuando se desprecia el rozamiento, la fuerza neta debe ser igual a $m_2 \cdot g$, ¿se cumple esta igualdad en nuestro experimento?. De no ser así, explica cuáles son las razones de esta desigualdad.

Para completar este estudio, ¿es posible conocer el valor de la tensión en la cuerda? ¿cómo es el valor de la tensión en comparación con el valor de la fuerza neta? ¿por qué? ¿cómo es el valor de la aceleración del sistema en comparación con el de la aceleración de la gravedad? ¿por qué?

Enuncia tus conclusiones a partir del análisis de la Tabla 3 y de las respuestas a las preguntas anteriores.

Autores:
 Marta S. Yanitelli
 Alejandra Rosolio
 Miguel Parodi

ANEXO III

**Tablas correspondientes a los protocolos analizados en la
Segunda Fase de la investigación**

Tabla I. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 2 en función de las categorías y modalidades definidas

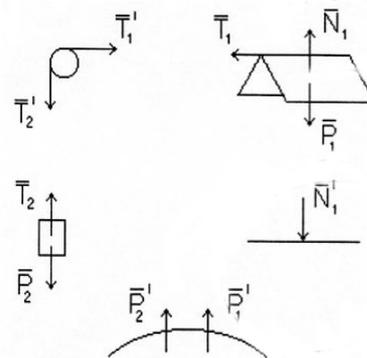
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos concretos	De simplificación: “ <i>Se tiene en cuenta que la polea y la sogá tienen masa despreciable</i> ”
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>- DCA del planeador y del cuerpo colgante con identificación de las fuerzas: \mathbf{P}, \mathbf{N}, \mathbf{T}_1 y \mathbf{T}_2 y sus pares de acción y reacción.</p>  <p>- Inclusión del DCA de la polea con explicitación de las fuerzas sobre la cuerda \mathbf{T}_1 y \mathbf{T}_2 a ambos lados de la misma. - En el DCA, no se incluyó la fuerza de rozamiento del planeador con el aire circundante. La interacción película de aire-planeador se simbolizó con \mathbf{N}. Se estableció la siguiente observación: “...la normal que afecta al planeador representa la reacción del colchón de aire y no de una superficie rígida”.</p>
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>- No se realizó un esquema del dispositivo experimental utilizado sin embargo, en la modelización de la situación problemática se representó el planeador con el formato real.</p> <p>- Se establecieron los datos necesarios para resolver la situación problemática: masa del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas.</p> <p>- Se aplicó el Segundo Principio de Newton en el estudio del movimiento del sistema formado por el planeador y el cuerpo colgante.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema. Se utilizó una metodología gráfica para este cálculo.</p> <p>- En el desarrollo de dicha metodología se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- La fuerza neta obtenida y el peso del cuerpo colgante se compararon por medio del cálculo del porcentaje de discrepancia.</p> <p>- Se calcularon en forma analítica T_1 y T_2, las cuales no se compararon.</p> <p>- En las conclusiones se informó: “... el valor de la tensión es proporcional al de la fuerza neta...” “...la aceleración del sistema es marcadamente menor al de la aceleración de la gravedad, pues el sistema se ve expuesto a diferentes fuerzas que corresponden al móvil, la cuerda y la polea...”</p>

Tabla II. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 3 en función de las categorías y modalidades definidas

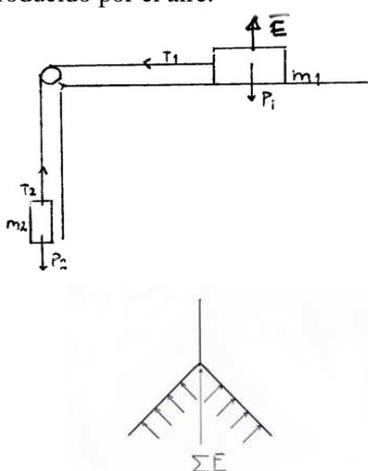
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos concretos	De simplificación: “La polea y la soga intervinientes son de masa despreciable.” “La soga no desliza sobre la polea”
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>- DCA del planeador y el cuerpo colgante, sin incluir el de la polea. Identificación de fuerzas: P, E, T_1 y T_2, donde E es el empuje producido por el aire.</p>  <p>- No se consideró el rozamiento con el aire que rodea al planeador, sin embargo, se consignó: “el empuje que materialicé como fuerza E que produce el aire a presión que sale de la pista y hace levitar el planeador, es aplicado perpendicularmente sobre las dos alas del planeador, lo que sería la resultante de todos los empujes perpendiculares a las placas oblicuas del mismo”</p>
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>- El dispositivo experimental se presentó modelizado. Se recurrió a una representación similar a la consignada en el problema de lápiz y papel.</p> <p>- Se establecieron, por mediciones directas, los datos necesarios: masa del cuerpo colgante y del planeador.</p> <p>-Se planteó el Segundo Principio de Newton en el movimiento del sistema formado por el planeador y el cuerpo colgante.</p> <p>- Se calculó gráficamente la aceleración del sistema.</p> <p>- Comparación de los valores de aceleración obtenidos analítica y gráficamente.</p> <p>-Se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- La fuerza neta obtenida y el peso del cuerpo colgante se compararon por medio del cálculo del porcentaje de discrepancia.</p> <p>- Se procedió, en forma analítica, al cálculo de los módulos T_1 y T_2. Se explicitó: “... los módulos de ambas tensiones T_1 y T_2, son iguales dado las consideraciones formuladas anteriormente...”</p> <p>-En las conclusiones se argumentó:” De acuerdo a la Segunda Ley de Newton debería cumplirse que cuando se desprecia el roce con el aire, la F_n debe ser igual a P_2. En el experimento nos aproximamos bastante a esta igualdad, obteniendo un porcentaje de discrepancia con el resultado teórico menor del 0.3%.”</p>

Tabla III. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 4 en función de las categorías y modalidades definidas

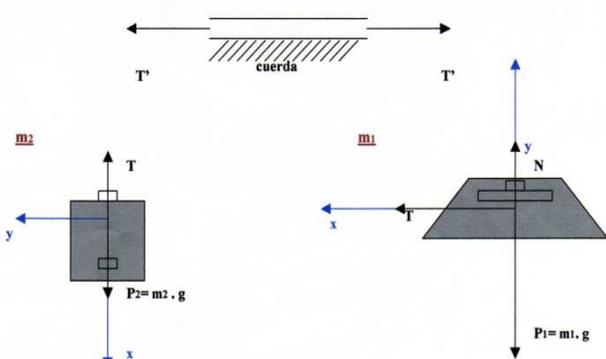
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos teóricos	De simplificación: "...despreciamos el rozamiento del deslizador sobre la pista..."
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>- DCA del planeador, del cuerpo colgante y la soga, identificando las siguientes fuerzas: P, N y T. Se definió el sistema de coordenadas.</p> <p>- No se incluyó el DCA de la polea.</p>  <p>- En el DCA, la interacción aire-planeador se simbolizó a través de la N. Se estableció la siguiente observación: "<i>N es la fuerza que ejerce el aire sobre el planeador.</i>"</p>
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>-No se realizó un esquema del dispositivo experimental utilizado, sin embargo, en la modelización de la situación problemática se representó el planeador teniendo en cuenta su forma real.</p> <p>-Se obtuvo las masas del cuerpo colgante y del planeador a través de mediciones directas.</p> <p>- Se planteó el Segundo Principio de Newton al sistema formado por el planeador y el cuerpo colgante.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema gráficamente.</p> <p>-Comparación de los valores de aceleración obtenidos analítica y gráficamente</p> <p>- Se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo</p> <p>- La fuerza neta obtenida y el peso del cuerpo colgante se contrastaron por medio del cálculo del porcentaje de discrepancia.</p> <p>- Se calculó el valor de la tensión en la cuerda.</p> <p>- En las conclusiones se incluyó justificación de la discrepancia: "... el valor de la tensión en la cuerda es un poco más pequeño que el de la fuerza neta, esta desigualdad se debe a que el sistema se encontraba acelerado, o sea, que si no lo hubiese estado, el cuerpo colgante de masa m_2 habría estado en equilibrio y así la fuerza neta habría sido igual a la tensión de la cuerda..."</p> <p>"...alguna fuerza residual generada por la pista o por el cuerpo de masa m_1 podría haber afectado esta desigualdad entre la aceleración del sistema y el de la gravedad".</p>

Tabla IV. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 5 en función de las categorías y modalidades definidas

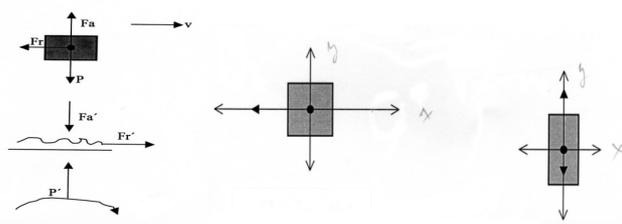
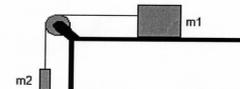
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos teóricos	De simplificación: “...despreciamos la fuerza que realiza el rozamiento viscoso...”
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>-DCA del planeador y la masa colgante identificando: \mathbf{P}, \mathbf{F}_r, y \mathbf{F}_a. donde \mathbf{F}_r es la fuerza de rozamiento viscoso y \mathbf{F}_a la interacción colchón de aire – planeador. Se indicaron los pares de acción y reacción.</p> <p>- No se incluyó el DCA de la polea.</p>  <p>- Se formuló: “... \mathbf{F}_r, fuerza de rozamiento viscoso, no se incluye en el diagrama de cuerpo libre en acuerdo a la hipótesis de trabajo previamente establecida...”</p> <p>-Se definió el sistema de coordenadas. Se consignaron las fuerzas en el sentido del movimiento.</p>
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>-El dispositivo experimental se presentó modelizado. Se recurrió a una representación similar a la consignada en el problema de lápiz y papel.</p>  <p>- Se consignó: “... la leve inclinación de la pista debido a una mala calibración puede generar una fuerza neta diferente...”</p> <p>- Se identificaron la masa del planeador y del cuerpo colgante.</p> <p>- Se planteó el Segundo Principio de Newton.</p> <p>- Se calculó la aceleración del sistema gráficamente incluyéndose tablas y gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>-La fuerza neta obtenida y el peso del cuerpo colgante se compararon a través del porcentaje de discrepancia.</p> <p>-Se determinó el valor de T.</p> <p>-Se concluyó: “... se aprecia que la fuerza neta es mayor que la tensión. Esto se debe a que la fuerza neta es la fuerza resultante del sistema y se acerca en su valor al del peso de la masa que cae. Si el valor de la tensión fuera igual al del peso, entonces se anularían dado que tensión y peso tienen sentido contrario, por lo tanto el sistema se mantendría en equilibrio...”, “...se pueden disminuir las influencias como el roce estático y dinámico y pasar a un roce por viscosidad. Este es menor al roce dinámico, con lo cual las condiciones del sistema se asemejan más a las ideales. El roce estático y dinámico disminuyen por el colchón de aire que hay entre la pista y el deslizador...”, “...en el cálculo de la aceleración del sistema se incluyen distintas fuerzas de distintas direcciones y valores, por lo que la aceleración de la gravedad será mucho mayor que la aceleración del sistema...”</p>

Tabla V. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 6 en función de las categorías y modalidades definidas

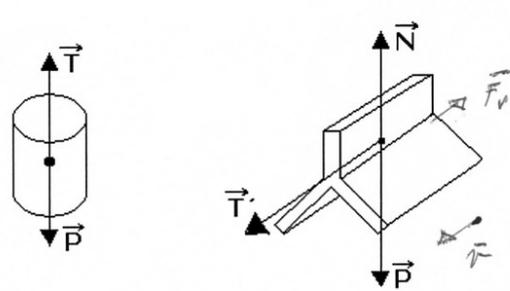
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basadas en elementos teóricos	<p>De simplificación:- “ La fuerza de rozamiento entre el planeador y la pista sería despreciable.” “El momento de inercia de la polea podría considerarse nulo”</p> <p>- “El cuerpo de masa m_2 (pesa suspendida) ejercería una fuerza sobre la cuerda, la polea cambia la dirección de dicha fuerza y finalmente la misma actuaría sobre el planeador (de masa m_1) produciendo que éste último se acelere horizontalmente”</p> <p>- “La fuerza (peso) que ejerce la masa suspendida sería constante, lo cual produce una aceleración constante en el planeador”</p>
Representación de fuerzas	Representación incompleta	<p>- Se construyó el DCA del planeador y del cuerpo colgante. Se identificaron las fuerzas: N, P y T.</p>  <p>-La interacción aire-planeador se simbolizó a través de la N.</p>
Procesos asociados a la resolución	Aplicar conceptos y calcular	<p>-No se realizó un esquema del dispositivo experimental utilizado. Se representó el planeador y el cuerpo colgante teniendo en cuenta su forma real.</p> <p>- Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador a través de mediciones directas.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica.</p> <p>- Se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo</p> <p>- La fuerza neta obtenida y el peso del cuerpo colgante se contrastaron por medio del cálculo del porcentaje de discrepancia.</p> <p>- Se calculó el valor de la tensión en la cuerda a través de la diferencia entre el peso del cuerpo colgante y la fuerza neta, si bien debería haberse efectuado la diferencia entre el peso y el producto de la masa del cuerpo colgante y la aceleración del sistema.</p> <p>- En las conclusiones se explicitó: “...de acuerdo con la Segunda ley de Newton, la fuerza neta es igual a $m_2 g$ cuando se puede despreciar el rozamiento. En este caso la igualdad no se cumple. Esto se puede deber a que el rozamiento del planeador y el colchón de aire y el momento de inercia de la polea no pueden ser despreciados...” “... en comparación con el valor de la fuerza neta, el valor de la tensión es mucho menor... El valor de la aceleración del sistema es un poco menor al de la aceleración de la gravedad; esto se debe al rozamiento y al momento de inercia de la polea...”</p>

Tabla VI. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 7 en función de las categorías y modalidades definidas

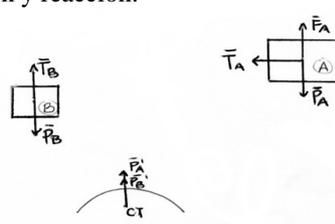
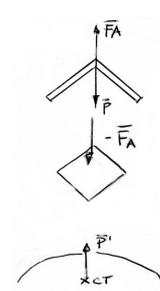
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	No enuncia condiciones de trabajo	
Representación de fuerzas	Representación incompleta	<p>-DCA del planeador (A) y del cuerpo colgante (B). Se identificaron las fuerzas: F_a, P y T. Se indicaron algunos pares de acción y reacción.</p>  <p>-No se incluyó el DCA de la polea. -La interacción aire-planeador se simbolizó a través de la fuerza F_a. Se explicitó: “F_a: fuerza del aire; T: tensión de la cuerda: $T_B = T_A$”.</p>
Procesos asociados a la resolución de problemas	Aplicar conceptos y calcular	<p>- Se incluyó una vista frontal del planeador suspendido sobre la pista de aire. Se representaron F_A y P con los pares de acción y reacción.</p>  <p>-Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador. - Se calculó la aceleración del sistema incluyendo tablas y gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo. - Se calculó la fuerza neta utilizando la masa del deslizador y la aceleración del sistema y la fuerza peso del cuerpo colgante. - Se calculó el porcentaje de discrepancia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante. Se explicitó: “...la fuerza neta del sistema no es igual a la fuerza peso del cuerpo colgante pero se aproxima lo suficiente. Esta diferencia surge porque no se consideran otras fuerzas externas actuantes... Dentro de las fuerzas externas a considerar podemos mencionar a la de roce con la polea y la resistencia viscosa con el aire.” - Si bien no se calculó el valor de la tensión, se consignó: “...el valor de la tensión es igual a la masa del deslizador por la aceleración del sistema. De esta manera vemos que el valor de la tensión es proporcional a la fuerza neta” “...el valor de la aceleración del sistema que obtuvimos es diferente al de la aceleración de la gravedad. Con esto dedujimos que otras fuerzas actuaban sobre el sistema, en este caso la tensión de la cuerda, la fuerza viscosa del aire y de rozamiento...”</p>

Tabla VII. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 8 en función de las categorías y modalidades definidas

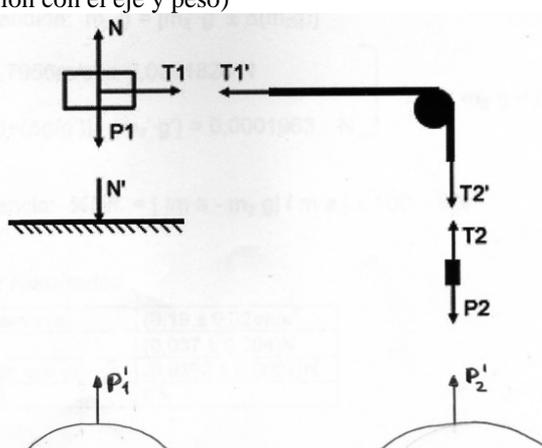
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	Basados en elementos concretos	De simplificación: “El piolín que une ambas masas es inextensible y de masa despreciable.” “La polea posee masa despreciable y no permite el deslizamiento del piolín”
	Basadas en elementos teóricos	De simplificación: “La fuerza de roce entre el deslizador y la pista es aproximadamente nula”
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>-Se construyó el DCA del planeador y del cuerpo colgante. Se identificaron las siguientes fuerzas: N, P y T.</p> <p>- Se incluyó el DCA de la polea, pero incompleto (ausencia de reacción con el eje y peso)</p>  <p>-En la interacción planeador-pista de aire no se consideró el colchón de aire.</p> <p>- Se indicaron los correspondientes pares de acción-reacción.</p>
Procesos asociados a la resolución	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>-El dispositivo experimental se presentó modelizado. Se recurrió a una representación similar a la consignada en el problema de lápiz y papel.</p> <p>-Se determinaron las masas del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica.</p> <p>- En el desarrollo de dicha metodología se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- Se calculó el módulo de la fuerza neta utilizando la masa total y la aceleración del sistema y el módulo de la fuerza peso del cuerpo colgante.</p> <p>- Se determinó el porcentaje de discrepancia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante. Explicitaron: “...se trata de verificar que este modelo teórico es válido...”</p> <p>- Se calculó el valor de la tensión en la cuerda</p> <p>-El valor de tensión obtenido derivó en una conclusión errónea, se explicitó: “...con esto comprobamos que el valor de la tensión es ligeramente mayor al de la fuerza neta del sistema...”</p>

Tabla VIII. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 9 en función de las categorías y modalidades definidas

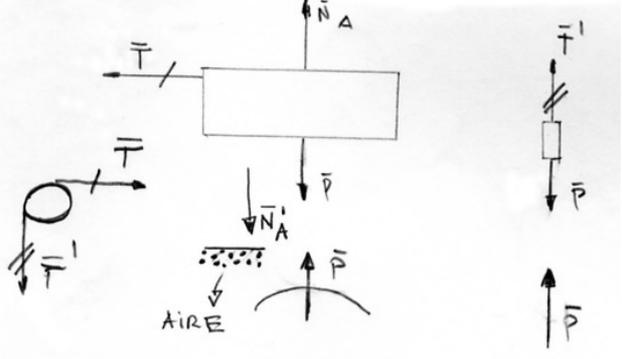
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	No enuncia condiciones de trabajo	
Representación de fuerzas	Representación de interacciones pares de acción-reacción	<p>-Se construyó el DCA del planeador y del cuerpo colgante. Se identificaron las siguientes fuerzas: \vec{N}_A, \vec{P} y \vec{T}. Se indicaron los correspondientes pares de acción y reacción.</p> <p>- Se incluyó el DCA de la polea.</p>  <p>-La interacción aire-planeador se simbolizó a través de la fuerza N_A. Se explicitó: “...hay una fuerza normal que el aire le ejerce al planeador y que es la que se equilibra con el peso del mismo...”</p>
Procesos asociados a la resolución de problemas	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>-El dispositivo experimental se presentó modelizado.</p> <p>-Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica.</p> <p>- Se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- Se calculó el módulo de la fuerza neta utilizando la masa total y la aceleración del sistema y el módulo de la fuerza peso del cuerpo colgante.</p> <p>- Se determinó el porcentaje de discrepancia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante. En las conclusiones se consignó: “La pequeña diferencia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante... se debió a un pequeño roce entre el deslizador y la pista, la masa despreciable de la cuerda”</p> <p>“...la aceleración del sistema es más pequeña que la de la gravedad...”</p> <p>“...el valor de la tensión en la cuerda se obtiene multiplicando el valor de la aceleración del sistema por la masa de cuerda, que al ser esta despreciable, el valor de la tensión también será despreciable...”</p>

Tabla IX. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 10 en función de las categorías y modalidades definidas

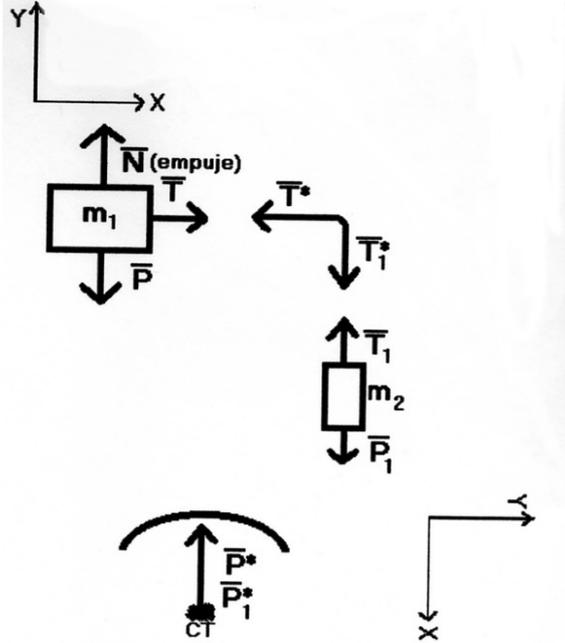
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	No enuncia condiciones de trabajo	
Representación de fuerzas	Representación avanzada	<p>-Se construyó el DCA del planeador y del cuerpo colgante. Se identificaron las siguientes fuerzas: \bar{N}, \bar{P} y \bar{T}. - No se incluyó el DCA de la polea.</p>  <p>-La interacción aire-planeador se simbolizó a través de la fuerza \bar{N}. - Se indicaron los correspondientes pares de acción y reacción. -Se definió el sistema de coordenadas.</p>
Procesos asociados a la resolución de problemas	Interpretar modelo subyacente y calcular	<p>- El dispositivo experimental se presentó modelizado. -Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas. - Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica. - En el desarrollo de dicha metodología se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo. - Se calculó el módulo de la fuerza neta utilizando la masa total y la aceleración del sistema y el módulo de la fuerza peso del cuerpo colgante. - Se determinó el porcentaje de discrepancia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante. - En las conclusiones se consignó: "...el valor de la tensión en la cuerda es menor que el de la fuerza neta porque al tener roce el deslizador, la aceleración del cuerpo colgante se ve disminuida por estar vinculada por una cuerda al deslizador..." "... la aceleración del sistema es menor al de la gravedad..."</p>

Tabla X. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 11 en función de las categorías y modalidades definidas

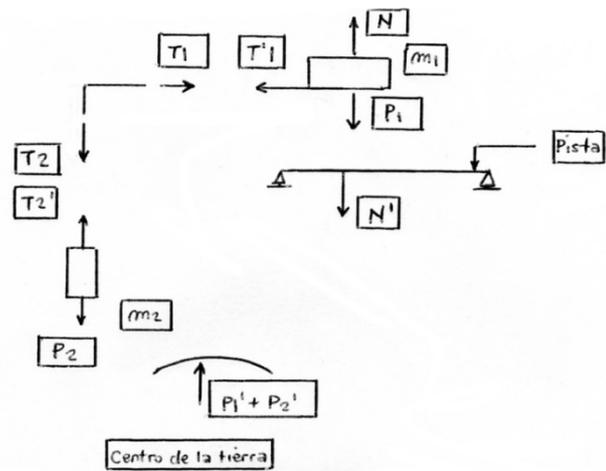
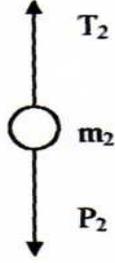
CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	No enuncia condiciones de trabajo	
Representación de fuerzas	Representación incompleta	<p>-Se construyó el DCA del planeador y del cuerpo colgante. Se identificaron las siguientes fuerzas: N, P y T.</p> <p>- No se incluyó el DCA de la polea, si bien no hay un indicio de su presencia al dibujar las variaciones en la dirección de la cuerda.</p>  <p>-La interacción aire-planeador se simbolizó a través de la fuerza N.</p> <p>- Se indicaron los correspondientes pares de acción y reacción.</p>
Procesos asociados a la resolución de problemas	Aplicar conceptos y principios	<p>- El dispositivo experimental se presentó modelizado.</p> <p>- La nivelación de la pista de aire se consideró un aspecto relevante.</p> <p>-Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica.</p> <p>- En el desarrollo de dicha metodología se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- Se calculó el módulo de la fuerza neta utilizando la masa total y la aceleración del sistema y el módulo de la fuerza peso del cuerpo colgante.</p> <p>- Se determinó el porcentaje de discrepancia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante.</p> <p>En las conclusiones se explicitó: <i>“La pequeña diferencia entre la fuerza neta y el peso del cuerpo colgante se debe a: roce entre la pista y el planeador...”</i></p> <p><i>“...el valor de la tensión de la cuerda es prácticamente igual al de la fuerza neta porque la cuerda sólo transmite la fuerza, en condiciones ideales...”</i></p> <p><i>“...el valor de la aceleración del sistema es inferior al de la aceleración de la gravedad, porque no es una caída libre...”</i></p>

Tabla XI. Síntesis de contenidos identificados en el protocolo del Grupo 12 en función de las categorías y modalidades definidas

CATEGORIAS	MODALIDADES	SINTESIS DE CONTENIDOS INCLUIDOS EN LOS PROTOCOLOS
Enunciado de condiciones de trabajo	No enuncia condiciones de trabajo	
Representación de fuerzas	Representación incompleta	<p>-Se construyó el DCA del cuerpo colgante. Se identificaron las siguientes fuerzas: P y T.</p> <p>- No se incluyó el DCA de la polea.</p>  <p>El diagrama muestra un círculo que representa un cuerpo colgante. Una línea vertical con una flecha hacia arriba está etiquetada como T_2. Una línea vertical con una flecha hacia abajo está etiquetada como P_2. El círculo mismo está etiquetado como m_2.</p>
Procesos asociados a la resolución de problemas	Aplicar conceptos y principios	<p>-Se establecieron las masas del cuerpo colgante y del planeador. Estos se obtuvieron a través de mediciones directas.</p> <p>- Se procedió al cálculo de la aceleración del sistema a través de una metodología gráfica.</p> <p>- Se incluyeron tablas y representaciones gráficas de velocidad y aceleración en función del tiempo.</p> <p>- Se calculó el módulo de la fuerza neta utilizando la masa total y la aceleración del sistema y el módulo de la fuerza peso del cuerpo colgante.</p> <p>En las conclusiones se consignó: “...en el experimento no se cumple que la fuerza neta sea igual al peso del cuerpo colgante, debido a que la roldada, por más pequeña que sea, ejerce una fuerza sobre el sistema, además del rozamiento con el aire, causando una desaceleración del planeador...”</p> <p>“...la tensión de la cuerda es igual a la de la fuerza neta, ya que es la única fuerza interna del sistema...”</p> <p>“...el valor de la aceleración del sistema es prácticamente insignificante comparada con la aceleración de la gravedad, lo cual es correcto dado que nuestro objetivo era lograr que el planeador se desplace con M.R.U...”</p>