



Universidad
Nacional
de Córdoba



FAMAF
Facultad de Matemática,
Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Comprensión y Modelado
en la Resolución de Problemas en Física

Un estudio en Nivel Superior

María Elena Truyol

Directores: Dra. Zulma Gangoso, Dr. Vicente Sanjosé Lopez

Octubre de 2012

Comprensión y Modelado
en la Resolución de Problemas en Física
Un estudio en Nivel Superior

por María Elena Truyol

**Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física como parte de los
requerimientos para la obtención del grado de Doctor en Física de la
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

Octubre de 2012

© FaMAF – UNC

Directores: Dra. Zulma Gangoso y Dr. Vicente Sanjosé López

*A mis padres, por el
cariño, el ejemplo y
el sostén cotidiano.*

AGRADECIMIENTOS

Es sumamente difícil poder sintetizar el agradecimiento a tanta gente por tantos años de apoyo y compañía. En un intento de organización voy a mencionarlos desde lo general a lo particular.

Quiero agradecer a toda la comunidad de Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba y del Instituto de Física Enrique Gaviola dependiente del CONICET: profesores, alumnos, personal administrativo y personal no docente. La gran disposición de cada uno de ellos ha permitido que esta Tesis sea realizada, constituyéndose en una de las pocas que han podido desarrollar estudios a nivel de enseñanza superior universitaria. Un agradecimiento especial para todos aquellos docentes, estudiantes de licenciatura y doctorado que colaboraron gentilmente para la realización de esta investigación.

A los miembros de la Comisión Asesora: Dra. Silvia Urreta, Dr. Gustavo Monti y Dr. Alberto Gattoni, por su acompañamiento y su presencia en estos años.

A una gran cantidad de gente que a lo largo de este camino, y con gran generosidad, me aportó su visión y su conocimiento: Dra. Isabel Brincones Calvo, Dra. Rufina Gutiérrez, Dr. Marco Antonio Moreira, Dra. Eliane Veit, Dr. Hugo Hamity, Lic. Gladys Ambroggio, Dr. Dean Zollman, Dra. Eugenia Etkina. Seguramente la memoria me traicione y me olvide de alguno, pero gracias a todos por las discusiones enriquecedoras.

A mis compañeros de grupo de hoy y de siempre: Enrique, Laura, Alberto, María Emilia, Susana, Soledad, Teresita. Gracias por dejarme aprender con ustedes y de ustedes.

A la Comisión de Edificio de Fa.M.A.F por reunir a los integrantes de la Oficina 337/338. Algo así como una familia: no nos elegimos y nos tuvimos que aceptar. Pasamos por muchas etapas, pero las superamos y salimos fortalecidos. Nos conocimos. Y al igual que una familia, a pesar de todo aun nos seguimos eligiendo para compartir los almuerzos o algún descanso lúdico alrededor de nuestra preciada mesa. Por orden de llegada: Lucas, María, Mariana, Mario, Ivan, Gabriela, Andrea. Las últimas incorporaciones: Erika y Jorge. Los invitados de siempre: Marisa, Marianela y Guillermo. Sin dudas los mejores recuerdos. Volvería a elegir compartir este tiempo con cada uno de ustedes. Gracias amigos.

A mis directores. A Zulma por creer y confiar en mi capacidad, por sus aportes certeros y su visión crítica. Gracias por permitirme crecer de manera autónoma, muchas veces en contra de mi voluntad. Gracias por el cariño de tantos años. A Vicente por sus constantes aportes, desde una distancia acortada por la tecnología. Es mucho lo que aprendí de ellos, más allá de lo que pueda haber quedado reflejado en estas hojas.

A todos mis amigos y familia, por el inmenso cariño y comprensión de siempre. Espero ser merecedora de tanto.

A mis padres: Filo y Roberto, por su amor incondicional. Por su ejemplo de trabajo, tenacidad y compromiso sin el cual nada de esto hubiera sido posible. Gracias por acompañarme siempre. Gracias por confiar en mí. Los quiero y admiro.

A todos y a cada una de las personas que de una u otra manera han contribuido en mi formación personal. Gracias por formar parte de mi vida.

Y como dijo un filósofo contemporáneo: "Agradezco agradecer" (Alberto Gattoni).

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 2: MOTIVACIÓN	9
2.1 El problema de fracaso y abandono en la Universidad.....	10
2.1.1 El contexto general.....	10
2.1.2 El caso de la Física en la Universidad Nacional de Córdoba	13
2.2 La formación profesional en el siglo XXI	14
2.2.1 El contexto general.....	14
2.2.2 El caso de la Física.....	16
2.3 La contribución de la investigación en Resolución de Problemas en Física.....	23
CAPÍTULO 3: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	25
3.1 De la motivación original al problema de investigación	26
3.2 Una primera conceptualización del problema	27
3.3 Objetivos	29
3.4 Preguntas de investigación.....	29
CAPÍTULO 4: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	31
4.1 Sobre la Resolución de Problemas en Física.....	32
4.2 Sobre el proceso de Resolución de Problemas en Física.....	37
4.2.1 Sobre los tipos de representaciones construidas en el proceso	38
4.2.2 Sobre la habilidad de construcción de representaciones.....	43
4.2.3 Sobre el modelado del proceso de Resolución de Problemas en Física.....	48
4.3 Sobre la tarea en la Resolución de Problemas en Física	54
4.3.1 Sobre el rol de los modelos disciplinares en la Resolución de Problemas en Física.....	54
4.3.2 Sobre tipos de enunciados de problemas	57
CAPÍTULO 5: MARCO TEÓRICO	61
5.1 El Modelo para la Comprensión de Problemas en Física.	62
5.1.1 La génesis	62
5.1.2 La Resolución de Problemas como proceso de modelado	66
Las distintas representaciones propuestas.....	67
- Modelo de la Situación	68
- Modelo Físico Conceptual	68
- Modelo Físico Formalizado.....	69
El proceso.....	71
5.2 Tipología para la clasificación de enunciados de Problemas en Física.	74
CAPÍTULO 6: PRELIMINARES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	77
6.1 Hipótesis de trabajo	78
6.2 Estudio sobre características de enunciados utilizados en la instrucción.	79
6.2.1 Metodología	80
Muestra.....	80
Análisis de Registros	80
6.2.2 Resultados	81
6.2.3 Análisis de Resultados	86
6.2.4 Conclusiones.....	88
6.3 Construcción y validación de enunciados experimentales.	88
6.3.1 Metodología	89
Construcción de enunciados experimentales	89
Muestra.....	90
Entrevistas de resolución	91

Análisis de registros	91
6.3.2 Resultados para tiempos y cantidad de acciones.....	96
Tiempo empleado por tipo de acción	96
Cantidad de acciones por tipo	97
6.3.3 Resultados para porcentajes sobre el total de <i>tiempos y cantidad de acciones</i>	98
Porcentaje de tiempo sobre el total	98
Porcentaje de acciones sobre el total	100
6.3.4 Patrones descriptivos de los procesos de resolución según el tipo de problema	102
6.3.5 Análisis de Resultados	108
6.3.6 Conclusiones.....	110
6.4 Estudios complementarios	111
6.4.1 Sobre diferencias en cuanto al nivel de instrucción formal	111
Resultados.....	112
Análisis de resultados y conclusiones	119
6.4.2 Sobre diferencias en cuanto al tópico	120
Resultados.....	121
Análisis de resultados y conclusiones	123
CAPÍTULO 7: DISEÑO EXPERIMENTAL.....	125
7.1 Hipótesis de trabajo	126
7.2 Metodología	127
7.2.1 Construcción del Instrumento	127
7.2.2 Pruebas de Resolución de Problemas	128
7.2.3 Análisis de Registros	128
7.2.4 Muestra	131
7.2.5 Resguardos metodológicos	134
7.3 Resultados y Análisis.....	138
7.3.1 Resultados sobre la muestra completa de estudiantes.....	138
Descripción de la muestra.....	138
Comparación entre desempeños.....	140
Desempeños y <i>Año de Carrera</i>	141
Desempeños y <i>Grupo Temporal</i>	142
7.3.2 Análisis de resultados sobre la muestra completa de estudiantes	142
7.3.3 Resultados por grupos según nivel de instrucción	146
Descripción de las submuestras.....	147
Comparación entre desempeños.....	149
Desempeños y <i>Grupo Temporal</i>	151
<i>Grupo temporal y Año de Carrera</i> , a desempeño fijo	154
7.3.4 Análisis de resultados por grupos según nivel de instrucción	155
7.4 Conclusiones	157
CAPÍTULO 8: CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS.....	161
8.1 Sobre las preguntas de investigación.....	162
8.2 Implicaciones para la instrucción.....	166
8.3 Perspectivas.....	168
CAPÍTULO 9: ANEXOS.....	171
9.1 Enunciados experimentales.....	173
9.1.1 Mecánica	173
9.1.2 Electricidad	174
9.2 Ejemplo de registro unificado de entrevistas.....	175
9.3 Ejemplo de cuadernillo.....	186
CAPÍTULO 10: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191

RESUMEN

La presente investigación integra y avanza sobre estudios teóricos y desarrollos metodológicos de las áreas de Resolución de Problemas, Comprensión y Modelado. Se construye un marco que permite interpretar algunos rasgos de los fenómenos de éxito y permanencia en el pasaje del ciclo básico al ciclo superior en una carrera de Física. Se refina un modelo cognitivo para la Resolución de Problemas en Física y se obtienen muestras de su coherencia y viabilidad. Con estos lineamientos teóricos se elaboran enunciados de problemas y se caracterizan procesos de resolución generados por diferentes tipos de enunciados. Se construye un instrumento con el que se evalúa desempeño de estudiantes en término de habilidades de modelado desarrolladas durante la instrucción y se compara con el desempeño medido en términos tradicionales de acreditación. Los resultados permiten orientar diseños instruccionales que favorezcan el desarrollo de habilidades de modelado necesarias para articular el pasaje entre ciclo básico y ciclo superior.

Capítulo 1: Introducción

La Resolución de Problemas es una actividad central en la mayoría de los cursos de Física y objeto de estudio desde hace mucho tiempo. Sin embargo, la investigación en esta área no ha arrojado hasta el momento resultados que incidan notoriamente en las aulas para mejorar el desempeño de los estudiantes.

Resolver problemas es de particular interés para la comunidad educativa. Es una actividad que sirve de marco para la comprensión de la disciplina, desde una naturaleza dual. Por un lado se constituye en el medio por el cual es posible alcanzar la comprensión conceptual. Por el otro la Resolución de Problemas es un fin en sí mismo, como proceso de modelado ligado al los procedimientos de construcción científica. El hecho de ser una actividad solicitada en exámenes hace que profesores y estudiantes centren en ella buena parte de su preocupación. De allí la necesidad de encontrar, desde la investigación, caminos que orienten el diseño, implementación y evaluación de esta tarea.

La idea de resolver problemas ha sido durante mucho tiempo casi indistinguible de la noción de pensamiento (Mayer, 1983). Recién avanzada la mitad del siglo XX, desde la psicología cognitiva, se comenzaron a esbozar modelos de estructura cognitiva que permitieron enfocar la mirada en los procesos y productos de la cognición.

En este marco, la investigación desarrollada en la presente Tesis se ha orientado a construir conocimiento que pueda favorecer el diseño de estrategias de enseñanza para aulas de Física. Un supuesto básico de este estudio es que tal construcción necesita estar fundada en algún modelo cognitivo que pueda dar cuenta de la complejidad de los procesos que ocurren durante la resolución de problemas. Se ha pretendido caracterizar aspectos relevantes del proceso de comprensión y resolución de problemas en relación a distintos tipos de enunciados de problemas y con sujetos de distinta experiencia en la tarea de resolución.

En relación a una macro estructura, podría decirse que esta Tesis cuenta con tres partes centrales. Una primera parte de definición del problema de investigación, una segunda parte de revisión bibliográfica y definición del marco teórico y una tercera parte correspondiente a la parte de diseño experimental, presentación y análisis de resultados. Además también se incluye la bibliografía y anexos que complementan y agilizan la lectura.

A lo largo del Capítulo 2 se expone una visión general de la problemática que ha servido de disparadora para esta investigación. Por un lado la cuestión de la deserción y retraso en la universidad y por otro la cuestión de la formación de ciudadanos y profesionales necesarios para actuar según los requerimientos de la comunidad actual. Se concluye con la presentación de la cuestión central de este trabajo que es de qué manera resulta importante la investigación en Resolución de Problemas en Física para realizar aportes en el marco de esta problemática.

En el Capítulo 3 se presenta la reelaboración del problema de investigación. La multiplicidad de los factores relacionados a las problemáticas hace necesaria una delimitación teórica. Tanto el fenómeno de deserción en los estudios superiores como la formación de recursos humanos de calidad son problemáticas cuyo abordaje resulta complejo. En este caso, esta delimitación se plantea desde la contribución que puede realizar la investigación en resolución de problemas en Física en relación al papel que la instrucción en Física tiene en la formación de los sujetos.

A lo largo del Capítulo 4 se presenta una revisión bibliográfica que fue realizada con el objetivo de conocer algunos antecedentes del tema y el estado actual, revisar propuestas y métodos utilizados previamente. Esto permitió determinar el contexto conceptual en el cual se inserta este trabajo, como así también delimitar el marco teórico sobre el proceso de resolución de problemas en física y sobre la tarea de resolución.

En el Capítulo 5 se presenta un modelo teórico que permite dar cuenta de distintos niveles de comprensión para la resolución de problemas de Física. Se propone también una clasificación para los enunciados de los problemas, articulado coherentemente con el modelo de comprensión propuesto. Estas propuestas teóricas constituyen los fundamentos del trabajo experimental realizado.

El Capítulo 6 contiene las tareas iniciales de construcción de un instrumento diseñado para obtener datos sobre las habilidades puestas en juego en la resolución de problemas. Se presentan las hipótesis de trabajo, el estudio realizado para caracterizar los enunciados de problemas de Física que son utilizados en la instrucción a nivel universitaria y el estudio de validación de las diferencias entre enunciados experimentales construidos. Se presentan también algunos estudios complementarios realizados.

En el Capítulo 7 se reportan los resultados obtenidos mediante un diseño experimental realizado a partir de los enunciados validados en el Capítulo 6. El mismo ha generado

evidencias tanto sobre la coherencia de la propuesta teórica presentada en el Capítulo 5 como sobre aspectos relacionados al desempeño de estudiantes de distinto nivel de instrucción formal en Física.

En el Capítulo 8 se presentan las consideraciones finales sobre las preguntas de investigación abordadas en el trabajo. Se discuten algunas implicaciones para la instrucción y se presentan las perspectivas de trabajo futuro.

En el Capítulo 9 se proporciona al lector algunos anexos que complementan la lectura del trabajo. Por último en el Capítulo 10 se proveen las referencias bibliográficas.

Capítulo 2: Motivación

- 2.1 El problema de fracaso y abandono en la Universidad**
 - 2.1.1 El contexto general
 - 2.1.2 El caso de la Física en la Universidad Nacional de Córdoba
- 2.2 La formación profesional en el siglo XXI**
 - 2.2.1 El contexto general
 - 2.2.2 El caso de la Física
- 2.3 La contribución de la investigación en Resolución de Problemas en Física.**

Para comenzar a focalizar el punto de interés que motiva esta investigación, se presenta a lo largo de este capítulo una visión general de la problemática. Por un lado la cuestión de la deserción y retraso en la universidad, los factores asociados y el caso particular de la deserción en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Por otro lado, la cuestión de la formación de ciudadanos y profesionales necesarios para actuar en la comunidad actual, las habilidades requeridas y algunos cánones existentes. Se concluye con la presentación de la cuestión central de este trabajo que es de qué manera resulta importante la investigación en Resolución de Problemas en Física para realizar aportes en el marco de esta problemática.

2.1 El problema de fracaso y abandono en la Universidad

La Resolución de Problemas es sin dudas la tarea más utilizada para evaluar las competencias adquiridas en el aprendizaje de Física, independientemente del nivel educativo considerado. Resolver un problema de Física es un proceso complejo, no lineal que demanda de los estudiantes la activación y desarrollo de habilidades cognitivas específicas que le permitan la comprensión del mismo y la generación de estrategias para su resolución.

En el caso particular del nivel universitario de formación, la importancia del desarrollo de estas habilidades toma un carácter relevante. Esto es así ya que el desarrollo deficiente de estas destrezas podría ser uno de los múltiples factores que contribuyen al problema del fracaso en la Universidad. Esta problemática puede ser evidenciada en las altas tasas de abandono y retraso en las carreras. Más aún, el desarrollo deficiente de estas destrezas podría también afectar el desarrollo laboral de los egresados que deseen insertarse en el campo laboral tanto en el sector científico como en el sector productivo.

Esta problemática no es local, ni se reduce al ámbito de la Física. Como mínimo incluye a carreras de ciencias e ingenierías. Incluso tampoco queda reducida al ámbito universitario. También puede plantearse desde la perspectiva amplia de la enseñanza de las ciencias para profesionales que no actuarán en el campo de la investigación científica o para ciudadanos cuya meta es insertarse plenamente en el ámbito social.

2.1.1 El contexto general

El fenómeno del abandono en los estudios universitarios resulta sumamente preocupante dadas las serias repercusiones que el mismo tiene tanto a nivel personal, institucional y social. A nivel personal es una situación que puede generar frustración en los estudiantes, una sensación de pérdida de tiempo y de desorientación que puede tener un impacto negativo en sus vidas. A nivel institucional, las tasas de abandono o deserción son tenidas en cuenta en muchos estándares de evaluación institucional y, por ende, son utilizados como indicadores de calidad institucional. A nivel social, y en una sociedad en la que la formación universitaria pertenece mayormente al ámbito estatal, los costos generados por estudiantes que emplean mayor tiempo para terminar una carrera es elevado y, más aun, desperdiciado cuando el estudiante no completa ese trayecto de formación.

Como objeto de investigación, resulta un fenómeno complejo, constituido por diversos factores y susceptible de análisis desde distintas perspectivas. Varias son las teorías que intentan explicar este fenómeno. Entre ellos, un modelo de adaptación, en el cual el abandono se explica en relación a una adaptación e integración insuficientes por parte del estudiante al entorno universitario. Un modelo psicopedagógico en el cual se considera una perspectiva más global e integradora en donde las causas de la deserción son relacionadas a estrategias de aprendizaje, calidad de las relaciones estudiantes-universidad, capacidad de sortear obstáculos, habilidad para mantener objetivos a largo plazo, etc. (Cabrera, Tomás, Álvarez y González, 2006).

El fracaso en la universidad ha sido estudiado, en general, en las primeras etapas de las carreras y de este modo vinculado a políticas de articulación con el subsistema medio. El ex secretario de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación, Alberto Dibbern, sostuvo que el mayor esfuerzo es necesario ponerlo en la articulación entre secundario y universidad. Por eso durante su gestión fue implementado un programa que

actualmente cuenta con más de 40.000 tutores que acompañen al estudiante en sus primeros pasos universitarios.

El sistema educativo universitario resulta costoso dadas las altas cifras de estudiantes que no se ven materializadas en las cifras de profesionales graduados. Según el *Anuario de Estadísticas Universitarias. Argentina 2009. Departamento de Información Universitaria, de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), del Ministerio de Educación de la Nación*, a nivel nacional, en universidades públicas se matriculan 23 estudiantes por cada egresado anual. En el caso particular de la Universidad Nacional de Córdoba, este valor aumenta a 37 matriculados por cada egresado.

En cuanto al tipo de profesional que egresa de la universidad, en los últimos años se ha reconocido que el fortalecimiento del sector científico tecnológico es un pilar fundamental para el desarrollo de las naciones. Esto es visto en *Educación Superior en Iberoamérica - Informe 2007* como “un componente esencial del crecimiento y la competitividad de las naciones, especialmente ahora que los países enfrentan la necesidad de incorporarse a la economía global basada en el uso intensivo del conocimiento”. En nuestro país, la cantidad de matriculados en carreras de Ciencias Básicas (Biología, Física, Matemática y Química) por cada egresado resultó de 18. En el caso particular de la Física, también a nivel nacional, por cada 100 matriculados, solo egresan 17. Esta misma situación se da para la Física a nivel de la Universidad Nacional de Córdoba. En esta institución, la mejor situación entre matriculados y graduados la presentó Biología, con 41 egresados cada 100 matriculados en el 2009. Otras carreras importantes para el desarrollo científico tecnológico, además de las Ciencias Básicas, las constituyen las Ingenierías. En este caso, en la Universidad Nacional de Córdoba egresaron 20 ingenieros cada 100 matriculados. El caso de las Ingenierías es incluido no solamente por su relación con el ámbito científico tecnológico, sino también por la considerable cantidad de estudiantes que concentra. Es posible observar en el Gráfico 2.2 que, si consideramos el conjunto de estudiantes de Física, Biología, Química e Ingenierías de la Universidad Nacional de Córdoba, el 60 % de los estudiantes se encontraban matriculados en carreras de Ingenierías, mientras que el 46% de los nuevos inscriptos también pertenecían a estas carreras. Los valores totales de los estudiantes y nuevos inscriptos para estas carreras correspondientes al año 2009 pueden ser consultados en el Gráfico 2.3.

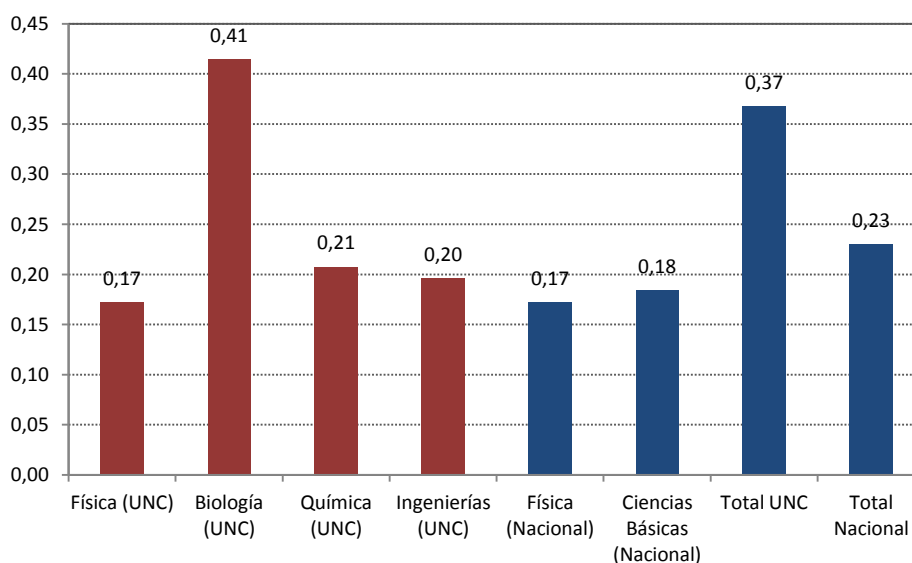


Gráfico 2.1: Razón Graduados/Matrícula total. Fuente: *Anuario de Estadísticas Universitarias. Argentina 2009-SPU. Ministerio de Educación.*

La tasa promedio de crecimiento anual de la matrícula de las universidades nacionales ha sido de 2,9 para el período 1999-2009, sin embargo no se ha evidenciado ese crecimiento en la cantidad de egresados. Si, en particular, la mirada se pone en carreras que forman recursos en ciencias básicas, el impacto del retraso o abandono en Políticas de Desarrollo Científico y Tecnológico resulta preocupante. Para el caso de la Física, por ejemplo, la disminución en la matrícula sumada a importantes tasas deserción en el primer año, hace que el fenómeno de desgranamiento, entendido como el abandono o retraso de los estudiantes, que ocurre durante la formación de grado sea numéricamente poco llamativo. Sin embargo, es fácil calcular que la pérdida de esos recursos contribuye a aumentar de forma significativa los gastos por estudiante.

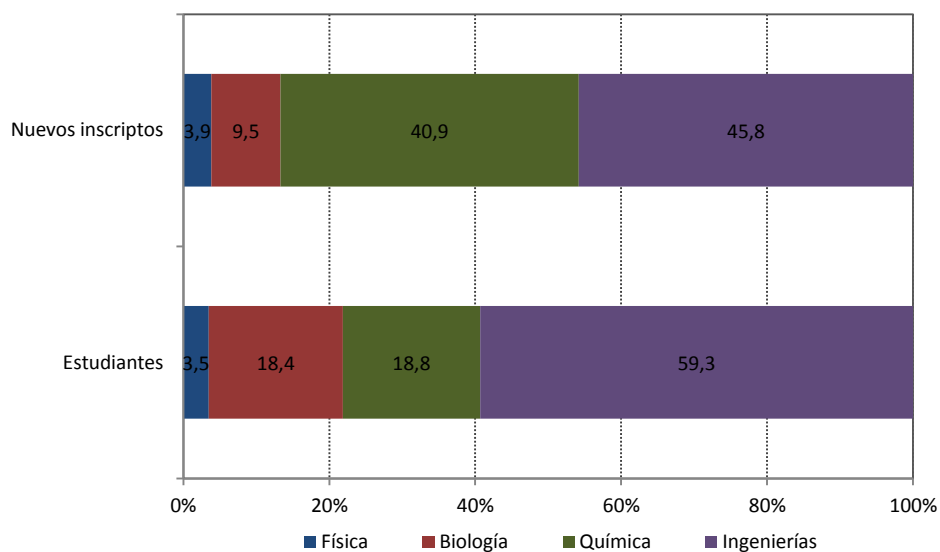


Gráfico 2.2: Porcentajes sobre total para Estudiantes y Nuevos Inscriptos, Física, Biología, Química e Ingenierías, Universidad Nacional de Córdoba. Fuente: *Anuario de Estadísticas Universitarias. Argentina 2009-SPU. Ministerio de Educación.*

Más del 50 % de la población total, porcentaje que se eleva considerablemente para los sectores de bajos recursos, no asiste a la Universidad. Sin embargo de una u otra forma financian la educación superior de los estudiantes matriculados. De esta manera el problema del abandono y desgranamiento de la matrícula universitaria es un problema que necesita solución. Si bien no es la intención de este trabajo discutir sobre las cuestiones sociales y de equidad relacionadas a esta problemática, se considera una cuestión de suma relevancia y de compromiso social el hecho de formar recursos humanos de calidad. Tiene sentido entonces evaluar el impacto que en este fenómeno pudiera tener la enseñanza. Aportar luz sobre esto permitiría diseñar estrategias de intervención destinadas a subsanar el problema.

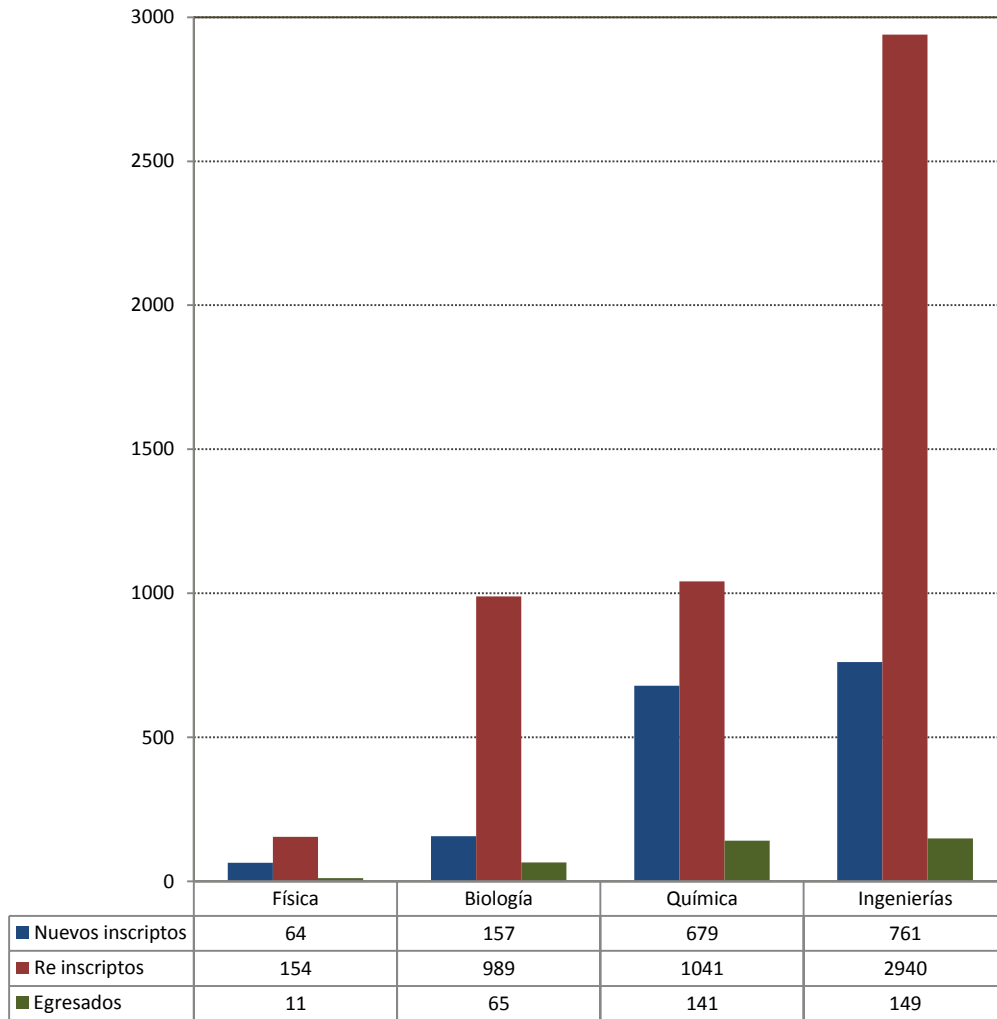


Gráfico 2.3: Cantidad de Estudiantes y Nuevos Inscriptos, Física, Biología, Química e Ingenierías, Universidad Nacional de Córdoba. Fuente: *Anuario de Estadísticas Universitarias. Argentina 2009-SPU. Ministerio de Educación.*

2.1.2 El caso de la Física en la Universidad Nacional de Córdoba

Durante los años 1990-1991 Ambroggio y Gangoso realizaron un estudio denominado “Graduación y abandono en la universidad: un estudio exploratorio en la FaMAF”. En él se refiere de manera clara que existen en esa institución dos momentos marcados de deserción, que se corresponden con primer cuatrimestre de primer año y luego con el tránsito del ciclo básico al ciclo superior. Este tránsito coincide con el pasaje de asignaturas denominadas *generales* esencialmente fenomenológicas a otras denominadas *teóricas* fuertemente formalizadas.

La información provista por la Facultad de Matemática, Astronomía y Física en su página web, en el año 2001, explicaba:

Las asignaturas de la Licenciatura en Física están divididas en dos grandes grupos:

a) El Primer Grupo incluye, básicamente, los distintos cursos de Física General en los que se introducen las nociones básicas de la mecánica newtoniana, la teoría fenomenológica del calor, los conceptos e ideas básicas de los campos eléctricos y magnéticos, y una introducción a los distintos aspectos de la óptica geométrica, así como la teoría ondulatoria de la luz.

b) El Segundo Grupo comprende el estudio, en mayor profundidad, de la Mecánica Clásica Electromagnetismo; Mecánica Cuántica; Termodinámica y Mecánica Estadística.

Si se tiene en cuenta que los estudiantes que acceden al ciclo superior han superado con éxito las asignaturas del ciclo básico y que varias de las asignaturas del ciclo superior suponen un estudio en mayor profundidad de fenómenos ya abordados en las Física Básicas es posible empezar a configurar algunas de las preguntas que dan origen a esta investigación.

¿Los mecanismos de aprendizaje que fueron útiles en el ciclo básico no lo son para superar el ciclo superior?

¿Se puede entender que los estudiantes aprendieron “localmente” y no son capaces de transferir estrategias?

¿Es la capacidad para modelar un factor de éxito decisivo?

¿Qué aspectos de los resultados de estudios en resolución de problemas para físicas generales son transferibles a las físicas teóricas?

¿Cuáles son las dificultades cognitivas cuando se trata de traducir las representaciones concretas del mundo a representaciones abstractas y viceversa?

En definitiva,

¿Qué saben y saben hacer los que tienen éxito y qué no saben o no saben hacer los que fracasan?

2.2 La formación profesional en el siglo XXI

2.2.1 El contexto general

Múltiples son los reportes que sugieren metas para los sistemas de instrucción formal. Los mismos señalan que los sistemas educativos debieran enseñar a los sujetos a ser capaces de utilizar de forma autónoma y flexible procesos científicos de indagación, a utilizar estrategias para resolver problemas reales y a ser capaces de diseñar investigaciones, productos y maquinarias (NSF Standars, U.S. Department of Labor, ABET engineering accreditation organization, y American Institute of Physics, en Etkina y Van Heuvelen, 2007; Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, 2012; Competency Model Clearinghouse, 2012). Señalan también la fuerte necesidad de formación en habilidades científicas no sólo para egresados destinados al campo científico tecnológico sino también para aquellas personas que no se desarrollaran en el ámbito de las ciencias. Destacan también la importancia del desarrollo de las habilidades de resolución de problemas especialmente en

problemas del tipo que es posible encontrar en la vida real: complejos, sin límites claros, poco definidos. No son dejadas de lado las habilidades de comunicación, de trabajo en grupo, de reconocimiento del impacto de la tarea en el contexto social y el reconocimiento de la necesidad del aprendizaje permanente.

La misión de la OCDE (Organisation for Economic Co-operation and Development) consiste en promover políticas destinadas a lograr la máxima expansión posible del crecimiento económico y el empleo, y un mejor nivel de vida de los países miembros, sin dejar de mantener la estabilidad financiera. Como una de sus acciones, ha implementado el *Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos* (PISA), que tiene por objeto evaluar hasta qué punto los estudiantes cercanos al final de la educación obligatoria han adquirido algunos de los conocimientos y habilidades necesarios para la participación activa en la sociedad. Sostienen que si bien la adquisición de conocimientos específicos es importante, la posibilidad de aplicación de estos conocimientos en el contexto social reside en la adquisición de habilidades más amplias. Mediante estas evaluaciones se busca identificar la existencia de ciertas capacidades, habilidades y aptitudes que, en conjunto, permiten a la persona resolver problemas y situaciones de la vida. Señalan que:

“Un alto porcentaje de los problemas, situaciones y asuntos a los que deben hacer frente las personas en sus vidas cotidianas requieren un cierto grado de conocimiento de las ciencias y la tecnología antes de poder ser valorados, comprendidos o abordados. Las personas se enfrentan a cuestiones con un componente científico o tecnológico tanto a nivel personal como a nivel comunitario, nacional e incluso global y, por tanto, se debería animar a los dirigentes nacionales a interrogarse sobre el grado de preparación que tienen los individuos de sus respectivos países para abordar este tipo de cuestiones.” (OCDE, 2006, p.20)

Afirman que la competencia en ciencias está relacionada con “los conocimientos científicos de un individuo y al uso de ese conocimiento para identificar problemas, adquirir nuevos conocimientos, explicar fenómenos científicos y extraer conclusiones basadas en pruebas sobre cuestiones relacionadas con la ciencia. Asimismo, comporta la comprensión de los rasgos característicos de la ciencia, entendida como un método del conocimiento y la investigación humanas, la percepción del modo en que la ciencia y la tecnología conforman nuestro entorno material, intelectual y cultural, y la disposición a implicarse en asuntos relacionados con la ciencia y con las ideas de la ciencia como un ciudadano reflexivo.” (OCDE, 2006, p.13).

En todos los casos las pruebas miden competencias para resolver problemas. En el 2012 son 65 los países involucrados en este proyecto. La información crítica para la toma de decisiones, vendrá de una cuidadosa consideración de lo que significa pensar y entender la ciencia y de la comprensión y modelado de los procesos de pensamiento de los estudiantes que llegan a las clases de ciencias.

En el ámbito local, se ha participado en las pruebas PISA desde sus comienzos en el año 2000. En los últimos años se han desarrollado acciones tendientes a (re)orientar metas de formación en varios niveles: primario, secundario y formación superior. Ejemplos de esto son los *Informes y Recomendaciones de la Comisión Nacional para el mejoramiento de la enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática* (Mulcahy, Redacción, 2007); el *Plan de Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias* (2007); el *Proyecto de Mejora para la formación inicial de profesores para el nivel secundario* (Benegas, Coordinación, 2010); la generación de estándares de competencias profesionales para la acreditación de títulos declarados de interés público (CONEAU, 2012); los trabajos que se encuentran realizando para la definición de competencias profesionales para institutos de formación docente.

Más allá de diferencias contextuales, los informes y recomendaciones mencionados en los párrafos anteriores coinciden en la necesidad de una enseñanza para la comprensión

(Perkins y Blythe, 2006) ya que reflejan la necesidad de *“poder realizar una gama de actividades que requieren pensamiento respecto a un tema”*.

La situación descrita en los párrafos anteriores pone de manifiesto la importancia que adquiere el hecho de contar con orientaciones didácticas que, basadas en la investigación, permitan la elaboración y puesta a prueba de materiales instruccionales.

Diseñar una intervención curricular implica determinar al menos: los objetivos de la intervención, la forma de alcanzar dichos objetivos y la manera de evaluar la consecución de estos objetivos. No es arriesgado afirmar que la meta de una intervención curricular es la comprensión. Sin embargo es necesario discernir acerca de qué conocimientos y habilidades son requeridos en estos días y en los cuales puede influir la estructura y los métodos de la Física como herramientas para conseguirlos. La forma de alcanzar las metas propuestas en la instrucción se plasma en el contenido y la secuenciación de las actividades que se proponen a los estudiantes. La relación metas/secuencia de actividades resulta indisoluble y debe venir sustentada desde distintas vertientes: necesidades de formación, epistemología científica, investigaciones sobre creación, almacenamiento y acceso al conocimiento y estudios cognitivos (Dufresne et al., 2000; Etkina y Van Heuvelen, 2007).

Los docentes asignan a sus prácticas metas de formación muy valiosas aunque, en algunos casos, muy amplias y posibles de conseguir a muy largo plazo. Sin embargo, los estudiantes se centran en metas a corto plazo y poco favorables, como por ejemplo centrarse solo en la obtención de la respuesta correcta o el aprendizaje memorístico de leyes y principios. Existen propuestas que sostienen que esta brecha entre los objetivos de los docentes y los de los estudiantes está relacionada con la forma en que se realiza la evaluación (Perkins y Blythe, 2006; Dufresne et al., 2000; Etkina et al., 2008). Señalan que es posible alcanzar las metas de formación mediante actividades orientadas a desarrollar hábitos (performances; habits of mind). Los mismos están estrechamente relacionados con las ideas sobre qué significa hacer ciencia (epistemología científica). Estos hábitos son entendidos como comportamientos deseables que deben internalizar los estudiantes para que, como resultado final, puedan alcanzar las metas fijadas y que contribuyen a la formación no solo en Física sino en su desarrollo en general.

2.2.2 El caso de la Física

El hecho de encontrar gran cantidad de informes, regulaciones, sugerencias y modelos o estándares de competencias profesionales para distintas áreas laborales ha hecho que la búsqueda de estos estándares se orientara para el caso que nos interesa: la Física. Fundamentalmente porque desde distintas vertientes se sostiene que el aprendizaje de la Física es una herramienta que puede contribuir al desarrollo de un conjunto de habilidades que trascienden el contenido y que resultan muy útiles en el contexto cotidiano de trabajo.

Las preguntas que se deben plantear en este punto son:

¿Cuál es el perfil de formación de un Físico?

¿Cuáles son los conocimientos y habilidades que adquiere un Físico durante el período de instrucción formal?

¿Para qué tipo de tareas se capacita a un Físico?

Más allá de poder responder desde la propia visión sobre lo que significa ser Físico, resulta necesario buscar algunas fuentes para dar una respuesta más objetiva. En el ámbito nacional, se mencionó anteriormente que en la actualidad, la Comisión Nacional de Evaluación

y Acreditación Universitaria se encuentra en la generación de estándares de competencias profesionales para la acreditación de títulos declarados de interés público (CONEAU, 2012). No es este el caso de la Licenciatura en Física, por lo tanto no se cuentan con perfiles estandarizados de formación.

El camino lógico para seguir es buscar si en el Ministerio de Educación se cuenta con esta información. Desde el portal de la Secretaría de Políticas Universitarias es posible obtener información sobre las carreras que se dictan en las universidades Argentinas, solo que el buscador redirige a los portales de cada una de las Facultades. De esta forma, la información sobre perfiles, competencias, alcances del título y objetivos dependen de la institución consultada.

Se seleccionaron dos casos pertenecientes a las universidades que cuentan con más egresados: La Universidad Nacional de Buenos Aires y la Universidad Nacional de Córdoba. La información obtenida de sus páginas web se presenta en la Ilustración 2.1 y la Ilustración 2.2. Es posible notar que esta información, para ambos casos, se presenta en términos de actividades que puede realizar un Físico. Sólo en el caso de la Licenciatura en Ciencias Físicas es posible encontrar un esbozo de las habilidades que son objetivo de la formación. Esta información dista mucho de ser completa y útil a los fines de esta investigación. Sin embargo, es necesario destacar que las fuentes consultadas son páginas web dirigidas al público en general y presentan una idea superficial de las carreras.

Ilustración 2.1: Alcances del título y perfil de egresado. Licenciatura en Física. Universidad Nacional de Córdoba. Fuente: http://www.famaf.unc.edu.ar/carreras/fisica/#carreras_licenciatura_fis.

Los alcances profesionales del título de **Licenciado en Física** son los siguientes:

1. Elaborar, dirigir, coordinar, ejecutar y evaluar proyectos de investigación y/o desarrollo, ya sean teóricos o experimentales, en temas de física pura y aplicada o interdisciplinarios con la física.
2. Diseñar, ejecutar, controlar y evaluar proyectos de desarrollo, mejoramiento, adaptación u optimización de métodos de mediciones, ensayos, análisis e interpretación de resultados, aplicables a cualquier área donde se encuentren involucrados procesos físicos.
3. Diseñar, ejecutar y/o asesorar proyectos de desarrollo tecnológico (originales o de adaptación) relacionados con procesos físicos.
4. Realizar arbitrajes, pericias y tasaciones en donde se encuentren involucrados procesos físicos.
5. Desarrollar, diseñar, ejecutar, controlar, mantener, reparar, modificar e inspeccionar programas y/o sistemas de computación relacionados con fenómenos físicos.
6. Asesorar a instituciones educativas respecto a la transferencia de conocimientos de física en los diferentes niveles de formación.

Perfil del Egresado

El Licenciado en Física es un profesional capaz de desempeñarse en la investigación, tanto en forma individual como en equipo, para resolver problemas y/o crear conocimientos originales vinculados a fenómenos que involucran desde sistemas a escalas subatómicas hasta los sistemas que conciernen al Universo en gran escala. También es capaz de aplicar sus conocimientos al desarrollo tecnológico y a la prestación de servicios siempre con el objetivo de mejorar la calidad de vida del hombre mediante la utilización pacífica de la disciplina.

Ilustración 2.2: Alcances del título y perfil de egresado. Licenciatura en Ciencias Físicas. Universidad Nacional de Buenos Aires. Fuente: <http://www.exactas.uba.ar/academico/index.php>

¿Qué es un Físico?

El Licenciado en Ciencias Físicas es el profesional capacitado para intervenir científicamente en todos aquellos asuntos vinculados con la materia y sus cambios.

Funciones del Licenciado en Ciencias Físicas

El Licenciado en Ciencias Físicas es un profesional idóneo para:

- Realizar estudios e investigaciones referidos a propiedades de los cuerpos, su constitución, las interacciones que los forman, sus modificaciones, y los métodos y técnicas para su medición, utilización y elaboración.
- Diseñar, construir, ensayar y modificar componentes, instrumentos y sistemas destinados a medir las propiedades de los cuerpos, su constitución, las interacciones que los forman, sus modificaciones de estado, y las radiaciones producidas en dichas modificaciones.
- Diseñar, elaborar, codificar y modificar modelos de las propiedades de los sistemas físicos.
- Programar, dirigir, ejecutar y evaluar las actividades que se desarrollan en el ámbito de laboratorios, plantas o empresas donde se realizan ensayos, análisis, estudios y mediciones referidos a las propiedades de los cuerpos y su constitución.
- Determinar los requerimientos de equipamiento y las condiciones de operación, así como especificar las condiciones de seguridad necesarias.
- Asesoramiento a terceros.
- Determinar las normas meteorológicas destinadas a medir propiedades de los cuerpos, su constitución, las interacciones que los forman, sus modificaciones de estado y las radiaciones producidas en dichas modificaciones.
- Realizar arbitrajes y peritajes dentro de su campo de conocimientos.

Objetivo de la carrera

El objetivo de la Carrera de Licenciatura en Ciencias Físicas es formar un profesional que logre:

- Obtener el conocimiento científico de la materia, sus modificaciones y sus comportamientos.
- Poder predecir en forma cuali y/o cuantitativa propiedades de la materia a partir de teorías generales y leyes experimentales
- Utilizar los conocimientos adquiridos para dar solución a problemas concretos.
- Comprender la necesidad continua del perfeccionamiento y de la actualización temática

Ante la falta de información a nivel nacional sobre el perfil de un Físico en términos de habilidades y destrezas desarrolladas en la instrucción, se consultaron algunos documentos de libre acceso pertenecientes al Gobierno de Estados Unidos. Lo primero a destacar es que la información fue obtenida a partir del Departamento de Trabajo, Oficina de Estadísticas Laborales y la Administración de Empleo y Formación de los Estados Unidos. El documento principal es *Occupational Outlook Handbook, 2012-13 Edition* (Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, 2012) y el portal web *The Occupational Information Network*, con el *Summary Report for: 19-2012.00 – Physicists*. En el *Summary Report for: 19-2012.00 – Physicists*, es posible obtener una gran cantidad de información sobre el perfil de un Físico en varias dimensiones: tareas desarrolladas, conocimientos, destrezas, habilidades, actividades en el trabajo, contextos de trabajo, nivel de educación posible, intereses, estilos de trabajo, etc. Incluso proporciona información sobre cantidad de puestos de trabajos, ingresos medios anuales y redirige a una página donde es posible consultar esta información por estado.

De toda esta información se ha decidido presentar primeramente la introducción general que se presenta en la página, ya que es de similares características a las presentadas por las instituciones nacionales (Ilustración 2.3). La diferencia que se puede observar es que en este caso, además de ser un perfil definido a nivel nacional, es que son presentadas las

habilidades que se consideran más relevantes. El detalle en el que son reportadas las distintas dimensiones permite obtener un desglose de cada una de ellas con un nivel de importancia asignado y una descripción. Para una presentación más ágil de esta información se han realizado gráficos para las dimensiones denominadas *habilidades*, *conocimientos*, *estilos de trabajo* y *actividades en el trabajo*. Se considera que estas dimensiones son las que mayor relación tienen con el foco de interés de este trabajo.

Ilustración 2.3: Perfil y habilidades centrales para un Físico. (Trad.) Fuente: *Occupational Outlook Handbook, 2012-13 Edition*. Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor.

Los físicos usualmente realizan lo siguiente:

- Desarrollo de teorías científicas y modelos para explicar las propiedades del mundo natural.
- Planificar y conducir experimentos científicos y estudios para comprobar teorías y descubrir propiedades de la materia y la energía.
- Redactar proyectos y solicitar financiamientos.
- Realizar cálculos matemáticos complejos para analizar datos físicos.
- Diseñar equipos.
- Desarrollar software para analizar datos y modelar.
- Redactar trabajos científicos para ser publicados en revistas periódicas del área.
- Presentar resultados de investigación en reuniones científicas y conferencias.

Los físicos exploran las propiedades fundamentales y las leyes que rigen el espacio, el tiempo, la energía y la materia. Algunos físicos estudian áreas, tales como la naturaleza fundamental de los átomos y de las moléculas y la evolución del universo. Otros diseñan y llevan a cabo experimentos con equipos sofisticados como los aceleradores de partículas, microscopios electrónicos y rayos láser. Sobre la base de observaciones y análisis, tratan de descubrir y formular leyes que expliquen las fuerzas de la naturaleza, tales como la gravedad, el electromagnetismo y las interacciones nucleares. Otros aplican su conocimiento de la física a aspectos aplicados, como el desarrollo de materiales avanzados y equipos médicos.

Cualidades importantes

- **Habilidades avanzadas de matemáticas.** Los físicos realizan cálculos complejos relacionados con el cálculo, geometría, álgebra, y otras áreas de las matemáticas. Ellos deben ser capaces de expresar su investigación en términos matemáticos.
- **Capacidad de análisis.** Los físicos tienen que ser capaces de llevar a cabo experimentos y estudios científicos. Deben ser precisos y exactos en su análisis ya que los errores pueden invalidar su investigación.
- **Habilidades de pensamiento crítico.** Los físicos deben evaluar cuidadosamente su propio trabajo y el trabajo de otros. Se debe determinar si los resultados y las conclusiones se basan en datos científicos sólidos.
- **Habilidades interpersonales.** Los físicos deben colaborar ampliamente con los demás, en contextos de investigación académica e industrial. Tienen que ser capaces de trabajar bien con otros hacia una meta común.
- **Habilidades para resolver problemas.** Los físicos utilizan la observación y el análisis científicos para resolver los complejos problemas científicos.
- **Habilidades de habla.** Los físicos presentan sus investigaciones en congresos científicos, al público, o para la gestión de superiores u otros pares.
- **Habilidades de escritura.** Los físicos escriben informes que puedan ser publicados en revistas científicas. También escriben propuestas de financiación de la investigación.

Para el caso de las *habilidades*, Gráfico 2.4, es posible observar que dentro del amplio espectro propuesto, aquellas que tienen directa relación con la resolución de problemas se

encuentran entre las consideradas más importantes. Las tres habilidades con mayor nivel de importancia tienen que ver con la habilidad de emplear conocimientos y métodos de la ciencia, métodos matemáticos y pensamiento crítico en la resolución de problemas. En un cuarto nivel de importancia se encuentra la resolución de problemas complejos. Esto no hace otra cosa que confirmar la reconocida importancia de la actividad de resolución de problemas en el ámbito profesional. Es para destacar el alto nivel de importancia considerado para la instrucción.

Para el caso del *conocimiento*, Gráfico 2.5, no es novedoso encontrar que los más importantes son Física y Matemática, sin embargo resulta llamativo el alto nivel asignado a Lengua. Quizás este hecho se encuentre relacionado a que en esa categoría se incluye el conocimiento de inglés, idioma por excelencia para la comunicación científica. Es posible observar que los Idiomas Extranjeros son valorados muy poco.

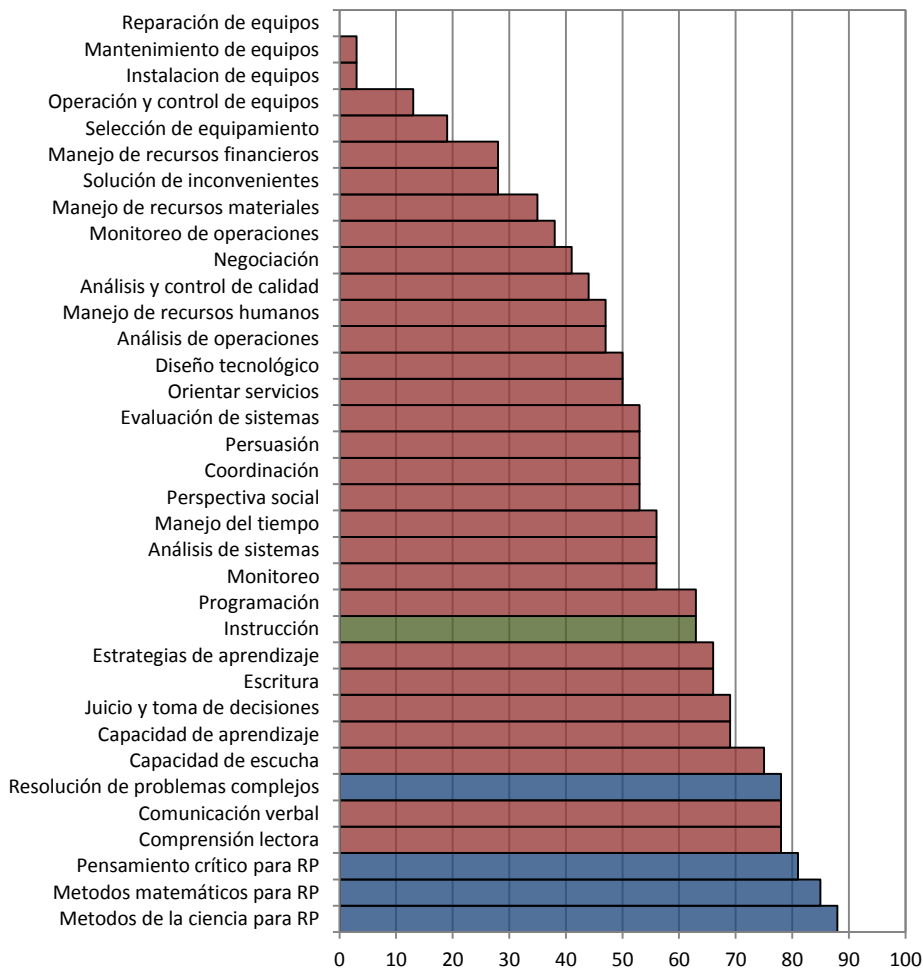


Gráfico 2.4: Habilidades de un Físico – Según nivel de importancia. Fuente: The Occupational Information Network. US Department of Labor/Employment and Training Administration

Se puede observar en el listado de *estilos de trabajo* que se presenta en el Gráfico 2.6, que en general se considera que el Físico es una persona con una capacidad de trabajo

autónoma, detallista capaz de realizar tareas importantes individual o grupalmente debido a su gran adaptabilidad. Es presentado como un profesional persistente, flexible y esforzado.

Quizás la dimensión de mayor interés es la de *actividades en el trabajo*. Aquí se presentan las actividades que forman parte del día a día de la profesión. Para la realización del Gráfico 2.7 sólo se han considerado las que mayor nivel de importancia presentan. A pesar de no incluir a todas, es para destacar que dentro de las consideradas se encuentran como actividades cotidianas de trabajo, aquellas habilidades que están siendo requeridas para la formación de profesionales de otras ramas y ciudadanos con posibilidad de incorporarse al ámbito laboral en la sociedad moderna. Estas son: *Pensar creativamente; interactuar con computadoras; obtener, procesar e interpretar información; tomar decisiones; resolver problemas; actualizar y utilizar conocimiento; analizar datos e información; comunicarse dentro y fuera de la institución; estimar características cuantitativas diversas; identificar objetos, acciones y eventos; asesorar; desarrollar objetivos y estrategias; organizar, planificar y priorizar el trabajo; coordinar el trabajo con otros; evaluar información en relación a estándares.*

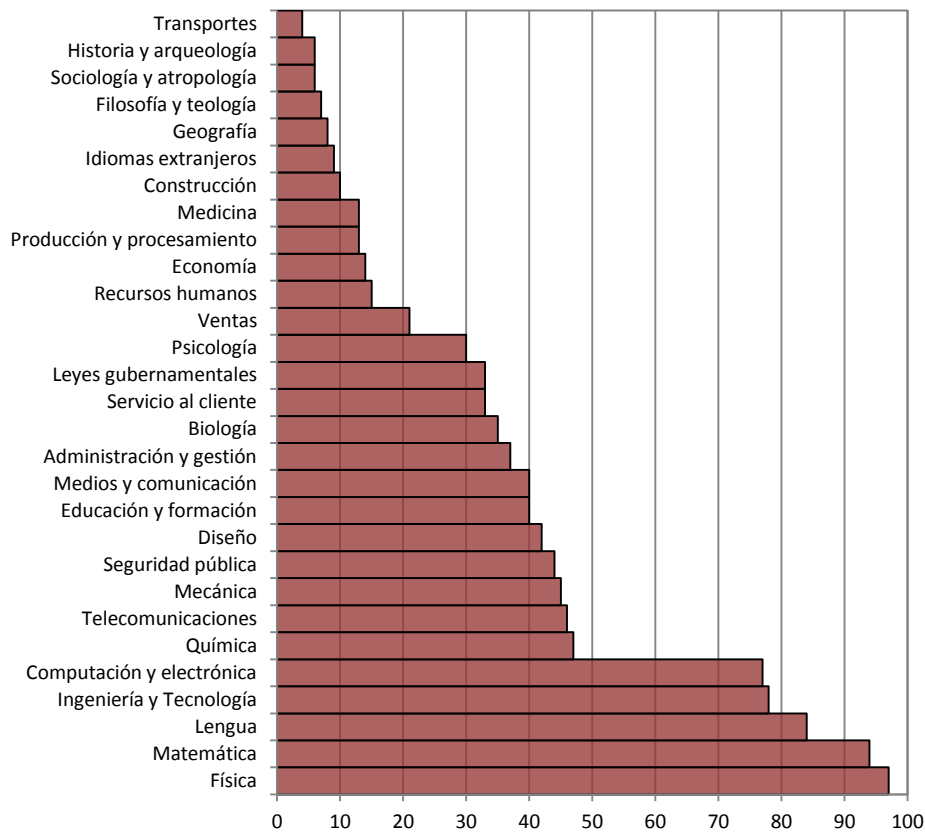


Gráfico 2.5: Conocimientos de un Físico – Según nivel de importancia. Fuente: The Occupational Information Network. US Department of Labor/Employment and Training Administration

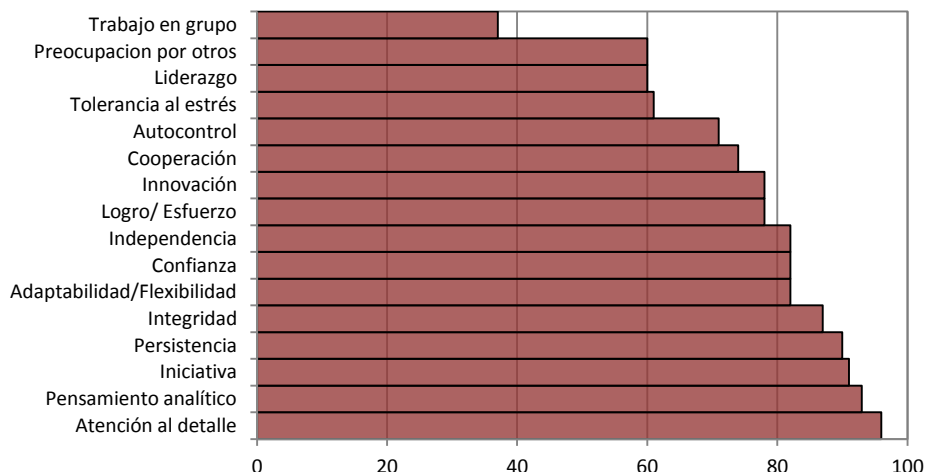


Gráfico 2.6: Estilos de trabajo de un Físico – Según nivel de importancia. Fuente: The Occupational Information Network. US Department of Labor/Employment and Training Administration



Gráfico 2.7: Actividades en el trabajo – Según nivel de importancia. Fuente: The Occupational Information Network. US Department of Labor/Employment and Training Administration

Si es necesario que la comunidad de educadores en Física se aboquen a la tarea de desarrollar estas habilidades no solo en los Físicos sino también a otros profesionales y ciudadanos, la pregunta que resulta central en este punto es:

¿Cómo adquieren los físicos esas habilidades?

2.3 La contribución de la investigación en Resolución de Problemas en Física.

El lugar central que ocupa la resolución de problemas en el desarrollo de competencias básicas ha quedado presentado en las secciones anteriores. Por un lado, la resolución de problemas es la actividad central utilizada tanto para la enseñanza como para la acreditación en las carreras de Ciencias Básicas e Ingeniarías. Adhiriendo a un modelo que considera dentro de las causas de la deserción a las estrategias de aprendizaje resulta factible pensar en acciones paliativas que provengan desde la enseñanza. Un supuesto orientador de este trabajo consiste en que desde el diseño de estrategias de enseñanza, teóricamente fundamentadas, es posible mejorar sustancialmente el desempeño de los estudiantes. Con esto es posible revertir al menos parcialmente la deserción, fundamentalmente la ocurrida en años superiores, cuando ya es posible suponer que los estudiantes han superado el período de adaptación al sistema universitario.

Es posible afirmar que resulta central la función de la resolución de problemas en la instrucción en Física para el desarrollo de las capacidades requeridas en diversos ámbitos laborales. Podría decirse que prácticamente es una misión nacida para la educación en Física. La habilidad de recortar mentalmente las situaciones cotidianas en partes que nos permitan razonar sobre ellas y darles significado es parte de la cognición humana. La misma ha posibilitado desde siempre la adaptación del hombre a su medio. Y esta habilidad no es otra que la habilidad de modelar la realidad. Las ciencias en general, y la Física en particular, se encuentran involucradas en la generación de explicaciones sobre el mundo natural a partir de la construcción de modelos susceptibles de ser contrastados. Si la actividad por excelencia de la Física es modelar, es tarea de la instrucción en Física desarrollar esta habilidad tanto en sus propios profesionales como en todos aquellos ciudadanos que en algún nivel educativo tengan clases de Física.

Resulta claro que en cualquier caso, independiente del objetivo central, los profesores de Física necesitan valorar detenidamente sobre *qué* y *cómo* enseñar en el contexto de sus clases. Desde hace tiempo se viene documentando la existencia de un desfase entre el conocimiento y las habilidades desarrolladas mediante la enseñanza tradicional en Física y las necesidades prácticas y los objetivos de los profesores. También las dificultades que los estudiantes tienen a la hora de resolver problemas en cursos de Física se encuentran ampliamente investigadas (McDermott y Redish, 1999). Algunas de las acciones tendientes a disminuir esta brecha entre objetivos y desempeños tienen que ver con la realización de cambios en las prácticas curriculares. Estas propuestas van desde pequeños cambios en las prácticas hasta cambios radicales en diseños instruccionales (Heller y Hollabaugh, 1992; Leonard, Gerace, Dufresne y Mestre, 1999; Dufresne, Gerace, Mestre y Leonard, 2000; McDermott y Schaffer, 2002; Redish, 2003; Sokoloff, Thornton y Laws, 2004; Sokoloff y Thornton, 2006; Etkina y Van Heuvelen, 2007; Etkina, Karelina, Ruibal-Villasenor, Rosengrant, Jordan y Hmelo-Silver, 2008). Sin embargo, la utilización de estas propuestas no es masiva por lo que los resultados son aislados. Las mencionadas son propuestas anglosajonas y, en la mayoría de los casos, no son conocidas en nuestro país. Este hecho se deba quizás a una cuestión idiosincrática basada en largas tradiciones sobre prácticas educativas. Es para destacar que no se encuentran trabajos que reporten producción de materiales a nivel nacional.

Para ayudar a que un mayor número de estudiantes sean “resolvedores competentes” de problemas, resulta útil estudiar de qué manera las personas resuelven y aprenden a resolver problemas, ya que esta investigación puede servir de guía para mejorar la instrucción.

La presente investigación se orienta a construir conocimiento que pueda favorecer el diseño de estrategias de enseñanza para aulas de Física. Un supuesto básico de este estudio es que tal construcción, necesita estar fundada en algún modelo cognitivo que pueda dar cuenta de la complejidad de los procesos que ocurren durante la resolución de problemas.

Capítulo 3: El problema de Investigación

- 3.1 De la motivación original al problema de investigación
- 3.2 Una primera conceptualización del problema
- 3.3 Objetivos
- 3.4 Preguntas de investigación

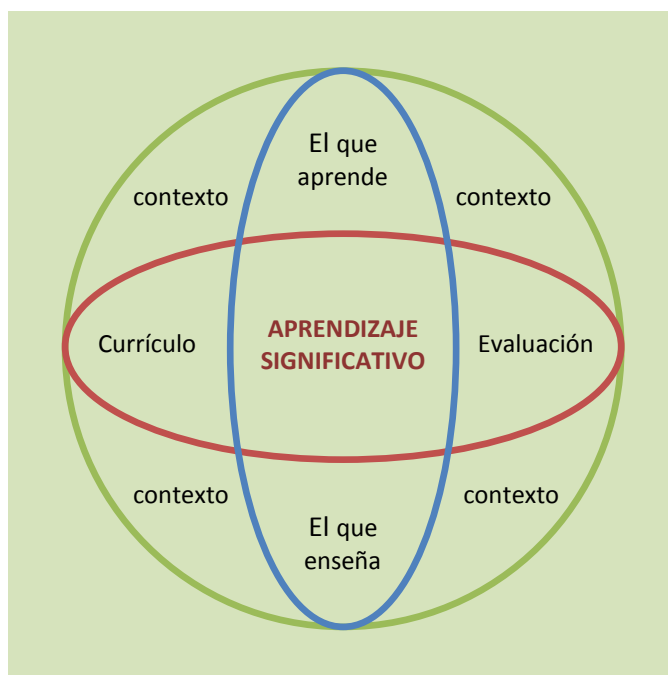
Tanto el fenómeno de deserción en los estudios superiores como la formación de recursos humanos de calidad son problemáticas cuyo abordaje resulta complejo. La multiplicidad de actores, objetivos, perspectivas, contextos y posibilidades presentes hace indispensable una delimitación teórica. En este caso, esta delimitación vendrá desde la contribución que puede realizar la investigación en resolución de problemas en Física en relación al papel que la instrucción en Física tiene en la formación de los sujetos.

3.1 De la motivación original al problema de investigación

Toda investigación que intente indagar en procesos de instrucción no puede dejar de considerar la complejidad de este evento. Sin dudas son múltiples las causas que pueden intervenir e influir en éstos. De ser factible atender esta multiplicidad de causas habría que considerar lo que Novak (1990) denomina *elementos de un evento educativo*. Estos son el que aprende, el que enseña, el currículo, el contexto y la evaluación (Ilustración 3.1). Más allá que el enfoque integral de la problemática escapa de los límites de esta investigación, no resulta conveniente simplificar en extremo la situación. Sin embargo, tomando en consideración lo planteado en el capítulo anterior, es necesario acotar la problemática para poder indagar en ella.

En el capítulo anterior quedó demostrado que la tarea por excelencia de los Físicos es la de construir modelos de la realidad y resolver problemas. Si estas actividades son centrales en el desarrollo profesional, tal como lo señalan los perfiles disponibles, deben desarrollarse porque no son habilidades innatas. Por tanto, dado que estas habilidades forman parte de las actividades realizadas por los Físicos cotidianamente en su ámbito laboral, es de suponer que el desarrollo de las mismas, al menos en algún grado, ocurre durante la instrucción formal.

Ilustración 3.1: Evento educativo (Novak, 1990)



Por otro lado, Ambroggio y Gangoso (1991) mostraron la existencia de una notable deserción de los estudiantes de tercer año de la Licenciatura de Física en la Facultad de Matemática Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba. Suponiendo superados problemas de ambientación al sistema universitario, es posible pensar que una de las causas que pueden incidir en esta deserción es que los estudiantes no han adquirido las habilidades necesarias para continuar. Dado que el proceso de adquisición de las habilidades de estos estudiantes les permitió llegar al tercer año de la carrera pero no les permitió

continuar, es posible suponer que esto estaría relacionado con alguna discontinuidad en el proceso de adquisición de las habilidades o el surgimiento de nuevas habilidades necesarias.

Este hecho puntual de la deserción en tercer año, hace que se preste especial atención a qué cambios pueden ocurrir en esa etapa de formación. En particular se mencionó en el capítulo anterior que en ese momento se produce el pasaje de las Físicas Básicas a las Físicas Superiores. A primera vista, las primeras son esencialmente fenomenológicas y las segundas fuertemente formalizadas. Teniendo en cuenta que tanto la enseñanza como la acreditación en estas asignaturas son realizadas mediante tareas de resolución de problemas, resulta factible que de existir diferencias entre estos tipos de asignaturas se vean reflejadas en los enunciados de los problemas utilizados. Una primera suposición de tipo general es que estos cambios están relacionados con las características de los modelos que dan cuenta de los fenómenos estudiados en unas y otras asignaturas.

De existir estas diferencias entre los enunciados de problemas, las mismas también debieran ser observables en las habilidades involucradas en los procesos de resolución de dichos problemas. Con esto, analizando el proceso de adquisición de habilidades en los Físicos se considera posible contribuir a los procesos de formación de otros profesionales.

De esta manera, la investigación se orienta a estudiar las exigencias cognitivas que suponen los cambios en la formulación de la física, desde el ciclo básico (física fenomenológica) al superior (física formalizada). Sólo de manera complementaria se tomarán algunos datos sobre otros aspectos.

3.2 Una primera conceptualización del problema

De una primera inspección de los materiales utilizados en las Físicas Generales y las Físicas Superiores, libros y guías de problemas, es posible detectar un cambio en la naturaleza de los objetos y eventos involucrados en los distintos modelos utilizados para describir y explicar fenómenos físicos. Los sistemas físicos en los cursos iniciales de la carrera parecen muy vinculados con el mundo cotidiano. En cambio, en los cursos superiores, la profundización de contenidos pasa por presentar esos sistemas físicos fuertemente vinculados a lenguajes formales, no directamente perceptibles y alejados del mundo real. Un enfoque posible para analizar estas diferencias entre los modelos utilizados en estas asignaturas es estudiar sus características ontológicas. En particular, teniendo en cuenta el tipo de entidades, conceptos concretos o conceptos formales, que conforman la ontología del modelo (Gutiérrez, R., 2004).

Las investigaciones en educación relacionadas con modelos y modelización se han encontrado en los últimos años centradas en el estudio de las concepciones que tienen tanto profesores como estudiantes sobre el concepto de modelo científico, la actividad de modelado y cómo estas concepciones repercuten en las tareas de enseñanza aprendizaje (Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2003; Islas y Pesa, 2004; Gutiérrez y Pinto, 2004, 2006). Estas investigaciones muestran que, en general, los estudiantes tienen una idea poco clara sobre qué es un modelo científico, con lo cual resulta prácticamente imposible que puedan apreciar el rol que los mismos tienen en la disciplina. Por otro lado, la noción de modelo científico resulta también difícil para los profesores, con lo cual se ve afectada la noción que estos profesores presentan en sus clases.

Una primera aproximación al problema, sería suponer que el paso desde los cursos básicos a los superiores exigiría de los estudiantes un *cambio conceptual* en el sentido explicado por Chi, Slotta y de Leeuw (1994). Los autores sostienen que comprender la física requerirá un cambio de categoría ontológica básica. Por tanto, es posible suponer que en el tránsito entre el ciclo básico y el ciclo superior de una carrera de Física se presentan cambios sustantivos que se manifiestan en modificaciones en la ontología y la epistemología de los modelos que explican las situaciones que se plantean.

Conjetura 1: En el tránsito entre el ciclo básico y el ciclo superior de una carrera de Física se presentan cambios fundamentales que se manifiestan en modificaciones en la ontología y la epistemología de los modelos que explican las situaciones que se plantean.

La tarea más utilizada para la instrucción y la acreditación de los estudiantes es la resolución de problemas. En el caso de las Físicas Generales se ha encontrado que *comprender* el enunciado de un problema significa construir una representación o modelo en el que intervienen objetos concretos que tienen referentes en el mundo físico, los que generalmente están explícitos en el enunciado. Esta representación evoluciona, utilizando el conocimiento de Física del sujeto, hacia una representación formal (Gangoso, Coleoni, Buteler y Gattoni, 2004; Truyol, 2006). Esta representación hace referencia a la misma situación física, pero ahora en términos de entidades abstractas que pueden estar explícitas o no en el enunciado.

Conjetura 2: El proceso de comprensión de enunciados de problemas en las físicas del ciclo superior de una carrera de Física, supone la construcción de una representación inicial o modelo cuya ontología y epistemología es diferente de la del modelo construido con enunciados de física básica.

La construcción de estas representaciones supone una cantidad de inferencias que el lector hace al relacionar el enunciado del problema con su conocimiento previo. En estudios correspondientes a Física Básica, se han detectado dificultades cuando los sujetos no logran pasar exitosamente de un modelo concreto a otro modelo más abstracto (Buteler, Gangoso, Brincones y González, 2001; Truyol, 2006). En las Físicas del nivel superior las categorías ontológicas de los elementos que conforman la representación inicial, que surge al leer el enunciado, son abstractas y posiblemente sin relación directa a referentes concretos. Por tanto, parecería no diferenciarse de la representación formal a la que debiera evolucionar.

Conjetura 3: Si la ontología y epistemología de las representaciones construidas para comprender un enunciado son diferentes según se trate de Física Básica o Física Superior entonces es necesario profundizar tanto en el significado de las mismas, así como su interrelación para poder dar cuenta de la comprensión de problemas de distintas características.

Por todo lo presentado se considera que una estrategia que puede resultar efectiva para incrementar la comprensión en resolución de problemas y mejorar la formación en la universidad consiste en modificar los enunciados de los problemas y resignificar la instrucción en resolución de problemas para atender al desarrollo de habilidades en los estudiantes que les permitan por un lado construir distintas representaciones del problema y por otro manejarse flexiblemente entre esas distintas representaciones.

Se hace necesario entonces:

- Estudiar los enunciados de problemas de Física que se presentan a los estudiantes, tanto para las Físicas Básicas como para las Físicas Superiores.

- Estudiar características de los procesos de resolución de problemas en relación a enunciados de problemas con componentes ontológicos de distinta naturaleza.
- Estudiar características de los procesos de resolución de problemas en sujetos con distinto nivel de instrucción.

3.3 Objetivos

La presente investigación pretende integrar y avanzar sobre estudios teóricos y desarrollos metodológicos originados en las áreas de Resolución de Problemas en Física, Comprensión y Modelado con el fin de generar un marco que permita interpretar tanto el fenómeno de repitencia y abandono en el pasaje del ciclo básico al ciclo superior como la función formativa de relevancia asignada a la Física. Sobre esa base, también se aspira a orientar el diseño de entornos de aprendizaje que favorezcan desempeños exitosos.

Es posible plantear como Objetivos Generales de este trabajo:

- Estudiar el desarrollo de habilidades de modelado en Física.
- Analizar la contribución de la resolución de problemas en física al proceso de comprensión y modelado de fenómenos naturales.
- Estudiar las dificultades de estudiantes universitarios en resolución de problemas, en función de las habilidades cognitivas necesarias.

También es posible plantear los siguientes Objetivos Específicos:

- Estudiar las características de enunciados de problemas de física que se presentan a los estudiantes tanto en las Físicas Generales como en las Físicas Superiores.
- Estudiar características del proceso de resolución de problemas en física entendido como un proceso de construcción de representaciones.
- Estudiar las diferencias en los procesos de resolución de problemas en Física en relación a distintos tipos de enunciados.
- Estudiar el desarrollo de habilidades cognitivas implicadas en las tareas de resolución de problemas en sujetos de distinto nivel de instrucción y en relación a distintos tipos de enunciados.

3.4 Preguntas de investigación

En el marco presentado, se plantean las siguientes preguntas que orientaran los diseños de la presente investigación:

¿Es posible caracterizar las habilidades requeridas para la resolución de problemas en Física en término de componentes de modelado?

¿Son los enunciados de problemas que se utilizan en Física Básica diferentes a los enunciados de problemas que se utilizan en Física Superior en relación a sus componentes ontológicos?

¿Son distintas las habilidades puestas en juego para la resolución de distintos tipos de enunciados de problemas?

¿Cómo es el desarrollo de las habilidades puestas en juego en la resolución de problemas en sujetos de distinto nivel de instrucción?

¿Las dificultades en el desempeño de los estudiantes se relacionan con problemas en la construcción de representaciones de distinta ontología?

¿Es posible explicar el fracaso de los estudiantes en el pasaje entre las Físicas Básicas y las Físicas Superiores en términos de comprensión?

Capítulo 4: Revisión Bibliográfica

- 4.1 Sobre la Resolución de Problemas en Física**
- 4.2 Sobre el proceso de Resolución de Problemas en Física**
 - 4.2.1 Sobre los tipos de representaciones construidas en el proceso
 - 4.2.2 Sobre la habilidad de construcción de representaciones
 - 4.2.3 Sobre el modelado del proceso de Resolución de Problemas en Física
- 4.3 Sobre la tarea en la Resolución de Problemas en Física**
 - 4.3.1 Sobre el rol de los modelos disciplinares en la Resolución de Problemas en Física
 - 4.3.2 Sobre tipos de enunciados de problemas

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación es necesario definir y enfocar claramente los aspectos que se pretende indagar. Conocer algunos antecedentes del tema y el estado actual, permitirá presentar el contexto conceptual en el cual se inserta el presente trabajo. Revisar propuestas y métodos utilizados previamente permitirá delimitar el marco teórico sobre el proceso de resolución de problemas en física y sobre la propia tarea de resolución. El presente capítulo contiene la revisión organizada en tres ejes básicos: (1) investigaciones que reflejan en contexto histórico la investigación en resolución de problemas; (2) investigaciones enfocadas a aspectos del proceso de resolución y (3) investigaciones que centran su interés en la tarea de resolver problemas.

4.1 Sobre la Resolución de Problemas en Física

La resolución de problemas es una actividad tan cotidiana que posiblemente parezca difícil delimitarla como objeto de investigación. Un arquitecto que diseña un edificio, un técnico que repara un aparato electrónico, una persona que juega al ajedrez, un científico en el planteo de una investigación, un ama de casa que decide el menú para su familia. Todas estas situaciones constituyen ejemplos de resolución de problemas en ámbitos cotidianos. Si bien se presentan como tareas muy diferentes entre sí, poseen una característica que según Simon (1978) las convierte en un problema. Este autor señala que una persona se enfrenta a un problema cuando se involucra en una tarea que no sabe previamente cómo realizarla.

El intento de delimitar esta definición difusa de la tarea de resolver problemas, sin duda tiene un correlato histórico con la metodología utilizada y las distintas líneas de investigación predominantes. Las primeras investigaciones, fundamentalmente en las décadas del 60 y del 70, estuvieron dedicadas al estudio de la resolución de problemas lúdicos. En estos juegos, como el ajedrez o la torre de Hanoi, constituyen situaciones problemáticas bien determinadas, en las cuales el conocimiento necesario se encuentra reducido a un conjunto de reglas o acciones permitidas, que no requieren de ningún otro conocimiento adicional. Esto último constituyó la base del funcionamiento del *General Problem Solver*, programa diseñado por Simon, Newell y Shaw en 1958, capaz de resolver cualquier problema que pudiera ser formalizado lógicamente. En esta época se produce el auge del Procesamiento de la Información y el desarrollo de programas para resolver problemas. Según Simon (1978) este tipo de problemas es altamente estructurado y la posible extensión de los resultados obtenidos en investigaciones con este tipo de tareas son cuestionables. Sin embargo, estos trabajos, tanto experimentales con sujetos realizando las tareas como simulaciones computacionales, fueron capaces de proporcionar información sobre procesos perceptuales y de memoria (Simon y Chase, 1973).

A fines de la década del 70 se comenzó a destacar la importancia que tiene el conocimiento específico a la hora de resolver problemas. Y es específicamente desde la Física que esto comenzó a materializarse. La estructura disciplinar de la Física facilitó la incorporación del conocimiento específico en forma de reglas. A partir de una tesis de doctorado en Física (Larkin, 1979), investigación enmarcada en el Procesamiento de la Información, comienza a desarrollarse la línea de investigación conocida como diferencias entre expertos y novatos. Esta línea de trabajo incorpora a los modelos computacionales propuestos el conocimiento disciplinar necesario para resolver los problemas. Además de ser el puntapié inicial de los estudios en resolución de problemas en Física, estos trabajos han sido capaces de proveer una importante cantidad de información sobre características de sujetos expertos y sujetos novatos. Es para destacar que, siendo el principal objetivo de esta línea el diseño de sistemas resolvedores expertos, nunca tuvieron objetivos instruccionales. Sin embargo, ha sido posible tomar información sobre cómo los expertos y novatos resuelven problemas y a partir de esto derivar algunas implicaciones instruccionales. Esta línea de investigación fue la preponderante en los años 80 y gran parte de los 90 y con algunos cambios de estilo, sobrevive aun en estos días. Si bien estas propuestas han servido como base de muchas investigaciones posteriores las críticas fundamentales han estado dirigidas a la forma en que son tenidos en cuenta algunos factores como los conocimientos previos, el contexto, la creatividad, la toma de decisiones, etc. Es decir, que no resultan suficientes para dar cuenta de una actuación tan compleja como es la de un ser humano resolviendo un problema.

En particular, la actividad de resolver problemas es una parte fundamental en la mayoría de los cursos de Física. Muchos instructores se proponen que sus estudiantes aprendan a usar los principios y conceptos físicos para resolver problemas, sin embargo sólo

una fracción de los estudiantes de una clase muestra el desempeño deseado. Algunos de estos estudios sistemáticos sobre el aprendizaje en los estudiantes se han encargado de documentar la existencia de una considerable brecha entre los objetivos de los instructores y el nivel de conocimiento conceptual alcanzado por los sujetos en ámbitos de instrucción tradicional. Esta problemática confiere a la investigación en resolución de problemas una importancia fundamental, pero también una deuda pendiente. Es necesario generar mejoras en la instrucción. Y para ello se hace indispensable enfocar el problema desde otra perspectiva.

En la década del 90 se inician estudios en Ciencia Cognitiva para estudiar “la inteligencia y sistemas inteligentes, con particular referencia a comportamientos inteligentes sean humanos o no”. Simon, que sigue siendo una referencia obligada para hablar de fenómenos cognitivos, vincula de manera indisoluble a la actividad de resolución de problemas con los denominados comportamientos inteligentes. En su artículo “Foundation of Cognitive Science” del libro homónimo editado por Posner, establece que “la gente se comporta de manera inteligente cuando responde coherente y apropiadamente a cuestiones que le son planteadas o resuelve problemas de mayor o menor dificultad o cuando crea o diseña algo útil o bello o nuevo”. La Ciencia Cognitiva se desarrolla como un espacio interdisciplinar con aportes de: Neurociencia, Psicología, Lingüística, Inteligencia Artificial y Filosofía. Es entonces que las investigaciones comenzaron a orientarse a estudiar de qué manera se va desarrollando la estructura cognitiva y en qué medida ese proceso puede ser favorecido mediante estrategias instruccionales.

Es recién en las últimas dos décadas que la problemática del aprendizaje y educación en física se incorpora formalmente a los departamentos de Física, bajo la denominación “Physics Education Research (PER)”. Es prácticamente innecesario recalcar la naturaleza interdisciplinar de estos estudios. Diferentes grupos estudian distintos aspectos de la problemática de la educación en física, manteniendo como base de interlocución precisamente ese vínculo: “educar en física”. Así, estudios de currículum de física, el laboratorio en la educación en física, la enseñanza de la física para no físicos, la historia y epistemología en la formación de físicos, la formación de profesores de física, desarrollo de materiales curriculares para enseñar física, el fracaso en los cursos de física, son algunos de los innumerables tópicos hoy estudiados. Dependiendo de dónde esté el foco del problema que se pretende estudiar y las hipótesis que se elaboren, se buscará subsidio teórico en otras áreas, sociología, pedagogía, psicología, para poder elaborar enunciados que permitan estudiar las cuestiones planteadas.

Si bien se ha constituido en el objeto de investigación desde ya hace tiempo, la investigación en resolución de problemas en Física no ha logrado conseguir un impacto relevante en las aulas. En algunos casos, se han diseñado estrategias de enseñanza para cursos de Física de distintos niveles del sistema educativo. A pesar de esto, las implementaciones de dichas propuestas han resultado siempre puntuales y en cursos aislados. Muy posiblemente la falta de acuerdo en cuanto a referenciales teóricos que provean una base conceptual y la gran diversidad de abordajes metodológicos, registros e instrumentos, hace que los resultados obtenidos no constituyan un conjunto con el suficiente consenso (Gangoso, 1997).

Resulta casi natural que un problema de investigación de suma complejidad como es la resolución de problemas haya producido tantos cambios en las formas de abordarlo. Sin dudas, estas modificaciones han originado la gran diversidad de abordajes metodológicos, registros e instrumentos a los que hace referencia Gangoso. Para muestra de estos cambios de enfoque y de la diversidad de abordajes, es posible recurrir a varias revisiones bibliográficas disponibles para educación en Física y Resolución de Problemas.

Es posible destacar las revisiones de Costa (1996), Gangoso (1997) y Mc Dermott y Redish (1999). Las dos primeras, en el ámbito latinoamericano y en el marco de sendas tesis doctorales, presentan visiones complementarias en sus criterios de organización en relación a

los temas de investigación abordados. Por otra parte, Mc Dermott y Redish presentan una categorización de trabajos en relación a varios aspectos de la investigación en Educación en Física entre ellos, la resolución de problemas. Más recientes, las revisiones de Fávero y Gomes de Sousa (2001), Taconis, Ferguson-Hessler y Broekkamp (2001), Hsu, Brewe, Foster y Harper (2004), Costa y Moreira (2006), Solaz-Portolés y Sanjosé (2007), Malone (2007) y Vasconcelos, Lopes, Costa, Marques y Carrasquinho (2007) presentan estados del arte de diferentes perspectivas sobre resolución de problemas en el ámbito de las ciencias. Por último, Berg (2012) presenta una revisión orientada a investigaciones relacionadas con el desarrollo de simulaciones y modelizaciones para la enseñanza de la Física, mientras que Meltzer y Thornton (2012) recopilan trabajos relacionados con la metodología del Aprendizaje Activo de la Física. Es posible señalar que algunas revisiones están más orientadas a la revisión de estudios que consideran variables cognitivas vinculadas al desempeño, mientras que otras a revisar investigaciones que tengan que ver con la enseñanza.

Resulta interesante mostrar de qué manera se ven reflejados en estas revisiones los cambios de enfoques y abordajes en la investigación en el área. Para ello se presentan brevemente algunas de las mencionadas anteriormente.

En la revisión realizada por Gangoso (1997, 1999) se presenta una interesante categorización de los trabajos relevados a partir de los factores explicativos considerados: la tarea, la persona que resuelve, el proceso psicológico puesto en juego y el entorno. También incluye, pero no como factor explicativo, aquellas investigaciones referidas a la metodología de la investigación y al desarrollo de instrumentos para recoger información.

En esta revisión se indica que existe una diversidad de enfoques teóricos y metodológicos evidenciada tanto en la definición y caracterización de las variables de las investigaciones como del problema a investigar. La autora señala que, si bien se comienzan a notar algunos vestigios de coordinación en las distintas investigaciones, aun es posible señalar algunos aspectos importantes que para esa época se presentan abiertos. Uno de estos aspectos es que las características de la tarea propuesta como problema siguen siendo fuertemente dependientes de los objetivos de la investigación. Otro aspecto, es que las investigaciones son en su mayoría descriptivas y enfocadas en identificar características de resolvedores exitosos, sin posibilidad de identificar la manera en que alcanzaron esa categoría.

Otra buena reseña del material existente en investigación en Educación en Física, contemporánea a la de Gangoso (1997, 1999) se presenta en el trabajo de McDermott y Redish "Resource Letter: PER-1: Physics Education Research" en *American Journal of Physics* de 1999. El mismo constituye una recopilación de los trabajos que, a criterio de los autores, resultaron entre los más trascendentales en las décadas del 80 y 90. Las referencias pertenecen a variados aspectos de la Educación en Física, incluidas algunas sobre resolución de problemas. Criterios bien especificados guían esta recopilación de trabajos: nivel universitario, investigaciones sistemáticas, descripción de procedimientos que posibiliten replicación, trabajo más relevante de un mismo autor sobre el mismo tópico, trabajo más trascendente sobre el mismo tópico por distintos autores.

En un análisis de esta revisión (Truyol, 2006) se muestra que, sobre un total de 224 trabajos catalogados, casi un 70% de los trabajos incluidos en la misma son empíricos, menos de un 10% de ellos son dedicados a estudios cognitivos relacionados con Educación en Física y menos de un 10% son dedicados a reportar materiales instruccionales basados en la investigación. El porcentaje restante de publicaciones se reparte en actas de conferencias, revisiones, discusión de perspectivas teóricas y otros trabajos.

En 2004 aparece en *American Journal of Physics* una revisión específica sobre resolución de problemas: "Resource Letter RPS-1: Research in problem solving" (Hsu et al., 2004). En esta publicación se incluye la reseña de trabajos que abarcan desde investigaciones

sobre procesos cognitivos involucrados en la resolución de problemas, hasta aquellas que analizan el efecto de distintos materiales instruccionales en el aprendizaje de los estudiantes, pasando por una gran variedad de estudios. Los autores realizan la selección de artículos teniendo en cuenta especialmente a dos tipos de lectores: por un lado, físicos involucrados en la investigación en resolución de problemas y, por el otro, profesores de física interesados en la utilización de resultados de investigación para mejorar el desempeño de sus estudiantes. Los 109 trabajos son catalogados de acuerdo a la categorización presentada en Tabla 4.1.

En 2012 aparecen dos revisiones relacionadas con la educación en Física: “Resource Letter PhD-2: Physics Demonstrations” (Berg) y “Resource Letter ALIP-1: Active Learning Instrucción in Physics” (Meltzer y Thornton) ambas, como corresponde a esta serie, en *American Journal of Physics*. La enseñanza por Aprendizaje Activo es una metodología que ha crecido mucho en los últimos años en Estados Unidos. La misma está basada en un ciclo de trabajo basado en cuatro puntos: predicción, observación, discusión y síntesis. De esta manera, con distintas técnicas se involucra a los estudiantes en actividades que mejoran la comprensión conceptual y las capacidades de razonamiento. La resolución de problemas es una de las actividades consideradas. Las clases demostrativas (physics demonstration) son una estrategia basada en la metodología del Aprendizaje Activo, en la cual se utilizan distintos recursos como experimentos, simulaciones, modelizaciones, videos, etc. Estas dos reseñas presentan una extensa serie de fuentes de recursos, libros sobre la metodología, trabajos que muestran resultados de aplicación de las mismas, propuestas de intervención, agrupados por niveles y por temas, y también trabajos de investigación que involucran estas metodologías.

Con la presentación de estas dos últimas revisiones, si bien se pierde detalle en cuanto a la resolución de problemas, se pretende mostrar de qué manera ha cambiado el lugar que ocupa la instrucción y el diseño de propuestas instruccionales en la educación en Física. Mientras en RL-PER-1 de 1999 solo el 10% de los trabajos reportados correspondían a diseños instruccionales, poco más de 10 años después es posible encontrar RL dedicadas específicamente a este tipo de trabajos. Lo que se considera auspicioso es que cada vez hay más trabajos que reportan la aplicación de distintas metodologías y que de a poco estas metodologías pueden ir mejorando y haciéndose de una aplicación más distribuida.

Es posible notar, a partir de las revisiones presentadas específicas sobre Resolución de Problemas (Gangoso, 1999; Hsu et. al., 2004), que la categorización de los trabajos es fuertemente orientada por los objetivos con los cuales se realiza dicha revisión. Sin embargo ambas revisiones coinciden en señalar que la mayoría de las investigaciones a las que se hace referencia han sido de tipo empírico más que teórico. Una cuestión interesante de destacar es que, si bien a primera vista las categorizaciones de los trabajos aparecen como distintas, existe una base que subyace de manera común a ambas. Es posible distinguir cuatro grandes aspectos relacionados a la resolución de problemas: la incidencia de la tarea, la importancia de la persona que resuelve, los procesos psicológicos o cognitivos involucrados y otros factores del entorno. Son estos grandes aspectos los que pueden orientar la realización de una búsqueda bibliográfica en relación a los objetivos de la presente investigación.

La variedad de enfoques que evidencian estas revisiones destaca la importancia de precisar con claridad aquellos aspectos en los que una investigación pretende indagar. Es este caso, el proceso de resolución de problemas y el tipo de tarea a la que llamaremos problema. Como señala Johnson-Laird (1983, en Moreira, 1999) la mente siempre será más complicada que cualquier teoría respecto a ella. Por esto, no se cuenta con teorías cerradas sobre los procesos de razonamiento. Sin embargo se puede afirmar que a partir de un marco teórico coherente es posible interpretar, organizar y generalizar las observaciones, identificar preguntas para nuevas investigaciones y reconocer nuevas direcciones de investigación.

Por todo esto, y en relación a los objetivos de la presente investigación se realiza una revisión bibliográfica sobre los dos aspectos que resultan centrales:

- 4.2 *Sobre el proceso de Resolución de Problemas en Física*
- 4.3 *Sobre la tarea en la Resolución de Problemas en Física*

Tabla 4.1: Reseña bibliográfica sobre investigaciones en Resolución de Problemas en Física (Hsu et al. 2004)

I. Referencias Generales	
A. Revistas	12
B. Proceedings	4
C. Libros y capítulos de libros	7
D. Otras revisiones	5
II. Definiciones de "problema"	6
III. Aspectos cognitivos	
A. Uso de representaciones	7
B. Estrategias y estructuras de conocimiento	7
C. Demandas cognitivas y memoria de trabajo	6
IV. Características expertos-novatos	
A. Diferencias en procedimientos	9
B. Diferencias en estructura de conocimiento	6
V. Resolución de problemas en matemática	
A. Matemática como lenguaje de la Física	6
B. Transferencia de Matemática a otros contextos	5
VI. Tipos de problemas alternativos	
A. Planillas de problemas de Aprendizaje Activo	2
B. Problemas ricos en contexto	2
C. Problemas experimentales	3
D. Problemas de decisión	1
E. Planteamiento de problemas	1
F. Tareas de clasificación	3
VII. Intervenciones curriculares	13
VIII. Resolución de problemas y computadoras	
A. Modelado computacional de la resolución de problemas	5
B. Resolución de problemas asistido por computadoras	7
C. Recursos web para la resolución de problemas	4

4.2 Sobre el proceso de Resolución de Problemas en Física

Entender que resolver problemas es un proceso cognitivo de alto nivel y complejo ha servido como disparador de uno de los avances más relevantes en el estudio de la resolución de problemas. Esta tarea constituye un proceso que no puede ser medido en términos de sus productos, aun cuando éstos sean de importancia.

La noción *modelo mental* fue introducida en los años ochenta a partir de desarrollos en psicología cognitiva. Si bien presenta diferencias entre autores, existe consenso entre sus aspectos funcionales (Otero y Tapiero, 2002). El constructo *modelo mental* otorga la posibilidad de generar preguntas, anticipar, predecir, explicar. En este sentido es un análogo al modelo científico. De esta manera se define al *modelado* como el proceso cognitivo por medio del cual se construyen los *modelos mentales*.

Si bien no es objeto de este trabajo discutir en profundidad la noción de modelo propiamente dicha, se considera de utilidad presentar la distinción propuesta por Norman (1983) para comprender de qué modelo se habla cada vez que se menciona el término asociado al proceso de resolución de un problema de física. Sea una situación o fenómeno físico T , del tipo de las situaciones que se describen en los problemas utilizados en instrucción formal. La comunidad científica la describe y explica mediante un modelo conceptual que se puede simbolizar como $M_c(T)$. Esta construcción es pública y consensuada. Las personas que son enfrentadas a tal situación, para comprenderla o decir algo de ella, generan una representación interna, un *modelo mental* que podemos simbolizar como $M(T)$. Esta representación es personal, idiosincrásica y puede no coincidir con la propuesta por la comunidad científica. A su vez, los psicólogos cognitivos que desean estudiar las representaciones generadas por sujetos, elaboran un constructo teórico sobre el *modelo mental*, que por analogía se puede denominar $M_c[M(T)]$. Este último es el modelo conceptual del modelo mental de la situación T . Esta construcción es también pública y consensuada, al menos por una parte de la comunidad científica dado que los $M_c[M(T)]$ son construidos en el marco de un área de investigación en desarrollo.

En este trabajo se asume que en el proceso de resolución de problemas el sujeto construye representaciones internas de tipo $M(T)$ que evolucionan a medida que avanza el proceso. Como se trata de un fenómeno no accesible a observación directa, el estudio de los $M(T)$ necesita operacionalizar el constructo $M_c[M(T)]$. Para ello, este constructo debe contar con enunciados teóricos que definan con la mayor precisión posible los procesos puestos en juego durante la resolución. De esta manera, la relación entre el proceso de resolución de problemas y los modelos queda planteado en tres niveles. Dos de estos niveles están relacionados con lo que hemos llamado $M(T)$, es decir aquellas representaciones internas construidas por el resolutor. Por un lado, mediante el tipo de representaciones $M(T)$ construidas y por el otro mediante las habilidades de construir esos $M(T)$. El tercer nivel tiene que ver con lo que se presentó como $M_c[M(T)]$, es decir el modelo construido sobre la actividad de resolución de problemas. Son estas las relaciones que guían la presentación de la revisión.

Al realizar una revisión bibliográfica general sobre modelos y resolución de problemas en Física es importante tener en cuenta que son variadas, y de distinta naturaleza, las relaciones que pueden ser encontradas. Por esto, toda revisión y en particular los criterios de selección para la realización de la misma, dependerá del enfoque central elegido. En particular, para esta investigación, de acuerdo al enfoque presentado en los párrafos anteriores, se presentan en las secciones siguientes una revisión de los siguientes aspectos:

- 4.2.1 *Sobre los tipos de representaciones construidas en el proceso.*

- 4.2.2 *Sobre la habilidad de construcción de representaciones.*
- 4.2.3 *Sobre el modelado del proceso de Resolución de Problemas en Física.*

4.2.1 Sobre los tipos de representaciones construidas en el proceso

Habitualmente se ha denominado estructura de conocimiento a aquellas representaciones mentales (internas) mediante las cuales es posible codificar, almacenar, recuperar y transformar información. Por otro lado, se han denominado representaciones externas a aquellas creaciones humanas que permiten pensar o consensuar información sobre algún contexto diferente. En tareas de razonamientos existe una interrelación entre las representaciones externas presentadas al sujeto o producidas por él y las representaciones internas construidas por él. No se pretende entrar en la discusión sobre si la cognición es solamente interna o es distribuida, pero considerando a la resolución de problemas como un proceso cognitivo de alto nivel, cabe entonces plantear preguntas del tipo ¿qué tipo de representaciones son construidas durante el proceso de resolución de problemas? ¿Cómo se relacionan entre si estas representaciones construidas?, sean estas representaciones internas o externas.

Presentaremos inicialmente algunas propuestas para representaciones internas, para luego atender el caso de las representaciones externas.

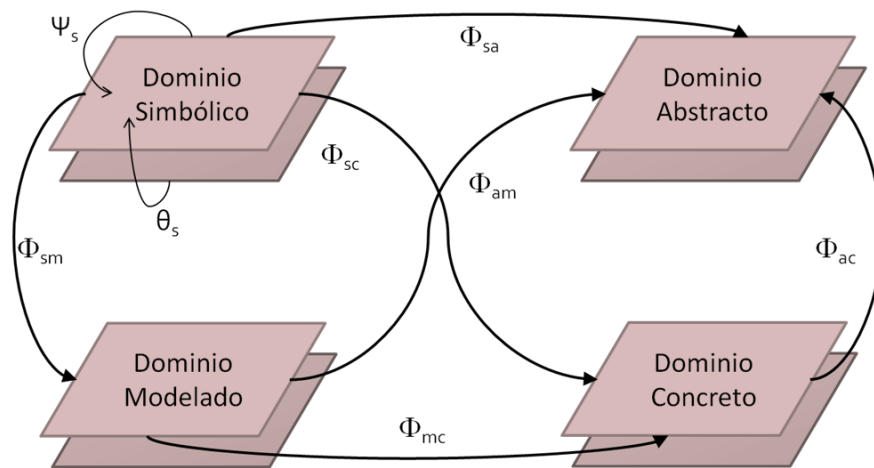
Gran parte de los estudios que caracterizan comportamiento de expertos y novatos, asumen la idea de construcción de distintas representaciones en el proceso de solución. Ya desde los años ochenta se reconoce que un aspecto relevante del comportamiento de un *experto* consiste en que éste intenta comprender la situación, elabora una discusión y realiza predicciones cualitativas y, sobre esa base, construye una representación formal del problema. Esta representación formal, subsume los objetos y eventos descritos en la situación en conceptos, leyes y principios, dando lugar a modelos físicos abstractos que se escriben, finalmente, en lenguaje matemático. Su competencia para resolver problemas de física radica por tanto, en la habilidad para representar las situaciones del mundo en términos de estos modelos. (Chi et al. 1981; Novak, 1982; Kintsch y Greeno, 1985; Greeno, 1989; Kook, 1991; Nathan, Kintsch y Young, 1992; Halloun, 1995; Sensevy et al, 2008). Todos estos autores manejan la idea de la existencia de niveles de representación de distinta naturaleza ontológica.

Las propuestas más básicas relacionadas a los distintos tipos de representaciones construidas sostienen la existencia de al menos dos niveles de representación: concreto y abstracto. Por ejemplo Sensevy et al, 2008 plantea una hipótesis de carácter epistemológico: el modelado es la base del procesamiento del conocimiento en física. Según este autor, esta elección implica que el conocimiento en física involucra relaciones entre dos mundos: el mundo de los elementos abstractos, las teorías y el mundo de los objetos y eventos cotidianos. De esta manera, la comprensión conceptual necesita establecer relaciones entre elementos conocidos dentro de un mundo y entre los mundos. A partir de esto, sostienen que las actividades de enseñanza deben estar preparadas para que los estudiantes construyan relaciones entre ambos tipos de representación y también relaciones internas dentro de cada tipo de representación. Lemeignan y Weil-Barais (1994) también proponen estos dos niveles de representación.

Por su parte, el *Modelo Semántico Extendido* de Greeno (1989) propone un marco basado en cuatro dominios, que el autor denomina de conocimiento. Estos son el *dominio concreto* compuesto por objetos y eventos concretos, el *dominio modelo* que incluye modelos de la realidad y abstracciones, el *dominio abstracto* formado por conceptos, leyes y principios y por último el *dominio simbólico* que incluye el lenguaje y el álgebra. Greeno sostiene que su

propuesta es una teoría “relacional” del conocimiento ya que pretende enfatizar las relaciones persistentes entre el conocimiento a nivel de objetos cotidianos y al nivel de representaciones, teóricas y abstractas, de esos objetos. Afirma que la resolución de problemas y el razonamiento involucran el conocimiento de los elementos dentro de cada dominio, la relación entre ellos, las reglas de funcionamiento dentro de cada dominio y la realización de correspondencias entre distintos dominios. Estos dominios, de distinta naturaleza ontológica, son considerados por el autor como modelos mentales (Greeno, 1989; Roschelle y Greeno, 1987). Esta propuesta pretendió avanzar sobre la criticada teoría computacional, en la cual el conocimiento es visto como una red de asociaciones y procedimientos para realizar inferencias en la mente. Se entiende el conocimiento como una relación entre el individuo y una situación, en lugar de una propiedad individual. Propone que el razonamiento sería situado en tanto utiliza recursos de las situaciones más que cálculos con símbolos para obtener conclusiones.

Ilustración 4.1: Modelo Semántico Extendido. Adaptación de Greeno, 1989, p. 310.



Una representación gráfica de la propuesta de Greeno es presentada en Ilustración 4.1. Si bien el autor la presenta como una teoría relacional del conocimiento, propone que las relaciones entre los distintos dominios de conocimiento (Φ), e incluso las relaciones entre entidades y/o estructuras dentro de un mismo dominio (Ψ y θ), como funciones de correspondencia y no como procesos psicológicos. Es solo un mapeo entre entidades. También resulta limitado en cuanto a que su interés es primordialmente semántico. Presenta solo algunas de las relaciones entre dominios, aquellas que van de los sistemas de simbólicos a sus dominios de referencia. Sin embargo, esta propuesta resulta interesante ya que presenta a dominios, representaciones, de distinta naturaleza ontológica. Es posible pensar en cómo realizarían las personas las relaciones entre los dominios, qué habilidades hay por detrás de este mapeo que Greeno propone, de qué manera el individuo puede construir y re construir las representaciones y las relaciones entre ellas, etc. Por último, si el razonamiento y la resolución de problemas implican la realización de correspondencias entre los dominios propuestos, ¿habrá diferencias en estos procesos si son activados a partir de objetos concretos o a partir de objetos simbólicos?

Es interesante la utilización de la propuesta de Greeno realizada por Gagher, Rogan y Braun (2007). En este trabajo se presenta una interpretación, aunque no explícita, de la propuesta de Greeno, ya que no se evidencia en la bibliografía citada que dicha propuesta

haya sufrido posteriores modificaciones. La diferencia fundamental está relacionada con el significado que se les asigna a las funciones de transición propuestas por Greeno. En la propuesta de Gaigher et al parecerían estar relacionadas a habilidades de cambio de representación, y asumir que dicho cambio puede ocurrir en ambas direcciones. Una representación gráfica de esta propuesta puede ser encontrada en Gaigher et al. (2007, p. 1093).

Avanzando un poco más allá del tipo de representación interna construida en el proceso de resolución de problemas, es posible comenzar a pensar de qué manera se interrelacionan las representaciones construidas. Pueden encontrarse fundamentalmente dos posiciones considerablemente diferentes al respecto. Una posición de construcción de representaciones más lineal, centrada en el cambio de un tipo de representación a otra, en el cual prácticamente se abandona la representación original (McDermott y Larkin, 1978, en Roschelle y Greeno, 1987). En esta posición, la hipótesis es que la representación del problema es construida en una progresión lineal y los aspectos superficiales del problema (como el tipo de enunciado) tienen poco que ver con la obtención de la solución una vez que ya se ha podido construir la representación formal (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Larkin, 1983 en Roschelle & Greeno, 1987). Por otro lado, existe una posición en la que la construcción de representaciones requiere de una relación permanente entre los distintos tipos de representaciones construidas. En esta visión, la resolución de un problema y las habilidades de razonamiento involucran la existencia de fuertes lazos entre las distintas representaciones construidas, posibilitando el reconocimiento de conflictos y la producción de representaciones mutuamente consistentes (Roschelle & Greeno, 1987; Greeno, 1989; Nathan, Kintsch y Young, 1992). En la siguiente sección, *Sobre el modelado del proceso de Resolución de Problemas en Física*, página 48, se presentan en mayor profundidad algunas investigaciones que tienen que ver con la capacidad de construir e interrelacionar estas distintas representaciones.

A pesar de la importancia que tiene para la habilidad de modelado la interrelación entre la situación concreta y su descripción formal, son diversos los autores que reconocen la problemática generada por su disociación. Señalan que generalmente los estudiantes mantienen disociadas las representaciones simbólicas de sus representaciones concretas asociadas. Muchas veces es posible que una persona pueda realizar tareas de razonamiento en una situación cotidiana, pero que sea incapaz de razonar formalmente en las mismas situaciones. Por ejemplo, un niño puede sumar perfectamente los caramelos que tenía guardados con los que compró posteriormente. Sin embargo, el algoritmo de suma que le es enseñado en la escuela le resulta difícil y comete muchos errores. En el caso del ámbito de la Física, los estudiantes son capaces de realizar inferencias sobre el movimiento de objetos sin emplear las Leyes de Newton. Pero puestos a trabajar con las expresiones formales de las mismas leyes, las utilizan inapropiadamente. En algún punto no terminan de comprender que las expresiones formales son otra representación de la misma situación, y mantienen de manera independiente estas dos representaciones de conocimiento. (Roschelle y Greeno, 1987; Chi, Feltovich y Glaser 1981; Nathan et al, 1992; Lemeignan y Weil-Barais, 1994; Gerace, Dufresne y Leonard, 1997; Greeno, 1989; Gaigher, Rogan y Braun, 2007; Sensevy et al, 2008).

Como una especie de bisagra entre las representaciones internas y las representaciones externas, se presenta la noción de *visualización* propuesta por Gilbert (2005, 2008). La visualización se entiende como la construcción de significados de las representaciones. El nombre proviene de pensar que esta comprensión se efectúa mediante percepciones visuales. El autor señala que la idea de modelar implica la reducción progresiva del mundo, tal como es experimentado, a un conjunto de signos abstractos. En esta reducción los sujetos forman tres tipos de visualizaciones, que para el autor son representaciones internas: un nivel macroscópico, general, que permite representar generalidades del mundo percibido a gran escala; un nivel sub microscópico, más específico, que permite representar

aquellas entidades, relaciones que se supone que existen y causas; un nivel simbólico en el cual la entidades y relaciones son representadas mediante letras y símbolos.

La visualización, como se mencionó anteriormente, depende de la percepción y la manipulación mental de objetos. Considerando un pensamiento de tipo espacial, propone pensar que el espacio tridimensional es simplificado en una representación bidimensional que a su vez es simplificada en una representación unidimensional. En este sentido, es posible efectuar representaciones concretas en 3D como modelos a escalas, gestos; representaciones 2D como dibujos, diagramas, esquemas, representaciones virtuales, etc. y representaciones en 1D como símbolos y palabras.

Gilbert sostiene que la visualización se produce la mayoría de las veces por la percepción de representaciones de tipo externas, salvo casos extremos de originalidad y creatividad. Es por esto que estas representaciones definidas en el espacio mental tridimensional también pueden ser pensadas en el espacio tridimensional concreto.

La permanente relación entre lo abstracto y lo concreto presentada anteriormente se manifiesta entonces tanto para las representaciones internas como las representaciones externas. En este sentido, resulta útil la distinción presentada por Gilbert (1999, 2005, 2008), en la cual clasifica los distintos tipos de modelos generados según su estatus epistemológico. Entre ellos destaca:

- Modelo mental: representación privada y personal inaccesible a otras personas.
- Modelo expresado: versión del modelo de dominio público que facilita la comunicación.
- Modelo consensuado: modelo expresado acordado por algún grupo (cualquier grupo)
- Modelo científico: modelo expresado acordado por la comunidad científica.
- Modelo histórico: modelo científico superado.
- Modelo curricular: versiones simplificadas de modelos científicos o históricos.
- Modelo de enseñanza: creados para facilitar el aprendizaje.
- Modelo híbrido: combinan varias características de diferentes modelos históricos.

Cada uno de los modelos expresados, de dominio público, puede ser representado de distinto modo. Los mismos se comunican utilizando tanto lenguajes verbales como no verbales. Estos distintos formatos difieren de autor en autor, según cuáles sean los fines de la clasificación. Para mencionar algunos: verbal, matemático, gráfico, pictórico (Kohl, 2005, 2006); palabras, símbolos, imágenes, acciones (Lemke, 2004); material, visual, verbal, simbólico (Gilbert, 2005); lenguaje natural, lenguaje técnico, lenguaje matemático (Barojas, 2007)

Cada sistema de representación y sus componentes tienen códigos de interpretación formados por una serie de convenciones por medio de las cuales es posible la representación de las entidades y relaciones. Aprender esos códigos de interpretación ya es una tarea que presenta dificultad para los estudiantes, más aún poder cambiar de un modo a otro. Trabajos desarrollados hasta el momento ponen de manifiesto que la habilidad de *cambio de representación* de un sistema a otro requiere que el sujeto comprenda las expresiones en el sistema de partida y, comprenda y pueda producir representaciones en el sistema de llegada. (Drudi et al, 2008). Este cambio de representación no implica una mera equivalencia (uno a uno), sino una producción en otro sistema.

En todos los casos los autores señalan una fuerte interrelación entre los distintos formatos, remarcando la necesidad de una utilización complementaria para transmitir los significados ya que cada uno de los formatos puede resultar en si mismo incompleto. Cada sistema tiene distintos alcances y puede resultar más favorable para transmitir ciertas ideas,

pero en general se utilizan de manera complementaria. Estos sistemas de representaciones propuestos son una construcción cultural.

Por lo dicho hasta aquí, todo modelo consensuado tiene una relación identificada con lo que representa (el referente). Esta relación está dada por la naturaleza de las simplificaciones hechas y los propósitos y suposiciones realizadas. Todo modelo consensuado es presentado, al dominio público, a través de algún modo de representación. Cada modo de representación posee sus propios alcances y limitaciones, por lo tanto, se utilizan varios modos de representación, cada uno considerando aspectos específicos del modelo que se quiere representar.

En el caso particular de las ciencias, no es posible comunicarla solamente por medio del lenguaje (natural) ya que este resulta muy limitado. Según Lemke, cada concepto científico es simultáneamente un símbolo en un sistema verbal, en un sistema operacional de acciones, también en un sistema de representaciones visuales y en un sistema de representación matemático. La construcción de significados de ese concepto no se produce por una suma de los significados en cada uno de los sistemas, sino de una combinación e integración de los mismos. Es justamente esta multiplicidad de significados la que le confiere el poder a los conceptos científicos.

El problema de la utilización del lenguaje natural para describir fenómenos físicos es tratado por varios autores. (Williams, 1998; Brookes y Etkina, 2007; Sensevy et al, 2008). Es común en ellos el señalar que el tema de la utilización del lenguaje como forma de representar el conocimiento en las ciencias, y en particular en la física, no ha sido considerado de importancia.

Williams señala que los físicos utilizan una gran cantidad de vocabulario técnico en el cual muchas de las palabras utilizadas, a las cuales se las define con especial cuidado y precisión, son palabras de uso habitual que pueden tener o no el mismo (pero menos preciso) significado o no. Son *palabras viejas con nuevo significado*. Este lenguaje depende de un conjunto de suposiciones y definiciones que son compartidos si el emisor y el receptor pertenecen ambos a la comunidad científica y deben ser explicitadas cuando el receptor no es un experto en el tema.

Brookes y Etkina sostienen que el lenguaje puede modelar la realidad. En particular, cualquier profesional habla sobre temas de su disciplina utilizando vocabulario específico cuyo significado puede no ser comprendido por todos. La física no es ajena a esta situación. Los autores plantean que la comprensión de ideas y procesos físicos proviene de la asimilación, coordinación e interrelación de los distintos tipos de representaciones. Sostienen que, entonces, la habilidad que deben desarrollar los estudiantes es representar estas ideas y procesos en diferentes formatos. Esto implica construir significados. Sin embargo, en la construcción de estos significados puede haber diferencias entre el significado construido por el estudiante y el significado que el profesor intenta transmitir. Los códigos no pueden ser pasados del profesor al estudiante. Se deben generar intervenciones en las cuales el profesor ayude a los estudiantes a construir y elaborar dicho código. De esta manera los estudiantes podrán utilizar el código adquirido para decodificar la información que se le presenta.

Desde otra perspectiva, Sensevy et al (2008) también hacen referencia a esta necesidad de compartir significados. Señalan que enseñar ciencia en clase supone la construcción de un *pensamiento colectivo* específico. Este pensamiento colectivo se caracteriza tanto por lo que hace posible como por lo que inhibe. Implica la existencia de una serie de negociaciones y acciones coherentes que dan forma a la actividad. Esto se relaciona con un estilo de discurso que debe adquirirse progresivamente a través de las situaciones de enseñanza específicamente diseñadas. Por ejemplo, para comprender las leyes de Newton es necesario compartir conocimiento conceptual (fuerza, masa, aceleración) pero también poseer

nociones más comunes como igualdad, multiplicación. El significado de estas nociones está relacionado al sentido común, pero va más allá de eso. El sentido común provee una primera base que es refinada con el uso de leyes. Los autores proponen que esta redefinición es una cuestión de lenguaje.

En este sentido, los problemas lingüísticos, sobre todo en los cursos de física introductoria, pueden producirse tanto por utilización impropia del vocabulario o por una comprensión imprecisa del mismo. Se estaría hablando sobre la necesidad de compartir explícitamente los significados, ya que el estudiante difícilmente posee el conocimiento previo suficiente como para “completar” aquellas cosas que no se dicen explícitamente o no se escriben, en el caso de textos, para hacer este discurso comprensible. Esto es algo que no se puede dejar de tener en cuenta a la hora de preparar enunciados de problemas.

Se desea concluir esta sección con un comentario de tipo metodológico relacionado con el tema discutido. Aquellas investigaciones dedicadas a estudiar las representaciones internas construidas por los sujetos ante la tarea de resolución, lo hacen mediado por las representaciones externas que dichos sujetos producen (Roschelle y Greeno, 1987; Nathan et al, 1992; Moreira y Greca, 1998; Cabral da Costa y Moreira, 2002; Itza-Ortiz, Rebello & Zollman, 2004; Gangoso, Truyol, Gattoni y Brincones Calvo, 2008; Truyol y Gangoso, 2010). Ya sean protocolos verbales o actividades escritas, se trabaja con los productos de los procesos mentales realizados. Como señalan Buteler y Gangoso (2008) lo que los sujetos escriben es el resultado del proceso de pensamiento puesto en juego durante la resolución. Obviamente, el trabajo con protocolos verbales proporciona una mayor calidad de datos, ya que siempre el sujeto escribe menos de lo que podría verbalizar. Sin embargo, el trabajar con actividades de lápiz y papel se convierte en una alternativa ante muestras numerosas y posibilita contar con mayor densidad de datos.

4.2.2 Sobre la habilidad de construcción de representaciones

Las habilidades de construcción y utilización de las representaciones son habitualmente presentadas como aquellas habilidades de modelado. Los autores reconocen a estas habilidades como centrales en el proceso de aprendizaje de las ciencias y en particular la Física.

La resolución de problemas es una de las tareas más utilizadas en las aulas de física. Prácticamente independientemente del nivel educativo y de la orientación de la enseñanza, es la actividad central elegida por los profesores. Una probable explicación puede encontrarse en el hecho de que para algunos autores, y quizás para muchos profesores, la resolución de problemas es casi indistinguible del pensamiento (Mayer, 1983), en tanto que para los físicos la resolución de problemas es constituye el núcleo de la actividad profesional (Van Heuvelen, 1991; Nersessian, 1995). En este sentido, la práctica de la ciencia no solo requiere del conocimiento conceptual, sino que también requiere que los graduados desarrollen en su etapa de formación un conjunto de habilidades específicas que les permitan desenvolverse con éxito en su profesión. Entre estas habilidades específicas, siendo quizás de las más relevantes por su carácter integrador, se encuentra la de modelar situaciones e interpretar modelos (Murthy y Etkina, 2004; Etkina et al, 2006; Sensevy et al, 2008). Estas habilidades no son capacidades innatas en los sujetos y no forman parte del conocimiento que puede ser adquirido en el contexto cotidiano, por tanto si no son puestas en juego o exigidas en una tarea instruccional, no tienen por qué desarrollarse. Un estudio muestra que estas habilidades no se desarrollan en muchos estudiantes, y una posible explicación, pero no la única, es que no

son puestas en juego ante los problemas propuestos (Truyol, 2006). Por otro lado, existen evidencias experimentales de que es posible contribuir, por medio de estrategias instruccionales específicas, al desarrollo de estas habilidades requeridas en los profesionales en el contexto laboral diario (Etkina et al, 2006; Sensevy et al, 2008).

Si bien la revisión sobre el modelado del proceso de resolución de problemas será presentado en la próxima sección, las investigaciones con este marco epistemológico tienen subyacente la idea de habilidades para construir esos modelos del proceso. Por eso se presenta en esta sección algunos de estos trabajos. Para muchos autores, el proceso de modelado en Física es una actividad central por la cual se genera una representación, parcial, reducida, de las situaciones del mundo real que son traducidas a sistemas físicos. Esta actividad además de incluir la construcción de modelos nuevos, puede también abocarse a la modificación o refinamiento de modelos existentes o a la utilización de los modelos existentes en algún contexto específico novedoso (Halloun, 1996; Gilbert, 1998a, 1998b). En particular, dentro de la línea de la Inteligencia Artificial y del Procesamiento de la Información se ha perseguido el objetivo de crear mecanismos expertos que resuelvan problemas. Los autores enmarcados en esta línea de trabajo presentan la actividad de resolución de problemas como una actividad esencialmente de modelado (Novak, 1982; Greeno, 1989; Halloun, 1995).

Por ejemplo, en los trabajos de Novak (1982) y Kook (1991) se consideran explícitamente algunos de los principales resultados de las investigaciones sobre diferencias entre expertos y novatos para el diseño de un modelo computacional para la resolución de problemas en física: La habilidad de seleccionar los modelos científicos apropiados es lo que comúnmente se denomina *intuición física* (Larkin, Mc Dermott, Simon y Simon, 1980); Los físicos expertos toman cierto tiempo para “modelar” físicamente la situación antes de escribir alguna ecuación (Larkin, 1981); Los expertos agrupan los problemas en base a su estructura profunda, esto es en base a modelos físicos apropiados para su resolución (Chi et al, 1981).

Por su lado, Halloun (1995) realiza una argumentación sobre las ventajas de la utilización de la modelización como marco epistemológico en la enseñanza de la Física. Enfocado en la resolución de problemas, se basa en la reseña de algunos de los principales resultados de investigación en relación a la utilización de los modelos en el nivel universitario. Todos estos resultados apuntan al desarrollo, en distintas facetas, de habilidades de modelado. Los considerados por este autor son: Los estudiantes pueden aprender significativamente ciencias cuando se les presenta a partir de modelos (Clement, 1989; White, 1993); El discurso científico de los estudiantes mejora significativamente, en particular cuando son cuestionados para defender la validez de los modelos (Stewart et al., 1992; White & Frederiksen, 1990); Las habilidades de modelado son generales, los estudiantes de física pueden transferir habilidades de modelado que desarrollan en situaciones específicas a situaciones noveles, dentro y fuera del dominio de instrucción. (Clement, 1989; Halloun & Hestenes, 1987; White, 1993; White & Frederiksen, 1990).

Es de destacar que, a los intereses de la presente investigación, resultan importantes los aportes realizados dentro de esta línea en cuanto proveen análisis de tipo ontológico que, si bien limitados a modelos computacionales, pueden ayudar a la construcción de criterios para el análisis de protocolos de resolución de problemas.

Es posible encontrar un conjunto importante de investigaciones que han intentado caracterizar y estudiar el desarrollo de habilidades o competencias de modelado (Lemeignan y Weil-Barais, 1994; Etkina et al, 2006; Lopes y Costa, 2007; Etkina et al, 2008; Sensevy et al, 2008, Fortus, 2009). En ellas se evidencia una gran variedad de metodologías y orientaciones. Sin embargo es posible destacar cuestiones comunes. Seguidamente se presentan los trabajos mencionados.

- *Lemeignan y Weil-Barais (1994)*

Los autores presentan un conjunto de investigaciones realizadas para estudiar las dificultades de los estudiantes en el modelado de situaciones para resolver problemas. Modelar la situación implica para los autores construir distintas representaciones lo suficientemente funcionales que permitan conectar los objetos y eventos con la representación simbólica que habilite para dar respuesta al problema. Fundamentalmente discuten qué tipo de representaciones debieran construir los estudiantes para poder acceder a representaciones de tipo canónicas¹ que les permitan resolver los problemas en el marco conceptual adecuado.

Para ello comparan las características de las representaciones construidas por estudiantes y por físicos expertos. Plantean que los estudiantes necesitan realizar un cambio conceptual para transformar sus representaciones a las representaciones utilizadas por los expertos. En este sentido, se entiende por lo planteado en el trabajo que cuando los autores hablan de las representaciones utilizadas por los expertos hacen a las canónicas. Para que ese cambio conceptual se produzca, sostienen que es necesaria una articulación progresiva entre un componente experimental, asociado a objetos y eventos concretos, una representación mental y una representación simbólica. Muchas veces la representación construida por los estudiantes a partir de la situación no tiene posibilidad de evolucionar a un modelo que le permita resolver el problema. Por ello, las propuestas didácticas que presentan se basan en el diseño por parte de los profesores de *modelos precursores*. Estos modelos son los que servirán de bisagra entre los modelos de la situación construidos por los estudiantes y el modelo científico apropiado. Estos modelos precursores son insertados en tareas con objetivos bien definidos que, según los autores señalan, les permiten a los estudiantes construir el significado de las representaciones y mejorar su performance. En esto consiste el desarrollo cognitivo que se desea conseguir.

De los resultados que se presentan sobre las intervenciones, destacan que el cambio conceptual es de muy lenta ocurrencia y no es un proceso continuo. También destacan que hay un efecto de contexto en el cambio conceptual, el desarrollo cognitivo alcanzado en un contexto no es transferido a otros.

- *(Etkina et al, 2006, Etkina et al, 2008)*

El grupo de investigación de la Universidad de Rutgers, New Jersey, trabaja desde hace varios años sobre distintos aspectos de lo que llaman *habilidades científicas*. Estas *habilidades científicas* incluyen aquellos procedimientos, procesos y métodos que los científicos utilizan en la construcción de conocimiento y cuando resuelven problemas experimentales. Reconocen que estas habilidades no son automáticas y que necesitan ser puestas en juego sistemática, flexible y críticamente en procesos instruccionales.

Dentro de una extensa lista de habilidades que consideran en sus investigaciones, es posible identificar algunas que están directamente relacionadas con las habilidades de modelado necesarias para la resolución de problemas: representación de procesos en varios formatos, contrastación de explicaciones cualitativas y cuantitativas, evaluación de predicciones y resultados, evaluación de conflictos conceptuales y evaluación de resoluciones de problemas.

En las dos investigaciones que se reseñan, se investiga sobre la adquisición de estas *habilidades científicas* mediante tareas que involucran la realización de prácticos de laboratorio y resolución de problemas. Para ello diseñaron las tareas específicas y una serie de rúbricas como instrumento para ayudar al estudiante en el desarrollo de las habilidades

¹ El término canónico hace referencia, en este caso, a aquello que se ajusta a las convenciones de la disciplina.

involucradas. En pocas palabras, las rúbricas son criterios de evaluación explícitos que permiten a profesores y estudiantes conocer el nivel alcanzado en la ejecución de la tarea. En este caso particular, las rúbricas se construyen de tal manera que además sirven de guía al estudiante. Las mismas contienen una descripción de los distintos niveles de performance que permite que el estudiante o el grupo de estudiantes se evalúe a sí mismo, conozca los objetivos de aprendizaje y pueda modificar su trabajo para conseguirlo. Con esto, obtuvieron datos sobre cómo cambia el desempeño de los estudiantes luego de haber sido sometidos a este estilo de tareas (Etkina et al, 2006) encontrando diferencias significativas en el desarrollo de las habilidades involucradas.

En la otra investigación (Etkina et al, 2008) con la misma metodología midieron cuánto tiempo demoran en desarrollarse distintas habilidades científicas. De esta última investigación resultan relevantes varios de sus resultados. Identificaron la existencia de algunas habilidades, las más sencillas, que presentan un efecto de saturación. Se desarrollan rápidamente, en las primeras intervenciones y luego se mantienen sin modificaciones con el correr del tiempo. Reportaron que las habilidades dependen del contexto. También encontraron habilidades que resultaron robustas, es decir que una vez aprendidas son aplicadas en otros contextos. Mostraron que diferentes actividades promueven el desarrollo de distintas habilidades. Por último, señalaron que la habilidad específica de evaluar suposiciones realizadas es la que más tiempo demora en desarrollarse.

- *Lopez y Costa (2007)*

En este trabajo se considera que las habilidades de modelado son aquellas capacidades efectivas de movilizar, elegir, utilizar y articular información y conocimiento cuando una persona trata de resolver una situación problemática cuya resolución necesita la construcción/movilización de un modelo (Grégoire, 1997 en Lopez y Costa, 2007). En el trabajo se presenta al modelado como una manera de utilizar o construir conceptos por medio de una situación problemática.

El objetivo principal de este trabajo es proveer un instrumento para evaluar competencias de modelado en resoluciones escritas de problemas. Se encuentra basado en la teoría de Campos Conceptuales de Vergnaud (1987, 1991, en Lopez y Costa, 2007) y en las distinciones realizadas por Norman (1983) entre *modelo conceptual*, *modelo mental* y *modelo conceptual del modelo mental*, presentadas anteriormente en este capítulo. A partir de ello es definido un sistema de categorías para evaluar las competencias de modelado, que a pesar de estar propuesto de manera general, sostienen que existe un trabajo importante de adecuación para cada tarea que se desea evaluar. Afirman que esta adecuación no solo depende de la tarea, sino también de la resolución escrita de la misma, del contexto y la de conceptualización que el investigador realiza de la situación problemática que origina la acción de modelado.

Este sistema de categorías propuesto está orientado por tres dimensiones del modelado: *forma de abordaje*, *conceptualización* y *trabajo operativo*. La *forma de abordaje* está asociada con la manera en la que los sujetos analizan la situación problemática y utilizan las condiciones de las propiedades de los conceptos o relaciones entre ellos. La *conceptualización* es la dimensión que tiene que ver con la idealización de la situación, la selección de las propiedades de objetos y eventos que luego serán controlados en su coherencia para ver si describen la situación. Esto posibilita al sujeto la utilización de una herramienta conceptual para dar respuesta al problema. La dimensión de *trabajo operativo* está relacionada con la representación simbólica, las relaciones entre variables y los procedimientos que permiten encontrar una solución con capacidad predictiva. El instrumento de análisis para los registros escritos consiste en categorías y sub categorías definidas para cada una de estas tres dimensiones, instanciadas para cada tarea propuesta.

Diseñan una prueba compuesta por cuatro situaciones problemáticas de mecánica y lo administran a 75 sujetos de distinto nivel de instrucción en Física. Abarcan sujetos desde nivel inicial de enseñanza (9 años) hasta profesores de física universitaria. Los datos obtenidos en las pruebas son sometidos a un análisis de cluster para determinar los grupos que quedan conformados en relación a similitud en la resolución. Entre los resultados más relevantes que se desean destacar se encuentra que las habilidades de modelado no resultaron totalmente desarrolladas en sujetos cuya instrucción haría presuponer mejor desempeño. Por otro lado, también encontraron que las habilidades de modelado que tienen que ver con la conceptualización dependen del contexto y son independientes del nivel de instrucción. También realizan algunas recomendaciones para orientar el trabajo de profesores en la tarea de desarrollar en sus estudiantes las habilidades de modelado.

- *Sensevy et al (2008)*

Es este trabajo se realiza principalmente una discusión teórica sobre una propuesta epistemológica para el abordaje del modelado y presentan algunos comentarios sobre casos de intervenciones didácticas basadas en esta propuesta. En pocos términos la propuesta se encuentra basada fundamentalmente en el carácter mediador de los modelos en relación a los conceptos científicos y la concretización y contextualización como forma de construcción de la comprensión de conceptos abstractos. Sostienen que el conocimiento simbólico adquiere su claridad a partir del conocimiento intuitivo, esto es que para aclarar una idea general simbólica es necesario reducirla a una particular. Esto resalta la relación entre lo concreto y lo abstracto, que en términos de la propuesta de estos autores es la relación entre el nivel objetos/eventos y el nivel teoría/modelos.

En cuanto a lo instruccional, sostienen que se hace indispensable la construcción de lo que denominan *estilo de pensamiento*, que no es otra cosa que la construcción de un lenguaje compartido que pueda ser empleado para el análisis conceptual de situaciones. Afirman que debe partirse del lenguaje cotidiano, pero que el mismo debe ser precisado para que las descripciones que los estudiantes realizan de situaciones sean útiles para la construcción de conocimiento conceptual. Este estilo de pensamiento, que es colectivo cuando se construye instruccionalmente, se caracteriza tanto por lo que permite como por lo que inhibe.

Los autores sostienen que para comprender los principios y leyes físicas es necesario que los estudiantes puedan visualizarlas en muchas situaciones diferentes, esto es en diferentes situaciones didácticas. La construcción de este puente ente lo cotidiano y lo conceptual es lo que se considera relevante y lo que origina que se presente este trabajo en esta sección. Los autores presentan al proceso de modelado de situaciones como una transición bidireccional entre lo concreto y lo abstracto. La discusión teórica y las propuestas instruccionales están orientadas a desarrollar en los estudiantes las herramientas que son necesarias para construir este puente.

- *Fortus (2009)*

El trabajo realizado se concentra en una habilidad de modelado específica que resulta de suma importancia. Estudia la habilidad de realizar suposiciones en la resolución de problemas y la influencia que tiene en esta habilidad el conocimiento conceptual.

Se trabaja con entrevistas de resolución de ocho sujetos con instrucción formal en Física, ya graduados pero con distinta trayectoria luego de la graduación. Los participantes resolvieron en voz alta cuatro problemas de mecánica. Los tres primeros problemas eran problemas de tipo final de capítulo, habitualmente utilizados, mientras que el último problema era un problemas planteado a partir de una situación cotidiana que podía ser resultado

utilizando conceptos de mecánica. Para dar una respuesta en ese último problema era necesario que los sujetos realizaran distinto tipo de suposiciones.

Los registros son analizados a partir de un modelo para la resolución de problemas (Bransford y Steins, 1984 en Fortus, 2009). Este modelo propone cinco pasos para la resolución de un problema: identificación del problema, definición y representación del problema, exploración de posibles estrategias, accionar en la estrategia, revisar y evaluar los efectos de las acciones anteriores. El autor determina estos pasos en los registros incluyendo el tiempo que cada sujeto destina a cada uno de ellos.

Si bien es un trabajo descriptivo, presenta algunos resultados promisorios. Encuentra distintos estilos en la resolución de los problemas tradicionales y el problema cotidiano. Para los problemas tradicionales el planteo de la resolución es más directo, casi sin necesidad de evaluar distintas estrategias, e insumen poco tiempo. Para el caso de la situación cotidiana, el porcentaje de tiempo sobre el total destinado a la estrategia es elevado y se evidencia una resolución en la que el sujeto vuelve una y otra vez sobre los distintos pasos. Encuentra que, a pesar de ser sujetos instruidos en mecánica y que son capaces de resolver los problemas tradicionales, no pueden todos abordar con el mismo éxito la situación cotidiana. El autor sugiere que la resolución de este tipo de problemas en los cuales es necesario realizar suposiciones no son desarrolladas en los sistemas tradicionales de instrucción.

De todos los trabajos presentados es posible extraer algunas cuestiones de importancia. Desde modelado en general hasta la realización de suposiciones en particular, el abanico de posibilidades de definir habilidades y destrezas relacionadas a la resolución de problemas es sumamente amplio. Sin embargo, a pesar de las diferentes definiciones y metodologías utilizadas para investigarlas, existen algunos consensos importantes de destacar. En general presentan a las habilidades de modelado como habilidades de construcción y utilización de las representaciones. Los autores reconocen a estas habilidades como centrales en el proceso de aprendizaje de las ciencias y en particular la Física. También les confieren un carácter trascendental en el sentido que son habilidades que los sujetos adquieren y pueden perdurar más allá del contenido disciplinar dada su utilidad como procesos generales de pensamiento. Sin embargo, a pesar de esta generalidad, reportan una dependencia contextual importante en el desarrollo de las mismas. Destacan el hecho de que no son habilidades innatas y que evidentemente no están siendo tenidas en cuenta debidamente en los sistemas de instrucción tradicionales. En este sentido, advierten que se hace necesario introducir de manera explícita el trabajo para el desarrollo de estas habilidades.

Hasta aquí, primeramente fueron discutidos los tipos de representaciones que pueden ser construidos por el sujeto mientras resuelve un problema. Luego fueron presentadas las habilidades necesarias para construir estas representaciones de una manera coordinada. Resulta ahora necesario repasar algunas de las propuestas que se destinaron a considerar estas dos cuestiones de manera integrada, como elementos de un proceso. En la siguiente sección son presentadas distintas propuestas de modelos para el proceso de resolución de problemas.

4.2.3 Sobre el modelado del proceso de Resolución de Problemas en Física

La investigación en Resolución de Problemas ha tenido siempre a la tecnología como una gran aliada. En los comienzos, algunos investigadores utilizaron programas de computadoras para modelar características de humanos resolviendo problemas y testear sus teorías sobre las diferencias entre las estructuras cognitivas de expertos y novatos. Es

importante tener siempre en cuenta que la mayoría de estas propuestas, enmarcadas dentro de la Inteligencia Artificial, tienen escaso o nulo objetivo instruccional. Sin embargo, han tomado información sobre cómo los expertos y novatos resuelven problemas para definir características de los procesos de resolución que pretendían modelar.

Sobre la necesidad de modelos computacionales de procesos cognitivos, Johnson-Laird dijo en el marco de una entrevista:

“Para resumir un asunto sobre el que se puede escribir por extenso, si construyes una teoría en términos computacionales estas construyendo un modelo de la misma, un modelo de trabajo que si funciona entonces puedes estar seguro de que no estás suponiendo demasiadas cosas y que es consistente” Madrugá, J. p.323 (1988)

Johnson-Laird señala además que no hay que malinterpretar el sentido de estos modelos computacionales. Los mismos estarían destinados a testear las teorías (cognitivas) propuestas y no a ser una mera réplica del comportamiento humano. Es en este sentido que resulta de interés mencionar algunos trabajos de esta línea.

En los años 60 y 70, los investigadores en resolución de problemas desarrollaron modelos descriptivos para la tarea de resolver problemas. Estos modelos, independientes del contexto, consistían en la definición de ciertos pasos a realizar por los resolutores. Estos pasos propuestos son:

- Identificación del problema.
- Definición y representación del problema.
- Exploración de posibles estrategias.
- Accionar en la estrategia.
- Revisar y evaluar los efectos de las acciones anteriores.

Con casi ninguna variante, estos son los pasos presentados por Polya en los años cincuenta como así también los presentados por Bransford y Stein en los años ochenta (1984, en Fortus, 2009).

Las investigaciones en Ciencia Cognitiva de los años ochenta presentaron a la resolución de problemas como una tarea que incluye componentes cognitivos, comportamentales y actitudinales. Se comenzaron a presentar modelos para la actividad que también incluyen pasos, pero tenidos en cuenta en forma de ciclos (Gangoso, 1997; Bransford y Stein, 1993, Hayes, 1989 y Sternberg, 1986, en Pretz, Naples y Sternberg, 2004). En estos ciclos el resolutor deberá:

- Reconocer o identificar el problema.
- Definir y representar el problema mentalmente.
- Desarrollar una estrategia de resolución.
- Organizar el conocimiento sobre el problema.
- Destinar recursos mentales y físicos para resolver el problema.
- Monitorear el progreso hacia el objetivo.
- Evaluar la precisión de la solución.

Estos ciclos no tienen por qué ser lineales. No todos los problemas serán resueltos siguiendo la secuencia de todos los pasos en ese orden. Justamente la experiencia en resolver problemas se da en la aplicación flexible del mismo (Pretz et al, 2004).

Las primeras investigaciones en resolución de problemas surgen a partir de los trabajos en el *General Problem Solver*, un modelo computacional para el proceso humano de resolución de problemas creado por Newell y Simon en 1958. Esta teoría fue desarrollada a partir de investigaciones realizadas en base a juegos y rompecabezas, tareas caracterizadas como resolución de problemas definidos y carentes de conocimiento específico. Es necesario tener

en cuenta que estas tareas poseen un conjunto de reglas bien definidas, no es necesario conocimiento especial de algún ámbito para realizarlas. Se define un problema como compuesto por un espacio de problema, un estado inicial, un estado final u objetivo, reglas de transición y heurística. En esta teoría, para resolver el problema el sujeto debe representarlo, creando una representación interna de la estructura del problema que se conoce como espacio del problema. Esta representación puede estar distribuida entre representaciones internas y representaciones externas.

Esencialmente, el *General Problem Solver* emplea análisis medios-fines, un proceso que compara el estado inicial del problema con el estado final e intenta minimizar las diferencias entre ellos. Estos componentes resultan apropiados para la resolución de problemas en los cuales los estados y las transiciones entre los estados no son ambiguos.

El *entorno de tarea* es una estructura abstracta que se corresponde al problema. Incorpora las limitaciones del entorno y es abstracta porque puede ser instanciada de varias maneras. Tiene la propiedad de delimitar la tarea, de determinar los efectos relevantes de las acciones relevantes que son posibles de realizar por el resolvidor. Esta construcción teórica permite a los investigadores interpretar la tarea de Resolución de Problemas en situaciones concretas, pudiendo identificar las relevantes de las no relevantes. En la teoría clásica que se está discutiendo, hay determinadas acciones que son consideradas fuera del entorno de tarea de las cuales se considera que no tienen relevancia para la resolución y que por lo tanto no forman parte de la resolución del problema.

Otra noción básica de esta teoría es el *espacio del problema*. Como se mencionó anteriormente, es la representación que se supone que construye el sujeto cuando comprende la tarea. Esta representación debe dar cuenta de:

- El estado inicial del problema
- El estado final del problema
- Los movimientos y estados permitidos
- Opcionalmente otras representaciones que puedan ser útiles para la comprensión del problema o el cálculo de los efectos de las acciones.

Estas representaciones pueden ser específicas para un determinado entorno de tarea (física, matemática, etc.) o pueden ser de tipo general.

Es para destacar, que si bien esta teoría presenta nociones interesantes y que hacen posible el análisis de la resolución de problemas definidos, hay cuestiones que no son tenidas en cuenta por varios motivos. Un motivo puede ser la necesidad de simplificación de la problemática a investigar. Así como los modelos en Física representan de manera recortada e idealizada la realidad, la teoría clásica de Resolución de Problemas brinda una representación de ese tipo, representando solo algunos aspectos de la actividad, aquellos posibles de controlar dada la complejidad de la tarea real. Es de esta manera que la teoría clásica de Resolución de Problemas ha podido hacer algunos aportes.

Una bisagra se produce cuanto se incorpora el conocimiento disciplinar en este tipo de propuestas. Uno de los trabajos precursores en el área de la Física es el realizado por Larkin, Mc Dermott, Simon y Simon (1980). En este trabajo se presentan dos modelos computacionales en los cuales se intenta replicar el comportamiento experto por un lado y el comportamiento novato en el otro. Uno de los modelos trabaja a partir de los resultados buscados, intentando conectarlos con los datos proporcionados por el problema. Esta manera de resolver un problema, conocido como *análisis medios-fines* o trabajo *hacia atrás*, es típica de los novatos. El otro modelo trabaja desde la información proporcionada por el problema hasta encontrar el resultado requerido. Este estilo de resolución, conocido como *trabajo hacia adelante*, es propio de los expertos. Los autores logran mostrar que la performance de estos

programas resolvedores está muy cerca de parecerse a la performance de los novatos y de los expertos respectivamente.

Con posterioridad, se presentaron programas que intentan modelar el paso de novato a experto (Lakin, 1981). Estos programas tienen la capacidad de almacenar la experiencia obtenida en resoluciones de problemas previos y utilizan esa información para resolver otros problemas.

Novak (1982) equipara la actividad de resolver un problema con la de construir un modelo apropiado del problema en términos de principios físicos, definiendo la resolución de problemas en física de la siguiente manera: “Un problema de física se resuelve modelando los objetos del mundo real y las interacciones entre ellos planteadas en el problema mediante objetos físicos idealizados e interacciones cuyo comportamiento está gobernado por leyes físicas”. Intenta discutir sobre las funciones que tiene ese modelo, la información que es necesaria representar, el conocimiento necesario para seleccionar un modelo apropiado y sobre el conocimiento necesario para instanciar un modelo apropiado. El problema central con el que intenta lidiar es que los enunciados de problemas de física requieren de la resolución de referencias implícitas a objetos no mencionados, basados en el conocimiento de mundo de relaciones típicas. El autor señala que una vez resueltas estas referencias, la recuperación de las ecuaciones necesarias y la obtención de la solución son sencillas para un programa resolutor. Si bien no presenta detalles de los programas construidos, deja sentadas las bases para trabajos posteriores.

Kook y Novak (1991) presentan un mecanismo de representación avanzado de problemas de física. Testean APEX, una máquina resolutora de problemas de física, enfocados en aspectos representacionales. Señalan que la experiencia en resolución de problemas en Física está caracterizada por la habilidad de representar el problema. Habitualmente, estos problemas son presentados en términos de objetos del mundo, informales, y relaciones entre ellos. En este sentido, una representación experta emplea modelos formales idealizados para modelar los objetos y las relaciones presentes en el problema, y es ésta la habilidad central en el proceso de adquisición de la competencia para resolver problemas, más allá de solo adquirir habilidades matemáticas (Larkin et al, 1980). Sostienen que ya sean utilizados modelos puramente cuantitativos o cualitativos, el tema central es el proceso que se sigue para la formulación de ese modelo, ya que esto es crucial cuando se trabaja con problemas presentados en términos informales y a veces no completamente especificados.

Su propuesta, el programa APEX (A Physics Expert) resuelve problemas de física utilizando una serie de procesos de re representación en etapas que involucra la invocación de modelos a la representación inicial del problema. La representación final del problema se supone que contiene específicamente toda la información que se encontraba implícita inicialmente. Es de interés mencionar los distintos programas y *estructura de datos* o reglas utilizadas en el proceso de resolución de un problema. Este proceso tiene la siguiente organización:

1. El problema ingresa al programa como una red semántica que describe las características de los objetos y las relaciones entre ellos. Esta es la *representación inicial* del problema.
2. En este punto se razona en cuanto a los objetos y sus interacciones a través de inferencias (realizadas por un usuario del programa o por el otro programa) A través del programa *Views Builder* se transforma la representación inicial del problema en una representación en términos de *objetos físicos canónicos*. Los objetos físicos canónicos son objetos idealizados que son significativos en física y en matemática. Por ejemplo: masa puntual, círculo, polea ideal, etc. La nueva representación del problema generada de esta manera, llamada *representación*

canónica, incluye todas las propiedades inherentes a los *objetos físicos canónicos* seleccionados.

3. Esta *representación canónica* es utilizada como input para el razonamiento en el sistema de inferencias que guía la construcción de la *representación física* en el programa *Physical Models Builder*.
4. Esta *representación física* es transformada en una *representación matemática* por medio del programa *Equation Generator*.
5. Esta *representación matemática*, que puede contener constantes simbólicas o números (con unidades), es manipulada para su resolución por el programa *Equation Solver*.

APEX almacena un conjunto de objetos físicos canónicos con todos sus atributos intrínsecos y los métodos para computar sus propiedades a partir de cada atributo. La visualización (*viewing*) es definida como un proceso de abstracción del objeto inicial (informal) en un objeto físico canónico. APEX está preparado para un tratamiento bidireccional de los datos, lo cual permite completar información en aquellos problemas que no son completamente especificados. Como el proceso se realiza en etapas, resultados intermedios que se van obteniendo de la representación canónica o la física son transmitidos para llenar aquellos faltantes de la representación original, pudiendo eventualmente conseguir una completa especificación del problema. Al modelo físico lo definen como la interpretación física de una situación que involucra objetos y sus relaciones.

Es para destacar los distintos procesos que son considerados en esta propuesta:

- Identificación de objetos y relaciones entre ellos en lenguaje informal.
- Construcción de una representación inicial con estos objetos y relaciones en lenguaje informal.
- Abstracción de esos objetos y relaciones en objetos físicos y leyes y principios físicos.
- Construcción de una representación física del problema, que puede completar la representación inicial.
- Abstracción al lenguaje matemático.
- Resolución matemática.

Todos estos procesos son bidireccionales: uno necesita del proceso anterior para poder ser realizado, pero a su vez los resultados obtenidos por el proceso pueden completar los datos (o representaciones) generadas por el proceso anterior, para avanzar (en sucesivas etapas) en la especificación completa de todo aquello que puede estar implícito en la representación inicial. Los procesos de generación de representaciones, ya sea la informal, la canónica o la física, son dirigidas por procesos inferenciales.

En los inicios de los años 90 es posible encontrar una propuesta de una teoría psicológica para la resolución de problemas. La teoría de comprensión para *algebra-word problems* (Nathan, Kintsch y Young, 1992), que tiene como antecedente inmediato la teoría de procesamiento del discurso de Van Dijk y Kintsch (1983), considera la construcción de representaciones que se generan en la lectura de esos problemas. El enunciado de un problema es considerado un texto a partir del cual se debe obtener información proposicional y situacional y realizar inferencias. Pretende conseguir diseños de instrucción capaces de resolver el problema de la existencia independiente de la situación planteada por el problema y la representación formal simbólica de la misma.

El enunciado de un *algebra-word problem* contiene varios objetos y eventos especificados de alguna manera, son problemas sencillos que para su resolución requieren esquemas de problemas que involucran ecuaciones (o sistemas de ecuaciones) lineales.

Comprender un problema implica la realización de correspondencias entre ecuaciones formales y la propia comprensión informal de la situación descrita en el problema. Este proceso de comprensión y resolución de un *algebra-word problem* involucra a tres niveles de representaciones mutuamente restringidas. Estas representaciones que debe construir el sujeto son:

- *Base de Texto*: Consiste en la representación mental del significado del texto en forma de proposiciones. Corresponde al significado ligado directamente al texto, con mínima participación de los conocimientos del lector (Van Dijk y Kintsch, 1983).
- *Modelo de la Situación*: Incorpora a la base de texto otras proposiciones provenientes de la memoria del lector. La información provista por el texto es elaborada desde el conocimiento previo e integrada a él (Van Dijk y Kintsch, 1983).
- *Modelo de Problema*: Representación consistente con el modelo de la situación pero construida a partir de expresiones formales. Esta construcción está orientada por los *esquemas de problema*.

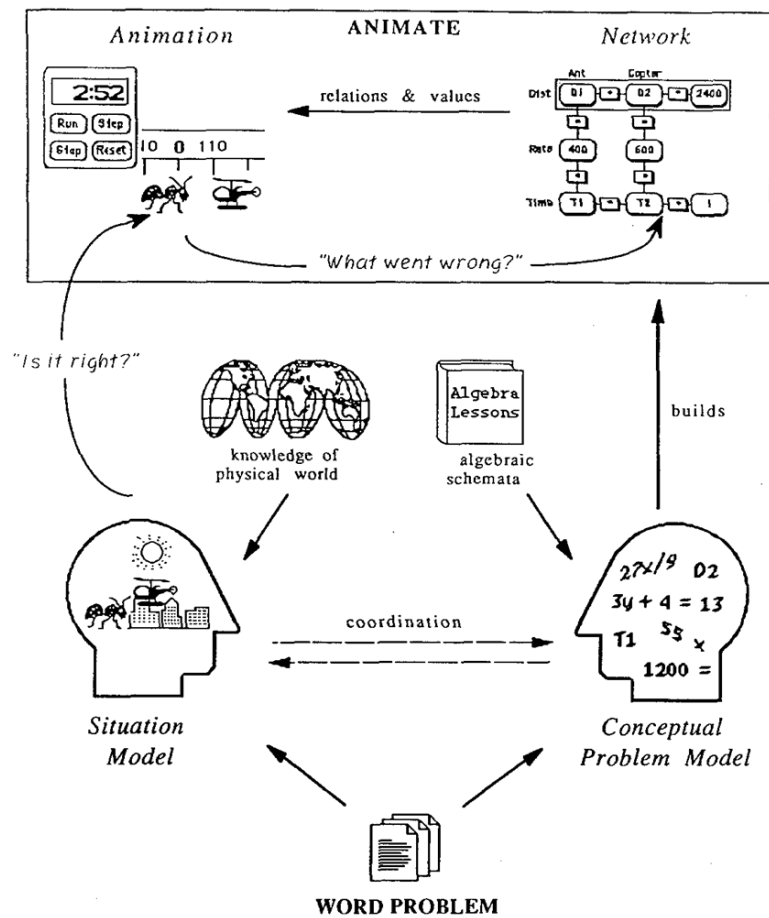
Los *esquemas de problemas* son patrones que sirven para organizar la información relevante del problema. Para física y para geometría, las leyes físicas, teoremas y axiomas corresponden a esquemas. Un esquema de problema puede ser, por ejemplo $Y=X*Z$. Dicho esquema podría resolver cualquier problema de proporciones (costo por unidad, proporción de costo total, cantidad por unidad de tiempo, etc.).

Los autores sostienen que es posible familiarizarse rápidamente con las reglas de traducción que ayudan a convertir determinadas palabras en expresiones algebraicas. Con eso, pretenden atacar dos problemáticas bien identificadas. Por un lado, que no se comprende que las formulas matemáticas conforman representaciones de la situación descrita en el enunciado (Greeno, 1989). Por otro, que existe una coexistencia independiente entre la representación simbólica y la situación concreta (Greeno, 1989). Para ello Proponen un programa interactivo (ANIMATE) que ayuda al sujeto a construir el *modelo de problema*. El estudiante tiene la posibilidad de ir proponiendo modelos formalizados de la situación y correr una animación. Según los autores esto provee un soporte situacional para la construcción y evaluación de las expresiones algebraicas propuestas. Un esquema del funcionamiento de este programa se presenta en Ilustración 4.2 .

Las limitaciones de esta propuesta están asociadas directamente a los problemas considerados. Son problemas netamente algebraicos, muy sencillos y el conocimiento disciplinar específico es considerado sólo a través de los esquemas de problemas. Tampoco resulta claro de qué manera es que se van construyendo las relaciones entre el *Modelo de la Situación* y el *Modelo de Problema*, más allá de la sucesiva utilización de las simulaciones.

La revisión de trabajos presentada en esta sección permite concluir que para estudiar características del proceso de resolución de problemas en física entendido como un proceso de modelado, es necesario contar con un modelo para el proceso que sea capaz de reflejar la complejidad de la tarea. Este modelo debe incorporar de una manera integrada los distintos tipos de representaciones que se construyen al resolver un problema de Física. Es necesario que considere también las habilidades cognitivas requeridas para razonar en cada una de las representaciones y para coordinarlas de manera consistente con la situación a resolver. Por último, este modelo debiera ser capaz de dar cuenta de la resolución de sujetos de distinto nivel de experiencia.

Ilustración 4.2: Representación de la Teoría de comprensión para algebra-word problems. Tomada de Nathan, Kintsch y Young, 1992, p. 347



4.3 Sobre la tarea en la Resolución de Problemas en Física

4.3.1 Sobre el rol de los modelos disciplinares en la Resolución de Problemas en Física

Todo lo que se ha revisado hasta el momento en relación a modelos y Resolución de Problemas ha hecho referencia a lo que Gilbert (1998, 2008) denomina *modelo mental* (personal, privado, solo apreciable en el mejor de los casos por la persona) y *modelo expresado* (modelo mental expresado por medio de una acción, verbal o escrito). No hay que perder de vista, que en el caso del proceso de enseñanza de las ciencias, y en particular la Física, estos modelos son diferentes representaciones de lo que Gilbert denomina *modelo científico*, es decir de aquel modelo testeado y acordado por la comunidad científica, más conocido como modelo de la disciplina.

La producción y la utilización de modelos es una de las características que definen la ciencia. Tradicionalmente, la ciencia ha sido identificada con la actividad de construcción de estos modelos consensuados, generalmente simbólicos o matemáticos. Hacer ciencia supone la construcción de un *pensamiento colectivo* específico (Sensevy et al, 2008). Este

pensamiento colectivo se caracteriza tanto por lo que hace posible como por lo que inhibe y se comparte a partir del manejo de lenguajes específicos. Un estilo de pensamiento, como los conceptos abstractos y los modelos interpretativos en ciencias, es una *visión* que permite enfocar solo los aspectos útiles de la realidad e ignorar los irrelevantes. En el proceso de enseñanza aprendizaje, el *estilo de pensamiento* se puede comparar con un estilo de discurso que de no ser compartido completamente, puede generar muchos inconvenientes. Es por este motivo, que resulta de suma importancia la correcta explicitación de los alcances y limitaciones de los modelos disciplinares que se manejan en las distintas asignaturas.

Es para destacar que un gran número de investigaciones en educación relacionadas con modelos y modelización se ha encontrado en los últimos años centrada en el estudio de las concepciones que tienen tanto profesores como estudiantes sobre el concepto de modelo científico, la actividad de modelado y cómo estas concepciones repercuten en las tareas de enseñanza aprendizaje (Smit, y Finegold, 1995; Harrison, 2000; Justi y Gilbert, 2003; Islas y Pesa, 2004; Gutiérrez y Pinto, 2004, 2006). Estas investigaciones muestran que, en general, los estudiantes tienen una idea poco clara sobre qué es un modelo científico, con lo cual resulta prácticamente imposible que puedan apreciar el rol que los mismos tienen en la disciplina. Mucho menos podrán aprovecharlos para lograr una mayor comprensión de la misma. Por otro lado, la noción de modelo científico resulta también dificultosa para los profesores, con lo que la utilización de modelos en estrategias de enseñanza resulta muy limitada o escasa. Y más aun, hasta podría ponerse en tela de juicio la comprensión conceptual del propio docente.

Existe consenso en la comunidad científica en relación a que la función primaria de los modelos científicos es la de proveer conocimiento sobre la realidad para promover una mejor comprensión de la naturaleza. Otras de sus funciones son la descripción y explicación de los objetos, procesos y fenómenos naturales. Tienen un poder predictivo y sirven también como manera de comunicar. (Smit y Finegold, 1995; Halloun, 1996; Etkina, Warren y Gentile, 2006)

Los modelos científicos se caracterizan por su *dominio*, su *composición*, su *estructura* y su *comportamiento*. El *dominio* está dado a partir de los sistemas físicos que representa, su espacio de validez y su propósito en el marco de una teoría. Por ejemplo, una pelota (sistema) en movimiento. Dependiendo de la velocidad de la pelota y de si su masa y forma pueden ser consideradas o no constantes, el movimiento podrá ser estudiado utilizando modelos de la mecánica Newtoniana o de la Relatividad. Si fuera el primer caso, podrían utilizarse tanto el modelo de partícula puntual como el de cuerpo rígido. La *composición* de un modelo científico consiste en su contenido y su entorno. El contenido son los objetos primarios constitutivos, mientras que el contexto está formado por los agentes que representa entidades externas que interactúan con el sistema. Por ejemplo, cuando se estudia el efecto de rozamiento entre un objeto y una superficie, el rozamiento con el aire es despreciado. Se piensa en el sistema objeto-superficie y se analizan las fuerzas internas al sistema. En cuanto a la *estructura* del modelo científico, la misma incorpora la descripción de los objetos (parámetros, variables de estado), relaciones espacio-temporales entre las propiedades de los objetos (como fuerzas internas), propiedades de interacción con agentes (como una fuerza) y leyes de interacción entre un objeto y un agente (como la ley de Coulomb). El *comportamiento* del modelo científico representa los fenómenos en los que sus componentes están involucrados. Pueden ser fenómenos descriptivos o explicativos.

De lo descrito anteriormente se pretende rescatar algunas cuestiones, que se consideran tienen importancia a nivel instruccional. Es muy importante que los estudiantes reconozcan los alcances y las limitaciones de los modelos científicos. Para ello, debieran poder reconocer que:

- Los modelos científicos tienen un dominio de aplicación específico.
- Los modelos son válidos o no en relación al contexto.

- Existen objetos primarios y un contexto de agentes.
- La estructura del modelo está dada por las características y relaciones entre objetos primarios y también entre objetos primarios y agentes.
- La potencia descriptiva, explicativa o predictiva del modelo depende de los fenómenos modelados.

Con respecto a este último punto, si bien no hay consenso ya en la terminología utilizada para diferenciarlas, ya en 1919 Einstein presentaba en un artículo la diferencia entre teorías *constructivas* y lo que podría denominarse teorías *fenomenológicas*. Las teorías *constructivas* implican proposiciones sobre entidades y procesos inaccesibles a la observación directa, que son postulados para explicar los fenómenos a partir de la construcción de una supuesta estructura subyacente fundamental. Son ejemplos de este tipo de teorías la mecánica cuántica, la mecánica estadística, el electromagnetismo, etc. Por su parte, en las teorías *fenomenológicas* las proposiciones son relativas exclusivamente a las propiedades y relaciones entre fenómenos empíricamente accesibles. Estas proposiciones describen, conectan e integran los fenómenos, lo que permite deducir consecuencias empíricamente observables. Ejemplos son la teoría de la termodinámica, la teoría de la relatividad especial, la teoría de la electricidad, etc.

Las ventajas de las teorías *constructivas* son la integridad, la adaptabilidad y la claridad. Son teorías de carácter explicativo. Las ventajas de las teorías *fenomenológicas* son la perfección lógica y la seguridad de sus fundamentos. Son teorías más estables en el tiempo.

Resulta natural a este punto, que los modelos construidos en el seno de uno u otro tipo de teoría son distintos. Al menos los referentes son claramente distintos. Para las teorías de tipo fenomenológico los referentes son concretos, empíricamente accesibles. Para las constructivas, en cambio, son abstractos. Obviamente estas distintas teorías no son irreconciliables entre sí. Es posible que constituyan distintas representaciones de situaciones, representaciones que crecen en nivel de abstracción. Por lo tanto, los referentes abstractos de las teorías constructivas pueden ser a su vez abstracciones de los referentes concretos de las teorías fenomenológicas.

En cualquier caso, la construcción de modelos es la herramienta por medio de la cual se elabora el conocimiento científico. Este conocimiento científico es público, objetivo, acordado por una comunidad específica. Sin embargo, es el producto de la construcción de modelos que en primer lugar fueron *modelos mentales*, generados por el trabajo de un investigador, que luego fueron *modelos expresados*, compartidos con algún grupo para ser sometidos a verificaciones, que luego fueron *modelos consensuados* por una comunidad y que finalmente se convirtieron en *modelos científicos* (Gilbert, 1999). De esta manera, resulta natural pensar que la comprensión profunda y significativa de los modelos científicos está altamente relacionada con la adquisición del conocimiento científico.

Específicamente en cuanto a la resolución de problemas, se considera factible que el reconocer la presencia de los modelos a la hora de la resolución puede contribuir a la realización de resoluciones más reflexivas por parte de los estudiantes y no fuertemente guiadas por las fórmulas. Sería necesario que el estudiante pudiera reconocer en el enunciado del problema cuáles son los objetos primarios que conforman el sistema y diferenciarlos de los agentes exteriores. Luego, debería poder reconocer, o decidir de acuerdo al problema, la estructura del modelo, esto es las propiedades con las cuales serán descritas las relaciones entre objetos y entre objetos y agentes. De esta manera se conseguiría avanzar hacia la resolución de una manera crítica, llegando a la utilización de formulas cuyo significado físico es comprendido por el estudiante (Gangoso, Truyol, Gattoni y Brincones Calvo, 2008).

Una propuesta de clasificación de modelos científicos que se considera tiene una potencia instruccional considerable, es la de Etkina et al (2006). Los autores señalan que el

proceso de modelado puede ser entendido como un proceso de simplificación del fenómeno a estudiar. En ese sentido, se puede uno centrar en los objetos, o en alguna interacción, en un sistema (objetos e interacciones) o en procesos. De esta manera se obtienen modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos. Estos modelos pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos. Los cuantitativos incluyen expresiones matemáticas. Algunos ejemplos son presentados en la Ilustración 4.3 .

La corriente instruccional denominada *modeling theory*, basada en el modelado de fenómenos en investigaciones y resolución de problemas, está siendo trabajada en Estados Unidos desde hace más de veinte años (Hestenes, 1987). Esta teoría instruccional está centrada en la idea de que los físicos razonan por medio de construcciones denominadas modelos, con las características discutidas anteriormente, y en que la tarea de modelado favorece por un lado la comprensión conceptual de la disciplina y por otro la comprensión de la naturaleza de la ciencia. Ha resultado de gran impacto en la educación media (Hestenes, 1987; Halloun, 1996; Harrison, 2000; Coll, 2005), pero de más limitada aplicación en la universidad (Brewer, 2008). En general, estas investigaciones proponen distintas tareas en relación a selección, construcción, validación, análisis del modelo y despliegue (transferencia) del modelo (Halloun, 1996; Etkina, Warren & Gentile, 2006; Brewer, 2008).

Ilustración 4.3: Ejemplos de modelos (Tomado de Etkina et al, 2006)

	Sin modelar	Modelo
Objetos	pelota auto tierra	partícula puntual cuerpo rígido
Interacciones	Interacciones eléctricas	dirección y sentido de la fuerza (cualitativo) Ley de Coulomb (cuantitativo)
Sistemas	Gas contenido en un recipiente	Ley de gases ideales
Procesos	Movimiento de un tren	cambios de posición (cualitativo) $x = vt + x_0$ (cuantitativo)

4.3.2 Sobre tipos de enunciados de problemas

El reconocer a la resolución de problemas de física como un proceso de construcción de representaciones que comienza con la lectura del enunciado, otorga al enunciado un rol central en esta investigación. Se presentan en esta sección algunos criterios que históricamente se han utilizado para categorizar enunciados de problemas.

Un problema instruccional es una situación física descrita mediante un texto denominado enunciado. Es necesario tener en cuenta que los mismos pueden ser representados en distintos formatos representacionales, del tipo presentado en la sección 4.2.1 en página 38.

Existe una importante cantidad de estudios en relación a los efectos de la utilización en la instrucción de distintos tipos de problemas. En particular, la mayoría han estado

relacionadas con diversos aspectos de la utilización de dos grandes categorías de problemas conocidos en la literatura específica como *problemas bien definidos* y *problemas indefinidos*. Es posible encontrar en la bibliografía una gran variedad de nombres para estos tipos de problemas. Es común encontrar como equivalente problemas bien definidos (well-defined problems), problemas bien estructurados (well-structured problems), problemas cerrados (closed problems), problemas de solución única (single-possibility problems); como sus respectivas contrapartes, encontramos problemas indefinidos (ill-defined problems), problemas desestructurados (ill-structured problems), problemas abiertos (open problems), problemas de múltiples soluciones (multiple-possibility problems) (Leonard, Dufresne, y Mestre, 1996; Heller y Hollabaugh, 1992; Schraw, Dunkle y Bendixen, 1995; Watts, 1994, en Escudero & Moreira, 1999; Kahney, 1986, en Reid & Yang, 2002; Pretz et al, 2004; Ringenberg y VanLehn, 2008; Fortus, 2005, 2009; Shekoyan, 2007, 2009). Es importante destacar que se han utilizado adrede las traducciones de “ill-defined” y de “ill-structured” como “indefinido” y como “desestructurado”, ya que las traducciones “mal definido” y “mal estructurado” pueden tener otro tipo de connotaciones que se pretenden dejar de lado.

La definición para cada una de estas dos grandes categorías de problemas presenta variaciones de un autor a otro, pero en general es posible presentar algunas características en las cuales son coincidentes. Los *problemas bien definidos* son aquellos para los cuales se provee toda la información necesaria para resolverlos y, de esta manera, no es necesaria la realización de supuestos objetivos. En este tipo de problemas existe una única solución a la cual es posible arribar mediante la aplicación de algún algoritmo. Por su parte, los *problemas indefinidos* carecen de información necesaria para llegar a la solución, por lo tanto no existe un único algoritmo que permita su solución. Estos problemas requieren por parte del resolutor la realización de supuestos objetivos. Esto origina que las soluciones a este tipo de problemas puedan ser tantas como la cantidad de resolutores. La diferencia básica entre los *problemas bien definidos* y los *problemas indefinidos* radica en la cantidad de condicionamientos a los que se encuentran restringidos. Estos condicionamientos son los que llegan a determinar la información pertinente al problema y las operaciones y algoritmos que son permitidos para resolverlo (Fortus, 2009). Pretz et al (2004) acuerdan en que estas definiciones no pueden ser realizadas de manera muy rigurosa. Prefieren señalar que estas categorías constituyen puntos en un continuo en lugar de una separación clara y discreta entre estos dos tipos de problemas. Es posible conceptualizarlas también no como categorías dicotómicas y considerar la posibilidad de que un problema pertenezca a una u otra categoría dependiendo de las posibilidades del resolutor (Reitman, 1965 en Shekoyan, 2009).

La distinción de los *problemas indefinidos* como contrapuestos a los *problemas bien definidos* tiene su origen en el marco del Procesamiento de la Información (Reitman, 1965 y Newell, 1972 en Shekoyan, 2009; Simon, 1978). La conceptualización de los problemas indefinidos es ayudada por esta teoría a partir de considerar cómo está compuesto un problema. Esta línea señala que un problema tiene un estado inicial claro, un conjunto de operadores permitidos y un estado final u objetivo. Si alguno de estos componentes no está bien especificado, el problema cae en la categoría de *problema indefinido*. En este punto es posible identificar dos perspectivas. Por un lado la que caracteriza a los problemas en relación a cierta incerteza en la definición del problema (Reitman y Simon en Shekoyan, 2009) y la que caracteriza en función de los métodos que el resolutor elige para resolver el problema (Newell en Shekoyan, 2009).

Simon señala que los *problemas indefinidos* (ill-defined problems) son caracterizados como un concepto residual, es decir, indicando lo que no son. También plantea la idea de continuidad entre estos tipos de problemas, afirmando que los criterios de definición de estos tipos no son absolutos, sino que responden a una relación entre las características del dominio del problema y las características o potencia del mecanismo que resuelve el problema. Por su

parte, Newell sostiene que un problema es bien definido o indefinido según los métodos que disponga el resolvidor. Señala que al ser imposible formalizar un problema indefinido, sólo un resolvidor humano puede lidiar con un problema de tipo indefinido.

En la Tabla 4.2 se muestra una extensión de la clasificación propuesta por Johnstone (1993, en Reid & Yang, 2002) teniendo en cuenta la clasificación *bien definido/ indefinido* (Fortus, 2005, 2008; Reingenberg y VanLehn, 2008).

Puede resumirse señalando que la diferenciación entre *problemas bien definidos* y *problemas indefinidos* está relacionada a su especificidad. Puntualizando esto tiene que ver con:

- La manera en que son presentados los elementos del problema.
- La determinación de los límites y objetivos del problema
- Los criterios existentes para evaluar las soluciones.
- El grado de incertidumbre sobre qué conceptos, leyes o principios son necesarios para encontrar una solución.

El proceso de resolución de *problemas bien definidos* ha sido largamente estudiado. En particular en los trabajos enmarcados en la Inteligencia Artificial y el Procesamiento de la información presentados anteriormente en este capítulo. La particularidad de este tipo de problemas es que pueden ser divididos en partes y resolverse entonces utilizando un conjunto de operaciones o algoritmos recursivos. Sin embargo, esto no es posible para los *problemas indefinidos*. Varios autores adhieren a la idea de que todos los problemas indefinidos tarde o temprano son convertidos en problemas definidos por los resolvidores para dar alguna respuesta (Simon, 1978; Pretz et al, 2004; Fortus, 2009). En acercamientos progresivos los resolvidores deben ir realizando suposiciones objetivas que les permitan determinar la representación considerada para los objetos y eventos del problema, los objetivos del mismo y los conceptos leyes o principios que serán utilizados para describir la situación. Una vez que todo esto queda determinado, el problema se ha convertido en un *problema definido*.

Tabla 4.2: Clasificación de Johnstone teniendo en cuenta la clasificación bien definido/ indefinido tradicional.

<i>Estado inicial</i> Datos	<i>Operadores permitidos</i> Procedimiento	<i>Estado final</i> Objetivo	<i>Bien definido /</i> <i>Indefinido</i>
Dado	Dado	Dado	Bien definido
Dado	No dado/Incompleto	Dado	Indefinido
No dado/Incompleto	Dado	Dado	Indefinido
No dado/Incompleto	No dado/Incompleto	Dado	Indefinido
Dado	Dado	No dado/Incompleto	Indefinido
Dado	No dado/Incompleto	No dado/Incompleto	Indefinido
No dado/Incompleto	Dado	No dado/Incompleto	Indefinido
No dado/Incompleto	No dado/Incompleto	No dado/Incompleto	Indefinido

Como se ha mencionado anteriormente, la categoría de *problemas indefinidos* es una categoría amplia, que puede abarcar muchos tipos de problemas, por ejemplo aquellos en los que la especificación del problema es incompleta, aquellos para los cuales existen múltiples soluciones posibles que no son equivalentes pero igualmente válidas, aquellos en los que no

hay solución definitiva en la que los expertos puedan acordar, etc. Resulta relevante entonces mencionar que existen tipos de problemas (indefinidos) que podrían denominarse alternativos, por no ser los tradicionales problemas de final de capítulo. Entre ellos podemos mencionar: Problemas ricos en contexto (context-rich problems), problemas experimentales (experiment problems), problemas de decisión (jeopardy problems), planteamiento de problemas (problem posing), tareas de clasificación (Ranking tasks).

Si bien hay consenso entre los investigadores del área e incluso entre los profesores sobre que es necesaria la utilización de diversas tareas para conseguir el desarrollo cognitivo deseado en los estudiantes, no se evidencian más que intervenciones instruccionales puntuales, que no tienen suficiente alcance masivo como para generar cambios sustanciales en la enseñanza de la Física. Pueden mencionarse la serie de libros para nivel medio *Mind on Physics*, desarrollados en la Universidad de Massachusetts, Amherst, el trabajo con problemas ricos en contexto en grupos colaborativos, desarrollado en el Departamento de Física de la Universidad de Minnesota, o el proyecto ISLE (Investigative Science Learning Environment) desarrollado en la Universidad de Rutgers. Sin embargo, a nivel latinoamericano estas propuestas no son utilizadas. En las aulas de Física de nivel universitario se utilizan libros tradicionales, en los cuales los problemas de final de capítulo son problemas mayoritariamente bien definidos. Harper, Freuler y Demel (2006) analizaron una muestra de libros utilizados en la instrucción universitaria para caracterizar el tipo de problemas contenidos en los mismos. Su matriz de categorización contenía por un lado la naturaleza de la respuesta (ninguna, una, dos o más) y por el otro la naturaleza de la información provista en el enunciado (excesiva, exacta o suficiente, insuficiente). Para mencionar los resultados encontrados, para un libro de utilización muy difundida como es el *Física* (Halliday, Resnick y Walker, 6ta edición) estos autores encontraron que para los capítulos correspondientes a cinemática en 1-D, 2-D y 3-D el 97% de los problemas corresponden a problemas con exacta o suficiente información y una única respuesta. Los autores sostienen que el análisis realizado revela que los problemas de los libros de texto no requieren la aplicación de habilidades para resolver problemas como realizar aproximaciones, suposiciones, estimaciones o realizar búsquedas adicionales. Señalan a esto como una posible causa de la falta de desarrollo de estas habilidades reseñada en la literatura.

Esta revisión presenta la problemática en cuanto a tipos de problemas considerados en la investigación en resolución de problemas en ciencias y en particular en Física. Las categorizaciones discutidas no son ni independientes ni dicotómicas, por lo que la pertenencia de un problema a una u otra categoría quedará, en algunos casos, sujeta a consideraciones subjetivas. Diferentes autores hacen referencia a *problemas definidos* y a *problemas indefinidos* teniendo cada uno de ellos distintas definiciones para estas categorías en relación a distintas perspectivas. Esto obliga a centrar la atención en una cuidadosa definición de categorías de enunciados que posibilite la utilización de dichas categorías como variables de investigación. Se hace necesario entonces adoptar un criterio que permita clasificar los enunciados en función de los objetivos del trabajo.

Capítulo 5: Marco teórico

5.1 El Modelo para la Comprensión de Problemas en Física.

5.1.1 La génesis

5.1.2 La Resolución de Problemas como proceso de modelado

Las distintas representaciones propuestas

- Modelo de la Situación
- Modelo Físico Conceptual
- Modelo Físico Formalizado

El proceso

5.2 Tipología para la clasificación de enunciados de Problemas en Física.

El objetivo principal de esta investigación es estudiar características de las habilidades puestas en juego en el proceso de resolución de problemas en Física en relación a características específicas del enunciado. En el capítulo anterior se han presentado una gran variedad de enfoques relacionados con distintos aspectos del proceso de resolución de problemas y con distintas características del enunciado. En la presente sección se presenta un modelo teórico que permite dar cuenta de distintos niveles de comprensión para la resolución de problemas de Física. Se propone también una clasificación para los enunciados de los problemas, articulado coherentemente con el modelo de comprensión propuesto. Estas propuestas teóricas constituyen el sustento del trabajo experimental realizado.

5.1 El Modelo para la Comprensión de Problemas en Física.

5.1.1 La génesis

Los primeros trabajos orientados a la construcción de un modelo para la resolución de problemas en Física pueden encontrarse entre los realizados en el marco de una Tesis Doctoral realizada en el grupo de investigación. “La resolución de problemas en física y su relación con el enunciado”, autora Laura Buteler, dirigida por Zulma Gangoso (Buteler, 2003). Entre los objetivos presentados por la autora, señala que “Las representaciones y procesos propuestos intentan describir con vistas a explicar, la evolución del comportamiento experto ante la tarea de resolver un problema de Física.”(Buteler, 2003, pp. 134). Dando un importante lugar al enunciado del problema, la autora realiza una propuesta teórica en la que intenta modelar algunos aspectos del proceso de resolución de problemas de Física. En particular, se puso especial énfasis en la representación inicial que guía el proceso de solución, la estructura de conocimiento específico, cómo estas interactúan y cómo se relacionan con el desarrollo de la experticia.

En el marco de la mencionada Tesis, se realizaron un conjunto de trabajos que orientaron la construcción teórica del modelo. En uno de estos trabajos (Gangoso y Buteler 1998) estudian características de representaciones cualitativas construidas por sujetos cuando la tarea es predecir el comportamiento de una situación. Los resultados de este estudio mostraron correlación positiva entre el nivel de abstracción de los modelos construidos por los sujetos entrevistados con su nivel de instrucción formal. De este estudio, las autoras encontraron apoyo a su hipótesis por la cual suponen que las diferencias entre los modelos cualitativos construidos por los sujetos expertos y novatos pueden ser abarcadas en un mismo modelo del proceso de solución. En otro de sus estudios (Buteler y Gangoso, 2001), mediante resolución de problemas de termodinámica con estudiantes universitarios, mostraron que posiblemente la actuación de los novatos difiere de la de los expertos en la habilidad de establecer correspondencias significativas entre la representación de la situación y la estructuras de conocimientos relevantes para resolver el problema. En este caso las autoras sugieren que las características de esa correspondencia podrían dar indicios sobre la evolución de la experticia. En un estudio realizado en la escuela secundaria (Buteler et al, 2001), encontraron disociados el modelo de la situación construido a partir del enunciado y los procedimientos algebraicos realizados para resolverlo. Encontraron que un alto porcentaje de estudiantes, si bien representaron una situación que no era la descrita en el enunciado del problema, pudieron realizar correctamente el proceso de resolución numérico. Por último, fueron llevados a cabo dos estudios para indagar sobre la influencia de la representación externa en el proceso de resolución (Buteler y Gangoso, 2001 y 2003). Los resultados de estos trabajos mostraron que las acciones efectuadas por los sujetos durante el proceso de resolución cambian en relación al formato de presentación del enunciado.

Sobre estos resultados propios y el conocimiento aportado por la línea de investigación sobre diferencias entre expertos y novatos, se propone un modelo para el proceso. Como partes que componen dicho proceso se proponen el *Modelo de la Situación* y la *Estructura de Conocimiento Específico*. El *Modelo de la Situación* es definido como una construcción realizada por la persona a partir de la lectura del enunciado, en la cual son representados los elementos y objetos presentes en el enunciado y las relaciones entre ellos. Por su parte, la *Estructura de Conocimiento Específico* es presentada como el conocimiento específico de Física que el sujeto tiene almacenado en su memoria de largo plazo. La dinámica entre el *Modelo de la Situación* y la *Estructura de Conocimiento Específico* es descrita por la autora de la siguiente manera:

“Nuestra propuesta consiste en suponer que la persona que está aprendiendo a resolver problemas de Física, posee inicialmente conocimiento mayoritariamente declarativo de leyes, principios y/o conceptos físicos, estructurado de acuerdo a una red de nodos como la descrita anteriormente. A medida que alguno de esos elementos (principio, ley o concepto físico) representado en algún nodo de la red comienza a ser útil para resolver distintas situaciones problemáticas, ese nodo puede crecer, relacionarse y comenzar a actuar como condición para el conocimiento procedural. Así, ante la aparición reiterada de distintas situaciones físicas en las que para satisfacer la demanda se requiere cierta ley o principio, el nodo correspondiente a esa ley puede dar lugar a la creación de un esquema con ‘slots’ (que serán rellenados con información específica de cada situación) que se corresponden con un conjunto de modelos de situaciones, correspondientes a situaciones problemáticas que compartieron esa ley física para su resolución.”Buteler, 2003, pp.141

El lugar de relevancia otorgado al Modelo de la Situación se debe a que es considerado un hábito experto deseable de conseguir. La orientación de esta investigación estuvo siempre en la línea de diferencias entre expertos y novatos.

En particular de esta propuesta se desprendieron una serie de recomendaciones sobre cómo diseñar enunciados de problemas que fueran capaces de orientar la construcción del *Modelo de la Situación*. Fue realizada una implementación orientada por estas recomendaciones en la cual se obtuvieron resultados positivos. Los estudiantes que fueron instruidos con los problemas diseñados, adquirieron el hábito de construir el *Modelo de la Situación*, lo aplicaron en problemas tradicionales en el contexto de un examen y este hábito correlacionó positivamente con la calificación en el examen.

Esta propuesta inicial incorporó dos aspectos sustanciales para la descripción del proceso de resolución de problemas. El *Modelo de la Situación* como primera construcción que daría cuenta de la comprensión del enunciado y la *Estructura de Conocimiento Específico* como componente necesario para avanzar desde la comprensión de la situación hacia su solución. Si bien promisoria, se reconoce la necesidad de incorporar más detalle sobre estos u otros componentes del proceso.

Un segundo punto de inflexión en el desarrollo de un modelo para dar cuenta del proceso de resolución de problemas en Física se produce cuando se realiza el Trabajo Especial de Licenciatura en Física “Resolución de Problemas en Física Básica: algunos factores explicativos de desempeño” bajo la dirección de Zulma Gangoso (Truyol, 2006). En él se estudia la plausibilidad de un modelo que describe el proceso de resolución de problemas instruccionales en física desarrollado en el grupo en los años anteriores. Se trabaja con indicadores de habilidades cognitivas que intervienen en la resolución de problemas en física. Se analiza la relación que éstas habilidades tienen dentro del proceso. Se estudia su relación con el rendimiento académico de los sujetos.

El modelo de proceso de resolución de problemas que orientó este trabajo, fue una construcción teórica desarrollada en la FaMAF- UNC. En ella se refina y amplía un Modelo de Comprensión de Problemas desarrollado por Nathan, Kinscht y Young (1992), propuesto para problemas sencillos. Se articula además con un Modelo de Estructura Cognitiva para el conocimiento en Física desarrollado en la Universidad de Massachussets (Gerace, Dufresne y Leonard, 1997) y con aspectos centrales de la Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo de Ausubel (Ausubel, Novak y Hanesian, 1993). Sirven de marco también resultados de investigación en la línea que estudia diferencias entre expertos y novatos y estudios que vinculan la representación externa y el desempeño de sujetos frente a un problema. Algunos de estos últimos desarrollados en la FaMAF- UNC (Gangoso, Gattoni, Buteler y Coleoni, 2005 Informe Técnico Final- ANPCyT)

Nathan et al (1992) proponen un *modelo de comprensión de problema* basado en la teoría de procesamiento de discurso de van Dijk y Kintsch (1983). El enunciado de un problema se interpreta como un texto a partir del cual el sujeto que lo lee debe extraer información proposicional y situacional y hacer inferencias críticas. La teoría se propone para los denominados *algebra-word-problem* o problemas de cálculo en cursos básicos de universidad. Los autores distinguen con claridad entre una representación de eventos - *modelo de la situación* - y otra construida con relaciones formales denominada *modelo de problema*. Cabe aclarar que *modelo de la situación* se refiere a una representación interna (mental) que se construye durante el proceso de comprensión de la lectura y cuyos aspectos relevantes se almacenan en la memoria de largo plazo. El modelo de la situación se define como "la representación cognitiva de los acontecimientos, acciones, personas, y, en general, de la situación sobre la que trata el texto" (van Dijk y Kintsch, 1983, p. 12).

La teoría de comprensión de los algebra-word-problem resulta una propuesta interesante para problemas de física. Un análisis para explicar errores cometidos por 80 estudiantes secundarios ha puesto de manifiesto que tal teoría resulta insuficiente para dar cuenta de la incorporación de leyes y principios físicos en la búsqueda de la correspondencia entre *modelo de la situación* y *modelo problema*. (Coleoni, Otero, Gangoso, Hamity, 2001). Fundamentalmente porque no da cuenta del conocimiento de procedimientos que es precisamente el "nexo" entre lo fenomenológico y el modelo matemático que representa el fenómeno.

La mayor parte de los modelos de memoria proceden de la psicología y los trabajos que vinculan esos modelos a la resolución de problemas abordan generalmente problemas lúdicos. En estos casos, las reglas son generalmente enseñadas o repetidas antes de iniciar el juego. Sin embargo, entre estas reglas capaces de regular el juego y las leyes y principios físicos, que podrían ser su equivalente para resolver problemas de física, hay una distancia estructural difícil de obviar. (Buteler, Gangoso, 2003). Un obstáculo recurrente para construir modelos de estructura cognitiva en determinadas áreas de conocimiento, ha sido poder incorporar en ellos la estructura disciplinar de que se trate.

El Grupo de Educación en Física de la Universidad de Massachusetts, ha desarrollado un modelo cognitivo que puede dar cuenta de los diferentes modos en que expertos y novatos almacenan y usan su conocimiento en física (Gerace et al, 1997). El modelo permite también identificar áreas específicas en las cuales los novatos necesitan concentrarse para evolucionar y ser mejores resolvedores de problemas. El modelo es sin duda, sólo una representación de la estructura de conocimiento, por lo tanto es constantemente evolutiva. El modelo contempla varios tipos de conocimiento que ponen en juego las personas que pretenden resolver problemas de física: conceptual, de hechos, representacional, estratégico, metacognitivo, de operaciones, de procedimientos y sobre el problema. Estos tipos de conocimiento necesitan ser organizados y estructurados para poder usarlos de manera eficiente cuando se resuelven problemas. A fin de discutir estos aspectos estructurales, los autores proponen clasificarlo en tres categorías generales que denominan: *Conocimiento Conceptual*, *Operacional* y *Procedural* y *Conocimiento sobre Problemas*. Proponen también una cuarta categoría, *Conocimiento estratégico*, que se encuentra en un plano diferente y que podría regular la comprensión y actuar en la toma de decisiones.

Se incorpora la propuesta de Ausubel (Ausubel et al, 1993) en cuanto a los mecanismos por los cuales se construye la estructura cognitiva. El aprendizaje significativo es el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o información con la estructura cognitiva del que aprende de forma no arbitraria y sustantiva o no literal. Esa interacción con la estructura cognitiva no se produce considerándola como un todo, sino con aspectos relevantes presentes en la misma, que reciben el nombre de subsumidores o ideas de anclaje. La presencia de ideas, conceptos o proposiciones inclusivas, claras y disponibles en la mente

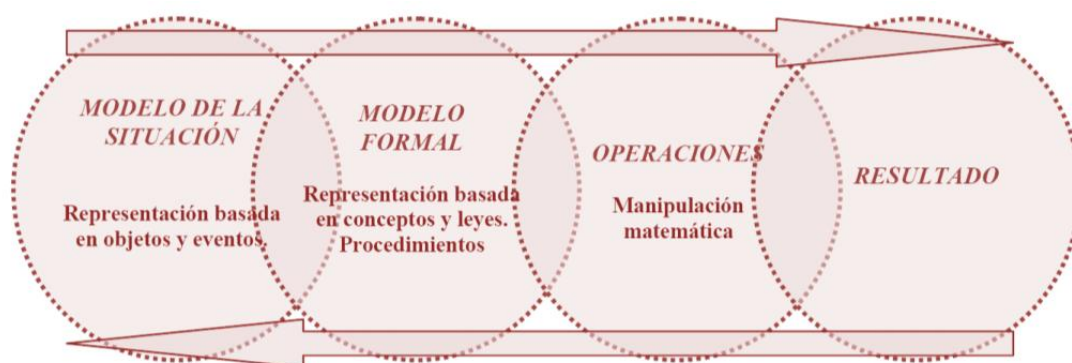
del aprendiz es lo que dota de significado a ese nuevo contenido en interacción con el mismo. Pero no se trata de una simple unión, sino que en este proceso los nuevos contenidos adquieren significado para el sujeto produciéndose una transformación de los subsumidores de su estructura cognitiva, que resultan así progresivamente más diferenciados, elaborados y estables. (Gangoso, 1997). Si se tiene en cuenta que la Teoría ha sido propuesta en la década del 60, se encontrará que resulta en todo consistente que tratara particularmente con “conocimiento conceptual”. Por ello para fundamentar este estudio, se propone adoptar la Teoría Ausubeliana para dar cuenta del proceso por el cual un sujeto aprende, proceso mediante el cual construye/reconstruye y organiza /reorganiza la estructura cognitiva. Se recupera particularmente la organización jerárquica en cada uno de los conocimientos propuestos.

En resumen, el proceso de Resolución de Problemas de Física propuesto consta de los siguientes estadios:

- *Modelo de la situación*: representación basada en objetos y eventos.
- *Modelo formal*: representación basada en conceptos y leyes. Procedimientos.
- *Operaciones*: manipulación matemática.
- *Resultado*

Todo el proceso, que no debe considerarse lineal ni algorítmico, está acompañado por un control de la comprensión. El *Modelo de la Situación* que se construye con todo lo que el sujeto sabe y representa básicamente objetos y eventos. Este modelo permite hacer alguna discusión cualitativa. En un proceso exitoso, con elementos del *Modelo de la Situación* se construye el *Modelo Formal* reemplazando, en proceso de abstracción, objetos y eventos por conceptos y leyes. Se empieza a incorporar también procedimientos: condiciones de validez, posibilidad de generalización, etc. Existe un cambio de representación reflejado en un cambio de lenguaje. El sujeto expresa el modelo mediante símbolos matemáticos. Sobre el Modelo Formal así expresado, está en condiciones de realizar operaciones y obtener resultados. En procesos no exitosos o los que habitualmente utilizan los estudiantes, el *Modelo de la Situación* es débil o no se construye. El sujeto intenta utilizar fórmulas reemplazando (tipo "rompecabezas") datos en alguna ecuación. Esta construcción no tiene la característica de *Modelo Formal* según esta concepción ya que difícilmente le sirva al sujeto para anticipar el comportamiento del sistema ni pueda ser relacionado con la situación planteada. El sujeto sí puede realizar operaciones "legales" matemáticamente y obtener algún resultado. La carencia de significado situacional en esta representación matemática pone fuertes restricciones a la posibilidad de control metacognitivo de todo el proceso (Gangoso et, al, 2005; Truyol, 2006).

Ilustración 5.1: Modelo propuesto para dar cuenta del proceso de resolución de problemas en Física. Tomada de Truyol, 2006, p. 40.



En ese trabajo (Truyol, 2006) se estudió la potencia de indicadores definidos para predecir desempeño. Los registros analizados fueron enunciados y soluciones de problemas de exámenes de física básica (Físicas Generales), de distintos tópicos y niveles. En cuanto al proceso de resolución de problemas en Física, se encontró que el tipo de asociaciones entre las variables permite sostener y validar a la resolución de problemas en física como un proceso conformado por la puesta en juego, de manera secuencial, de determinadas habilidades específicas. Más aún, los datos analizados mostraron que esa secuencia temporal de habilidades presenta una direccionalidad definida y que determina una serie de condiciones aparentemente necesarias, pero no suficientes, para avanzar exitosamente en ese proceso. En cuanto a las habilidades cognitivas indagadas, se pudo observar que la asociación más alta con las variables que dieron cuenta de desempeño se presenta en la variable relacionada con la posibilidad del resolutor de plantear las ecuaciones con significado situacional, esto es, la posibilidad de instanciar el modelo físico en la situación particular planteada en el problema. Las diferencias más notables entre los sujetos aprobados y no aprobados estarían por un lado en la posibilidad de seleccionar los conceptos que son relevantes para la resolución y en la imposibilidad de utilizar apropiadamente las condiciones de aplicación en las ecuaciones con significado físico. Además, no fue posible advertir evidencias sobre diferencias entre las habilidades cognitivas requeridas en las distintas asignaturas estudiadas.

A partir de estos resultados fue posible extraer algunas consecuencias instruccionales. Considerando el carácter de proceso secuenciado y articulado de la resolución de problemas en Física, es necesario que tanto profesores como estudiantes tengan en cuenta explícitamente este proceso y las habilidades requeridas para avanzar en él. Se considera entonces que la enseñanza debe estar orientada a favorecer de manera explícita el desarrollo de las habilidades cognitivas necesarias para abordar con éxito la resolución de un problema. Fundamentalmente, trabajar en la importancia que presenta para el proceso el cambio de representación que realiza el sujeto y las condiciones de aplicación de leyes y principios.

5.1.2 La Resolución de Problemas como proceso de modelado

Existe entonces evidencia suficiente que permite dar sustento teórico a una propuesta que considere la resolución de problemas como un proceso de modelado. El presente modelo de comprensión postula, para el proceso de resolución de problemas de física, la existencia de tres niveles de representación, interdependientes, con diferente naturaleza ontológica y diferente nivel de abstracción. Un nivel conformado por los objetos y hechos del mundo (categorías concretas), otro por los conceptos, magnitudes, principios y leyes físicas y otro por las entidades matemáticas, siendo estos dos últimos los niveles de categorías abstractas.

Esta propuesta teórica, retoma los aportes existentes de Gangoso et al, (propuesta original del modelo, que puede consultarse en Truyol, 2006 y en Gangoso, 2008), y los enriquece con aportes de distintas líneas de investigación, tales como la de modelado como habilidad en la resolución de problemas (Lemeignan y Weil-Barais, 1994; Etkina et al, 2006; Lopes y Costa, 2007; Sensevy et al, 2008; Fortus, 2009), visualización (Gilbert, 2008), modelos científicos (Bunge, 1982; Gilbert, 1998 a y b), formatos de representación (Williams, 1999; Kohl, 2006; Lemke, 2004; Barojas, 2007; Brookes y Etkina, 2007) y tipos de representaciones construidas en la resolución de problemas (Roschelle y Greeno, 1987; Greeno, 1989; Nathan et al, 1992; Gaigher et al, 2007; Gangoso et al, 2008).

Las distintas representaciones propuestas

El proceso de resolución de problemas comienza cuando el sujeto lee el enunciado. Un *problema instruccional* es una situación física descrita mediante un texto denominado enunciado. Éste está expresado en lenguaje natural, pudiendo incorporar símbolos, íconos y gráficos (expresiones de sistemas de representación externos). La situación presenta una historia verosímil que involucra objetos y eventos que pueden ser subsumidos en conceptos y principios físicos. Un problema presenta alguna cuestión a resolver que puede ser abordada desde las leyes físicas que explican el evento. Los problemas presentados a los estudiantes son preparados por los profesores y tienen alguna solución (Gerace, Dufresne y Leonard, 1997; Gangoso et al., 2004). Estos problemas son ampliamente utilizados tanto en la instancia de instrucción como en la de acreditación.

Al considerar que la resolución de un problema comienza con la lectura del enunciado, resulta relevante incluir propuestas provenientes de la línea de procesamiento del discurso, tal como las presentadas en el capítulo de revisión (Van Dijk y Kintsch, 1983; Nathan et al, 1992).

Si bien la lectura del texto enunciado de un problema de Física genera un *Modelo de la Situación* tal como es propuesto por Van Dijk y Kintsch, hay que tener presente que en la resolución de problemas, las características del texto *enunciado de un problema* son diferentes a las que presentan los textos utilizados en investigaciones clásicas sobre procesamiento del discurso. En primer lugar, el texto enunciado de un problema presenta al lector/resolvedor una demanda que dirige y orienta fuertemente los objetivos de la lectura. En el proceso de comprensión de textos general los objetivos pueden en algunos casos ser muy generales e indefinidos, mientras que en otros son bien definidos (Graesser, Singer y Trabasso, 1994). En el caso de la lectura de un enunciado de un problema, el objetivo está bien definido. Es necesaria la construcción de un *Modelo de la Situación* que posibilite la resolución del problema más allá de dar coherencia local y global al enunciado. Si bien no hay claridad sobre la estructura interna de los modelos de la situación (Tapiero y Otero, 2002), parece claro su carácter analógico con el mundo que representan. En este sentido, el *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* que se propone, plantea la existencia de una representación *Modelo de la Situación* (MS), del tipo propuesto por Van Dijk y Kintsch pero diferente en cuanto a los objetivos de utilización posterior.

Para abarcar los *problemas instruccionales* de física, se adapta la propuesta de Nathan et al. (1992), disociando la representación *modelo de problema*, en la cual es posible incorporar las ecuaciones en lenguaje matemático, en dos representaciones diferentes: el *Modelo Físico Conceptual* (MFC) y el *Modelo Físico Formalizado* (MFF).

El *Modelo de la Situación*, el *Modelo Físico Conceptual* y el *Modelo Físico Formalizado* se refieren a representaciones internas, construidas por la persona que resuelve. No se utiliza la expresión *modelo mental*, constructo bien definido en la Ciencia Cognitiva, para no entrar en una discusión acerca de la polisemia actual de esa expresión que se encuentra fuera del alcance de este trabajo. Sólo se conservan características que resultan esenciales en estas representaciones, como son los objetivos funcionales y los elementos constitutivos esenciales. Estas características son recogidas por Gutiérrez (2005) cuando se refiere a esta polisemia. La autora plantea como objetivos funcionales de los modelos mentales la explicación del comportamiento del sistema y la predicción de estados futuros del mismo. Sin entrar en detalle con respecto a ellos, los elementos esenciales permiten razonar a partir de una simulación mental. El sujeto puede modelar comportamientos del sistema y compararlos con los que obtendría si el sistema real se pusiera en funcionamiento.

Se da un lugar de relevancia al interjuego entre las *representaciones externas* presentadas al sujeto o producidas por él y las *representaciones internas* construidas por él.

Existen, en la psicología cognitiva, discusiones no resueltas en relación a si la cognición es solamente interna o bien es distribuida. Cualquiera sea la concepción de cognición que se trate, todas atienden la construcción de representaciones externas. En este sentido, en esta propuesta se considera y se trabaja suponiendo que las representaciones externas condicionan el tipo de representación interna construida por el sujeto. Asimismo se supone que las representaciones externas producidas por los sujetos manifiestan los aspectos más relevantes de su representación interna.

En relación a las distintas cuestiones discutidas en la revisión bibliográfica, se presentan a continuación las características de las tres representaciones propuestas. Para cada una de ellas se considerarán:

- Componentes
- Interrelación entre sus componentes
- Formatos de representación externas posibles
- Alcances de la representación

- ***Modelo de la Situación***

El *Modelo de la Situación* está formado por entidades y las interrelaciones entre ellas. Por el lado de las entidades, se tiene a los objetos y sus atributos, los eventos y sus características espacio temporales. Las entidades forman parte del conocimiento general del mundo que tienen las personas y están representadas por categorías ontológicas concretas, perceptibles con los sentidos o por medio de instrumentos de la vida cotidiana. En cuanto a las interrelaciones entre las entidades, la justificación, la causalidad, la covariación, etc., son ejemplos de ellas. Toda persona que intenta comprender una situación, relaciona los objetos, los estados y los eventos descritos en ella con principios asumidos sobre el comportamiento del mundo y de las personas.

El *Modelo de la Situación* permite imaginar los estados y el funcionamiento de los sistemas y dispositivos en términos cualitativos, en escalas nominales (ausencia/presencia). Permite describir, analizar y predecir siempre en términos cualitativos.

En cuanto a representaciones externas, puede estar representado tridimensional, bidimensional y unidimensionalmente. Es posible efectuar representaciones concretas en 3D como modelos a escalas, gestos; representaciones 2D como dibujos, diagramas, esquemas, representaciones virtuales, etc.; es posible también representarlo mediante símbolos y palabras que hagan referencia a la situación. Particularmente sobre el lenguaje verbal, el *Modelo de las Situación* es habitualmente representado en lenguaje natural, esto es, en el lenguaje cotidiano. El significado de las expresiones es contextual. Es posible utilizar diferentes palabras o expresiones para comunicar una misma idea. También, una palabra o frase permite más de una interpretación.

De las tres representaciones propuestas, el *Modelo de la Situación* es la de menor nivel de abstracción y, por consiguiente, la de menor potencia explicativa.

- ***Modelo Físico Conceptual***

Entre las entidades del *Modelo Físico Conceptual* tenemos a las representaciones teóricas de los objetos y las representaciones teóricas de los eventos. Estas son los objetos y eventos modelados. Son ejemplos de los objetos modelados el centro de masas, la masa puntual, el sólido rígido, el condensador de caras plano-paralelas infinitas; la cuerda inextensible, el conductor sin resistencia, la recta, el plano sin fricción, el líquido incompresible, el gas ideal, el recipiente perfectamente aislado, el átomo de Bohr. Los eventos modelados constituyen en este caso los fenómenos físicos descritos en términos de

conceptos y estados. Por ejemplo, una pelota que cae al suelo porque se ha soltado de la mano, se modela mediante una esfera en caída libre debido a la gravedad, es posible despreciar el roce con el aire, y caracterizarla por medio de su masa, su radio, su velocidad, su aceleración, etc. También están incluidas las propiedades físicas de los objetos y las características de los fenómenos o eventos. La interrelación entre las entidades pertenecientes al *Modelo Físico Conceptual* no son otras que las leyes físicas. Las propiedades físicas de los objetos y las características de los fenómenos deben ser explicadas en términos de *leyes físicas* que asumen principios. Estas leyes no son más que vínculos causales entre modelos teóricos (físicos) de los objetos para justificar y predecir sus estados. Por ejemplo, la intensidad de una corriente se predice en términos de la fuerza electromotriz y de una resistencia, gracias a la ley de Ohm.

El *Modelo Físico Conceptual* permite representar los estados y fenómenos asociados con sistemas físicos en términos cuantitativos pero sólo en el nivel ordinal (operaciones mayor, menor, más que, menos que, nulo) manejando magnitudes y entidades teóricas vinculadas por leyes físicas. El *Modelo Físico Conceptual* no permite determinar con exactitud las cantidades ni las dependencias funcionales.

Para el caso del *Modelo Físico Conceptual*, el mismo puede ser representado tanto en dos como en una dimensión. Son conocidas las representaciones 2D para el *Modelo Físico Conceptual*: diagramas, esquemas, gráficos específicos; por el lado de las representaciones 1D símbolos y palabras. En cuanto al lenguaje verbal, el mismo es expresado en lenguaje técnico, o científico. Este tipo de lenguaje utiliza el lenguaje natural pero definiendo previamente partes de sus términos de manera de asignarles significados propios y en relación a la comunidad de uso. Así en el caso de la Física, se define el sentido en que se utilizan términos pertenecientes al lenguaje natural como velocidad, fuerza, masa, etc. Es un lenguaje objetivo ya que representa información que no está basada en impresiones o sensaciones personales.


- **Modelo Físico Formalizado**

El *Modelo Físico Formalizado* contiene sus entidades y relaciones específicas. Las entidades son representaciones matemáticas de modelos de objetos y de modelos de eventos o fenómenos físicos. Por ejemplo, punto, esfera, circunferencias, rectas, planos, trayectorias, flujos, gráficas, coordenadas, ejes, etc. También se incluyen las representaciones formales de las propiedades de los modelos de objetos y modelos de eventos, como m , \vec{v} , Δt , etc. Las interrelaciones entre estas entidades y sus propiedades están constituidas por las representaciones matemáticas de las leyes físicas: ecuaciones de Newton, ecuaciones de Maxwell, ecuaciones de continuidad, etc.

El *Modelo Físico Formalizado* permite representaciones en términos cuantitativos. Es posible utilizar las herramientas matemáticas con todas sus convenciones. El *Modelo Físico Formalizado* permite determinar de manera exacta cantidades y dependencias funcionales. Permite calcular y operar. Habilita el análisis de situaciones en cuanto a la legalidad del formalismo matemático.

El *Modelo Físico Formalizado* es obviamente representado mediante símbolos y ecuaciones matemáticas. Es expresado en lenguaje formal de la matemática. Un lenguaje formal es un lenguaje cuyos símbolos primitivos y reglas para unir esos símbolos están formalmente especificados. Al conjunto de las reglas se lo llama la gramática formal, o sintaxis. Es justamente esta sintaxis la que rige esta representación, mediante la validez o no de las expresiones construidas. Una semántica formal, es decir una interpretación de los símbolos o combinación de ellos, no es condición necesaria para definir este lenguaje formal.

Tabla 5.1: Características de las distintas representaciones propuestas para el Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física

	<i>Modelo de la Situación</i>	<i>Modelo Físico Conceptual</i>	<i>Modelo Físico Formalizado</i>
Componentes	Objetos y sus atributos. Eventos y sus características espacio temporales.	Modelizaciones de objetos, eventos y sus características.	Símbolos abstractos o expresiones formales que representan a los objetos, eventos, sus características y relaciones
Regido por	Principios cotidianos sobre el funcionamiento del mundo.	Principios y leyes físicas. Condiciones de aplicación o validez física.	Formalismo matemático. Condiciones de aplicabilidad o validez matemática.
Categorías ontológicas	No abstractas, perceptibles con los sentidos o a través de elementos de la vida cotidiana.	Abstractas, son representaciones teóricas de los objetos, eventos con sus atributos y características (aún cuando sus referentes puedan ser concretos).	
Dimensión de la representación²	3-D; 2-D; 1-D	2-D; 1-D	1-D
Formato de representación externa	Representaciones concretas (modelos a escala, etc). Dibujos, diagramas, esquemas. Símbolos. Palabras.	Diagramas, esquemas, gráficos (específicos). Símbolos. Palabras. (Ej: Mapas conceptuales)	Gráficos (1D) Símbolos. Ecuaciones.
Lenguaje	Natural	Técnico o Científico	Formal Matemático
Posibilita	Describir, analizar, predecir a nivel cualitativo.	Describir, analizar y predecir en términos de órdenes de magnitud. Análisis de situaciones límite, prohibidas o imposibles.	Analizar las expresiones en cuanto a la "legalidad" del formalismo. Calcular y operar.
Potencia explicativa	-  +		

Las representaciones *Modelo de la Situación*, *Modelo Físico Conceptual* y *Modelo Físico Formalizado* son consideradas flexibles y dinámicas. Son además idiosincráticas, por ello solo en ciertos casos la interacción entre estas representaciones conduce a una resolución exitosa. Un *Modelo de la Situación* que integre de manera no arbitraria aquellos objetos y eventos que resultan relevantes para describir la evolución del sistema físico, presentado en el enunciado, tiene mayor probabilidad de generar un *Modelo Físico Conceptual* y *Modelo Físico Formalizado* que habiliten la resolución del problema (Buteler y Gangoso, 2007). En esos casos el *Modelo Físico Formalizado* representa la misma situación descrita en el enunciado y posibilita

² La dimensión de la representación se relaciona con la posibilidad de representación en el espacio, en un plano o en una recta.

incorporar valores numéricos para la obtención y análisis de resultados. Los cálculos matemáticos están orientados por la pregunta del problema, normados por la matemática y adquieren su significado en el marco de las leyes de la física.

Resulta en este punto necesario plantear las siguientes preguntas:

¿De qué manera se relacionan los elementos que constituyen cada una de las representaciones?

¿De qué manera se articulan entre sí las distintas representaciones?

El desarrollo de la sección siguiente presenta algunas respuestas para estas preguntas.

El proceso

El *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* que se propone, pretende dar cuenta de la complejidad y dinámica del proceso de resolución. Estudios previos permiten sostener que el *Modelo de la Situación* que mayor probabilidad tiene de evolucionar hacia el *Modelo Físico Conceptual* será aquel que integre los objetos y eventos que son esenciales para describir la evolución del sistema físico presentado en el enunciado. Así el *Modelo Físico Conceptual* se concibe como una representación que puede subsumir los objetos en conceptos y los eventos en las leyes físicas correspondientes. Se incorporan también procedimientos: condiciones de validez, posibilidad de generalización, etc. De esta manera, el *Modelo Físico Conceptual* que tiene más posibilidades de evolucionar al *Modelo Físico Formalizado* es aquel que ha podido incorporar de manera sustancial estos elementos de forma de dar cuenta de la evolución del sistema. El *Modelo Físico Formalizado*, representación expresada en lenguaje matemático, está en condiciones de incorporar los datos necesarios para realizar cálculos y obtener resultados con significado físico (Truyol, et al, 2008; Gangoso et al, 2008).

Varios autores señalan que la capacidad para trabajar mentalmente en los tres niveles propuestos y además tener la posibilidad de *moverse* entre ellos es una habilidad central en los procesos de modelado (Greeno, 1989; Gilbert, 2008). Es por esto, que en primera instancia se destaca la noción de visualización (Gilbert, 2008), presentada en la sección 4.2.1, página 38. La visualización se entiende como la construcción de significados de las representaciones. Resulta claro que la construcción de significados del *Modelo de la Situación* es posible realizarlo por el solo hecho de interactuar con las situaciones cotidianas que involucran los elementos y relaciones que el mismo contiene. Es una construcción de significados fuertemente dependiente del contexto. Para el caso del *Modelo Físico Conceptual* y el *Modelo Físico Formalizado*, la situación cambia, ya que sus elementos son abstractos, y encontrar la manera de que los sujetos interactúen de forma apropiada con ellos resulta una tarea más complicada. Sin embargo existen algunas propuestas que resultan útiles en este sentido.

Ya en 1989, Greeno propone que el razonamiento es situado. La cognición humana es situada y en razón de esto, las personas dan sentido a elementos y acciones abstractas o simbólicas en las que se involucran. La condición para que esto ocurra, es que estos elementos o acciones se refieran a algo perteneciente al entorno del sujeto.

Se adhiere a la posición de Barsalou (2009) en cuanto a la posibilidad de construir el significado de conceptos a partir de la percepción y la interacción con distintas situaciones. Los sujetos actúan en su entorno y en las situaciones que en él se desarrollan. De esta manera van extrayendo información que se va acumulando en la memoria, vía percepción (conceptos adquiridos por experiencia) en las sucesivas interacciones con distintas situaciones. Por lo tanto, la representación conceptual es situada porque la percepción es situada. Las diversas

situaciones proveen la información esencial tanto para representar como para comprender un concepto. De esta manera, los conceptos no son representaciones genéricas sino que su contenido está fuertemente anclado a la situación. Esta manera de adquirir conceptos es válida tanto para conceptos concretos como para conceptos abstractos, sin embargo hay algunas diferencias que destacar. En primer lugar, es importante notar que es más fácil contar con situaciones para abstraer conceptos concretos que objetos abstractos, y que si la situación no es accesible, es muy difícil poder procesar un concepto. Si bien los conceptos abstractos como los concretos comparten contenido situacional, los concretos representan objetos mientras que los abstractos representan eventos y productos del pensamiento.

Como en todo tema discutido por la Cognición Situada, la situación tiene un papel preponderante. Barsalou (2009) define la situación como “la región percibida del espacio que rodea la entidad focal en un determinado lapso de tiempo, percepción hecha desde la perspectiva del sujeto” pág. 243. Cuando el sujeto representa, representa el escenario, la acción y alguna probable acción mental. Estas situaciones parecen ser muy útiles para el procesamiento cognitivo ya que cuando se activa un concepto, se activa también la representación de las situaciones ligadas a su construcción. De la misma manera, cuando se activa la representación de una situación se pueden modificar los conceptos que esta enmarca. De esta manera resulta posible la construcción de significados del *Modelo Físico Conceptual*, no solamente en su estructura interna (como conocimiento conceptual) sino también en relación a las situaciones que es posible describir a partir de ese conocimiento conceptual.

Algo similar ocurre para el *Modelo Físico Formalizado*. Toda ley física se supone susceptible de ser representada mediante una fórmula matemática, pero esta fórmula matemática no dice nada sobre el significado físico de dicha expresión. Esta fórmula sin significado físico, según Bunge (1982), es semánticamente indeterminada, esto es, indeterminada en su significado. Puede convertirse en semánticamente determinada tras la incorporación de suposiciones extras, usualmente tácitas, relacionadas a algunos de los signos implicados en ella. El contenido físico debe ser buscado en los conceptos y enunciados de una teoría, no en una representación particular de propiedades y leyes. Todo símbolo que figura en una teoría posee algún significado matemático, pero solo algunos símbolos matemáticos reciben, además, una interpretación física. De esta manera, $\frac{dx}{dt}$ puede interpretarse no solo como la derivada total de cierta función X, sino también como la velocidad instantánea de cambio de alguna propiedad física representada por X. Los algoritmos y reglas propias del formalismo matemático se deben adquirir en relación a aquellos modelos conceptuales de los cuales pretende dar cuenta.

De esta manera, y en el interés de describir esta interrelación entre las distintas representaciones construidas se define:

- Habilidad de *modelado físico*: habilidad de construcción de una representación conceptual de la situación concreta. Implica el conocimiento de procedimientos, leyes y conceptos físicos y sus condiciones de validez en relación a la situación concreta.
- Habilidad de *modelado formal*: habilidad de construcción de una representación formalizada matemáticamente de la representación conceptual. Implica el conocimiento de los procedimientos y sintaxis matemática, sus alcances y limitaciones en relación a sus referentes conceptuales.
- Habilidad de *interpretación*: habilidad de analizar, deducir, significar las expresiones pertenecientes a la representación

formal en términos de los modelos físicos que pueden dichas expresiones pueden representar.

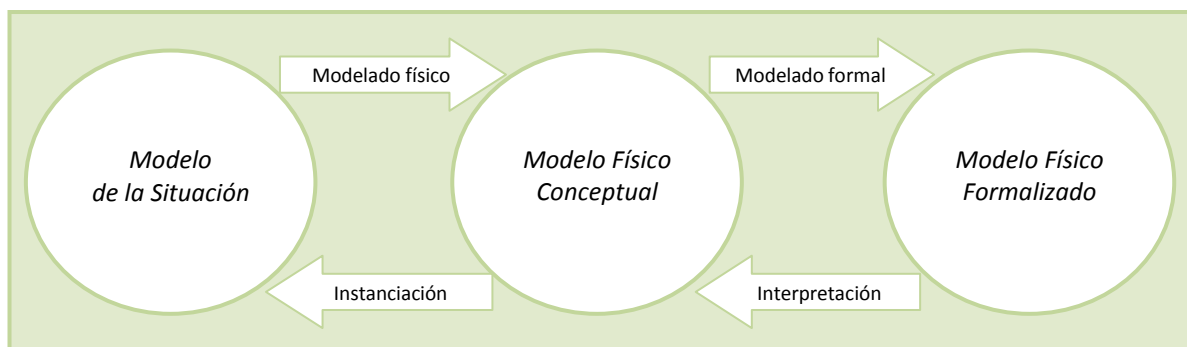
- Habilidad de *instanciación*: habilidad de reconocer en la representación física conceptual aquellos objetos, eventos y relaciones concretas y perceptibles que pueden representar.

De esta manera, se asume para este modelo que la comprensión de un problema instruccional de Física implica las habilidades necesarias para la construcción y manejo de las distintas representaciones. Estas habilidades involucran tanto la construcción de las representaciones de las situaciones, el manejo con fluidez de las distintas representaciones construidas y la (re) interpretación de dichas representaciones. El uso efectivo de estas representaciones incluye su coordinación, dando la posibilidad de reconocer conflictos entre ellas, revisar cada representación y construir representaciones consistentes. En este sentido, se adhiere a la propuesta de una teoría relacional de las distintas representaciones presentada en la revisión (Roschelle y Greeno, 1987; Greeno, 1989). Se considera que las distintas representaciones construidas se realimentan entre sí, en lugar de que las nuevas representaciones construidas sustituyan a sus antecesoras.

La adquisición de estas habilidades es lo que permitiría al sujeto comprender el problema de forma tal de poder resolverlo. Más aún, se considera que un proceso de resolución de problemas en el que se trabajen estas habilidades contribuye a la construcción de significados en la estructura de conocimiento del sujeto.

Quedan definidos así todos los elementos constitutivos del *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propuesto. Una representación esquemática del mismo es presentada en Ilustración 5.2. La misma no pretende representar una secuencia lineal y única, aunque se reconoce que la resolución de un problema de física comienza con la construcción del *Modelo de la Situación* a partir de la lectura del enunciado. Estudios previos (Truyol, 2006) han mostrado a la resolución de problemas en física como un proceso de puesta en juego secuencial de habilidades específicas. Este estudio también muestra que dicha secuencia temporal de habilidades presenta una direccionalidad definida, con condiciones aparentemente necesarias, pero no suficientes, para avanzar en el proceso.

Ilustración 5.2: Representación esquemática para el Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física



5.2 Tipología para la clasificación de enunciados de Problemas en Física.

Como fue mencionado en la sección 4.3.2, página 57, existe una importante cantidad de investigaciones en relación a los efectos de la utilización en la instrucción de distintos tipos de problemas. Si bien la revisión presentada en dicho apartado no es extensa, muestra la problemática en cuanto a tipos de problemas considerados en la investigación en resolución de problemas en ciencias y en particular en Física. Las categorizaciones discutidas no pueden ser utilizadas como variables a la hora de investigar. Se hace necesario entonces la selección de un criterio que aporte mayor claridad a una propuesta de clasificación de enunciados de problemas de física.

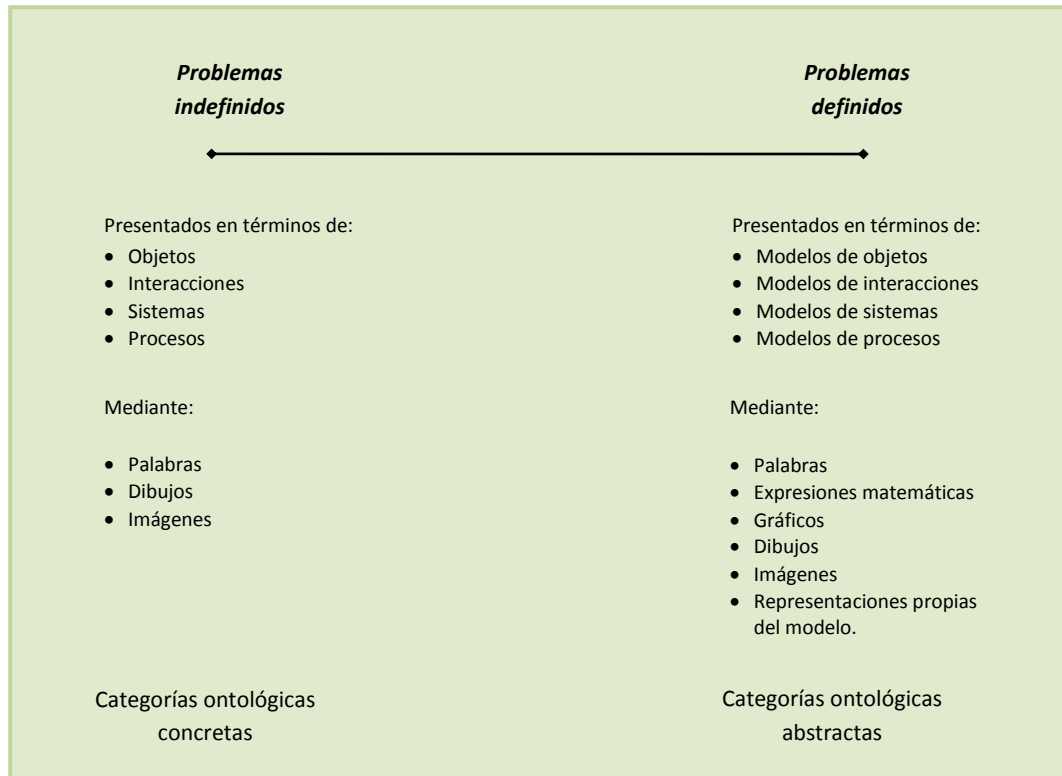
Cuando se pretende estudiar de manera sistemática la incidencia del tipo de enunciado en el proceso de resolución de problemas es necesario definir claramente el sistema de clasificación a utilizar. Se ha mencionado anteriormente que la diferencia principal entre problemas *bien definidos* e *indefinidos* se encuentra en la cantidad de restricciones que presentan. En un problema de física, estas restricciones están fuertemente vinculadas al modelo científico que es posible utilizar para simplificar y describir la situación. Por ello se propone considerar como criterio de clasificación el grado de definición de un problema en relación a cuán definido, especificado o establecido esté algún modelo científico que lo describa y permita resolverlo.

En la tarea de recortar o acotar un fenómeno para construir un modelo del mismo, se simplifican objetos, interacciones entre objetos, sistemas (objetos junto con sus interacciones) y procesos (Etkina, Warren y Gentile, 2006). Estos recortes constituyen modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos, esto es, representaciones simplificadas de los mismos. Con esto en mente, es posible categorizar a los problemas en relación a esta idea. En un enunciado de un problema de física, el modelo científico quedará más o menos determinado en relación a la manera en la que son presentados los objetos y eventos que aparecen en él. Un problema presentado en términos de objetos, interacciones, sistemas y procesos será un *Problema Indefinido*, donde la palabra *indefinido* hace referencia a la indeterminación de un modelo científico que describa la situación. Su contraparte, el *Problema Definido*, será aquel presentado en términos de modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos. En este caso, *definido* hace referencia a la determinación de un modelo científico que permita la descripción de la situación.

Es interesante señalar, que esta clasificación propuesta presupone también una clasificación de naturaleza ontológica. El sistema físico al que se refiere el enunciado, puede estar presentado mediante objetos y eventos del mundo cotidiano, es decir en término de categorías ontológicas concretas, por ejemplo *un auto que circula por una ruta y choca contra un camión que circula en sentido contrario*. El mismo sistema físico puede presentarse en el enunciado mediante modelos para los objetos y eventos, abstracciones, conceptos, leyes y principios, es decir, en término de categorías ontológicas abstractas: *una masa puntual que se desplaza en línea recta colisiona con otra masa puntual que se desplaza en la misma dirección pero en sentido opuesto*. Es habitual encontrar también, y para ello basta consultar los problemas de final de capítulo de los libros tradicionales, enunciados que combinan entidades pertenecientes a categorías ontológicas diferentes: *un auto de masa $m_1=1000$ kg, que circula en el sentido x positivo con una velocidad cuyo módulo es de $v_1=75$ km/h, colisiona con un colectivo, de masa $m_2=5000$ kg que circula en sentido x negativo con una velocidad cuyo módulo es de $v_2=90$ km/h*. De esta manera, los enunciados que hacen referencia sólo a entidades concretas y los que hacen referencia sólo a entidades abstractas, constituyen extremos de una dimensión. Dentro de esta dimensión es posible encontrar distintos grados

de combinación concreto/abstracto que se relaciona de manera directa con distintos grados en la dimensión definido/indefinido propuesta.

Ilustración 5.3: Propuesta de clasificación de problemas en relación al modelo científico que lo describe.



La hipótesis general que orienta este trabajo es que una estrategia efectiva para incrementar la comprensión en resolución de problemas y mejorar la formación en la universidad consiste en modificar los enunciados de los problemas y resignificar la instrucción en resolución de problemas para atender al desarrollo de las habilidades de modelado.

Capítulo 6: Preliminares del Diseño Experimental

- 6.1 Hipótesis de trabajo**
- 6.2 Estudio sobre características de enunciados utilizados en la instrucción.**
 - 6.2.1 Metodología
 - 6.2.2 Resultados
 - 6.2.3 Análisis de Resultados
 - 6.2.4 Conclusiones
- 6.3 Construcción y validación de enunciados experimentales.**
 - 6.3.1 Metodología
 - 6.3.2 Resultados para tiempos y cantidad de acciones
 - 6.3.3 Resultados para porcentajes sobre el total de *tiempos y cantidad de acciones*
 - 6.3.4 Patrones descriptivos de los procesos de resolución según el tipo de problema
 - 6.3.5 Análisis de Resultados
 - 6.3.6 Conclusiones
- 6.4 Estudios complementarios**
 - 6.4.1 Sobre diferencias en cuanto al nivel de instrucción formal
 - 6.4.2 Sobre diferencias en cuanto al tópico

Para investigar la relación entre desarrollo de habilidades y desempeño es necesario contar con un instrumento apropiado para dar cuenta tanto de las habilidades como del desempeño. Es necesario el diseño una tarea que permita obtener datos sobre las habilidades puestas en juego en la resolución de problemas y que a su vez pueda ser evaluada de acuerdo a los criterios tradicionales de desempeño. En este sentido, en este capítulo se presentan las tareas de construcción de dicho instrumento. Se presentan las hipótesis de trabajo, el estudio realizado para caracterizar los enunciados de problemas de Física que son utilizados en la instrucción a nivel universitaria y el estudio de validación de las diferencias entre enunciados experimentales construidos.

6.1 Hipótesis de trabajo

Los objetivos de esta investigación se encuentran orientados a la obtención de información sobre características del proceso de resolución de problemas en Física. Se pretende generar una descripción de las habilidades adquiridas en tareas de resolución de problemas que permita contribuir al diseño de estrategias de enseñanza que puedan favorecer mejores desempeños. En este trabajo se estudian características de procesos de resolución generados por distintos tipos de enunciados de problemas, en sujetos con distinto nivel de experiencia en la tarea de resolución de problemas.

Dos son las suposiciones básicas que guían los trabajos de esta etapa. Por un lado, que las habilidades de modelado no son innatas, y si no son puestas en juego mediante estrategias instruccionales específicas no tienen por qué desarrollarse. Por otro, que enunciados con características diferentes generan procesos de resolución diferentes. De acuerdo a esto, distintos enunciados pondrían en juego distintas habilidades al generar distintos procesos de resolución. Las características de los enunciados de problemas seleccionados en la instrucción se vuelven de mucha importancia para el desarrollo de las habilidades cognitivas.

Concretamente, se entiende al proceso de resolución de problemas instruccionales en Física como un proceso de construcción de representaciones, cuyas características se han discutido en la sección 5.1.2. En relación a esta visión, se entiende por comprensión en un problema de Física a la capacidad para construir y manipular dichas representaciones.

Es posible plantear los objetivos de este trabajo y las preguntas de investigación, presentadas en el apartado 3.3 y 3.4 respectivamente, de manera más específica, en relación al *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* y la clasificación para enunciados de problemas instruccionales de Física propuestos.

Objetivos Específicos

1. Estudiar características de enunciados de problemas que se presentan a estudiantes en Físicas Básicas y Físicas Superiores.
2. Categorizar los enunciados de problemas de física que se presentan a los estudiantes en Físicas Básicas.
3. Categorizar los enunciados de problemas de física que se presentan a los estudiantes en Físicas Superiores.
4. Construir distintos enunciados experimentales de problemas en relación a la tipología propuesta.
5. Validar los enunciados experimentales de problemas construidos en relación a las habilidades que ponen en juego.
6. Estudiar características de los procesos de resolución de *Problemas Definidos*.
7. Estudiar características de los procesos de resolución de *Problemas Indefinidos*.

Hipótesis de trabajo

- **Hipótesis 6.1:** Los problemas propuestos en las asignaturas de Física, tanto en las Físicas Básicas como en las Físicas Superiores, se corresponden con *problemas definidos*
- **Hipótesis 6.2:** Enunciados de características diferentes generan procesos de resolución diferentes
- **Hipótesis 6.3:** Los *Problemas Indefinidos* generan procesos de resolución que involucran a todas las habilidades de modelado propuestas por el modelo teórico
- **Hipótesis 6.4:** Los *Problemas Definidos* generan procesos de resolución en el que solo se hace necesaria la construcción del *Modelo Físico Formalizado* y las habilidades de *modelado formal e interpretación física*
- **Hipótesis 6.5:** *Sujetos con distinto nivel de experiencia en la resolución de problemas realizan procesos de resolución diferentes*

6.2 Estudio sobre características de enunciados utilizados en la instrucción.

Se presentan en esta sección las tareas de caracterización de los enunciados de problemas de Física habitualmente utilizados en la instrucción universitaria. La conjetura que subyace es que la diferencia entre los enunciados de problemas utilizados en Física Básica y los utilizados en Física superior se encuentra en los componentes ontológicos de cada uno. Estos componentes ontológicos a su vez activan las distintas representaciones que construyen los sujetos para resolver el problema. Es posible entonces que problemas de desempeño en los estudiantes se relacione con problemas en la construcción de representaciones de distinta naturaleza ontológica.

Investigaciones previas han permitido determinar que las habilidades requeridas para la aprobación de exámenes finales en Física Básica no sufren mayores cambios entre unas y otras (Truyol, 2006). Estas habilidades, pensadas en término de habilidades de modelado, ciertamente no son innatas y requieren de tareas adecuadas para generar y favorecer su desarrollo. Por esto resulta de interés caracterizar los problemas que son utilizados en distintos niveles de instrucción formal.

Bajo estas suposiciones se analizó una muestra aleatoria de enunciados pertenecientes a guías de trabajos prácticos de uso habitual en las materias de Física, para evaluar la Hipótesis 6.1 .

6.2.1 Metodología

Muestra

El objetivo instruccional que orienta este trabajo resultó determinante a la hora de seleccionar la muestra de problemas. Se decidió trabajar con las guías de trabajos prácticos de tres materias representativas de los tres primeros años de formación. En el caso particular del Plan 1971 de la Licenciatura en Física de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba, vigente hasta 2010³, las asignaturas correspondientes a los tres primeros años de la carrera son las consignadas en la Tabla 6.1. Estos tres años dan cuenta del tránsito por las Físicas Básicas, denominadas Físicas Generales, y el pasaje hacia las Físicas Superiores. Se recuerda que las Físicas Básicas son esencialmente fenomenológicas mientras que las Físicas Superiores son fuertemente formalizadas. Se optó por trabajar con las materias Física General I, que cubre tópicos de mecánica, Física General III, con temas de electricidad y magnetismo, y Electromagnetismo I. La materia Electromagnetismo I puede ser considerada como la primera materia de fuerte corte formal y que marca una diferencia importante con las Físicas Generales. Por eso fue considerado que estas tres asignaturas componen una buena muestra de los tipos de problemas que se desea caracterizar.

Tabla 6.1: Asignaturas específicas. Plan de Estudios Licenciatura en Física (Fuente: http://www.famaf.unc.edu.ar/carreras/fisica/fisica.html#carreras_licenciatura_fis)

	Primer Año	Segundo Año	Tercer Año
Primer Cuatrimestre	Introducción a la Física	Física General II	Electromagnetismo I
			Física General IV
			Mecánica
Segundo Cuatrimestre	Física General I	Física General III	Electromagnetismo II
			Física Moderna I

Se tomaron las guías de trabajos prácticos pertenecientes al ciclo 2008 de las tres asignaturas mencionadas. Para cada grupo de problemas, se enumeró consecutivamente cada uno de los enunciados y mediante un sorteo aleatorio se constituyó la muestra con aproximadamente el 40% del total de enunciados.

Análisis de Registros

Para realizar un estudio sobre una muestra de problemas de Física es necesario delimitar los elementos que son susceptibles de pertenecer a la muestra, y generar los criterios de análisis. Se considerarán elementos de análisis, aquellos enunciados de problemas que presenten las características de un problema instruccional. Un problema instruccional de

³ La Licenciatura en Física de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, a partir del año 2010 posee dos Planes de Estudios vigentes, el Plan 1971 y el 2010. De acuerdo a lo establecido por las Resoluciones HCD N° 71/08 y HCS N° 341/08 la implementación del Plan 2010 será gradual.

Física es una situación descrita por medio de un enunciado presentado en lenguaje natural, con una historia verosímil que involucra objetos y eventos y alguna demanda. Es de suponer que la situación puede ser abordada desde las leyes y principios físicos que permiten describirla y explicarla (Gerace, et. al, 1997, Gangoso, 2004). Con anterioridad en este trabajo, sección 5.2, página 74, se presentó una propuesta para la clasificación de enunciados de problemas instruccionales de Física. Se distinguieron en particular las situaciones extremas que fueron denominados *Problemas Indefinidos* y *Problemas Definidos*. Estos extremos son los que hacen referencia solo a entidades concretas y los que hacen referencia sólo a entidades abstractas, o modeladas, respectivamente. De esta manera, la diferencia entre estos tipos de problemas se encuentra en la naturaleza ontológica de sus componentes. Son justamente estos componentes los que orientaron el análisis de la muestra de problemas.

En los problemas de las muestras que quedaron determinadas (Física General I, N= 43; Física General III, N= 37 y Electromagnetismo I N= 34) se analizó en primera instancia si cumplían los requisitos necesarios para ser un problema instruccional de Física tal como fue definido (Tabla 6.2). Para aquellos que resultaron problemas instruccionales, se determinó de qué manera eran presentados los objetos y eventos involucrados en la situación. Esto es, se contabilizó la cantidad de objetos y eventos presentados, y se determinó para cada uno de ellos si eran concretos, cotidianos o si se trataba de objetos y eventos ya modelados, abstractos. Esta misma distinción se realizó entre las características o propiedades de los objetos y eventos. Un ejemplo de la matriz de datos obtenida se presenta en Tabla 6.3 . De esta manera se determinó el porcentaje de elementos, ya sean modelados o no. Con esto, los enunciados quedaron caracterizados por el porcentaje de objetos, eventos y propiedades modelados y no modelados.

6.2.2 Resultados

La suposición de distribución normal para los valores obtenidos fue evaluada mediante la prueba de Kormogorov-Smirnov. Para cada una de las muestras consideradas, la prueba mostró que ninguna de las variables medidas sigue una distribución normal. De esta manera, las pruebas estadísticas que fueron utilizadas para analizar los datos obtenidos fueron pruebas no paramétricas. En Tabla 6.4 se presentan los valores medios y desviaciones estándar de las variables medidas.

Tabla 6.2: Distribución de la muestra de enunciados de problemas según asignatura

Asignatura	Muestra aleatoria		Problemas no instruccionales		Problemas instruccionales	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Física General I	43	100,00	5	11,63	38	88,37
Física General III	37	100,00	5	13,51	32	86,49
Electromagnetismo I	34	100,00	9	26,47	25	73,53
TOTAL	114	100,00	19	16,67	95	83,33

Tabla 6.3: Ejemplo de matriz de datos para el análisis de enunciados de problemas instruccionales.

Asignatura	Categorías											
	Objetos			Eventos			Características o Propiedades de eventos			Características o Propiedades de eventos		
	Modelado	No modelado	Total	Modelado	No modelado	Total	Modelado	No modelado	Total	Modelado	No modelado	Total
FGI	0	2	2	1	2	3	0	2	2	0	2	2
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
FGIII	1	1	2	1	1	2	2	2	4	0	2	2
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
EI	1	0	1	1	0	1	1	3	4	0	4	4
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Es posible observar en el Gráfico 6.1 que el porcentaje de *Objetos* y *Eventos* no modelados es superior para Física General I (FG I). Además estos porcentajes son elevados, superiores al 70%. Obviamente, el comportamiento complementario es observado para el caso de *Objetos* y *Eventos* modelados. Es este caso Física General III (GF III) y Electromagnetismo I (E I) presentaron elevados porcentajes de *Objetos* y *Eventos* modelados. Sin embargo, para el caso de las *Propiedades de Objetos* y las *Propiedades de Eventos* ocurre una situación inversa. Para el caso de Física General I se determinó que más del 80% de las *Propiedades de los Objetos* se presentan modeladas, mientras que también son presentadas modeladas casi el 70% de las *Propiedades de los Eventos*.

Para indagar si existen o no diferencias estadísticamente significativas entre los enunciados de los problemas, se realizó un análisis utilizando la prueba de Kruscall-Wallis (Horn, R., a). Dicha prueba, aplicada a las distintas variables medidas, permite determinar si existen o no diferencias estadísticamente significativas en los componentes de los enunciados pertenecientes a las tres muestras consideradas, Física General I, Física General III y Electromagnetismo I. Este análisis mostró diferencias estadísticamente significativas en todas las variables medidas (Tabla 6.5).

Para el caso del porcentaje de *Objetos* presentes en el enunciado se obtuvo $\chi^2(2,N=95)=10,149$, $p=0,006$; para el porcentaje de *Eventos* presentes en el enunciado, $\chi^2(2,N=95)=27,109$, $p<0,001$; en el caso de *Propiedades de Objetos* presentes en el enunciado, $\chi^2(2,N=95)=6,968$, $p=0,031$ y para el porcentaje de *Propiedades de Eventos* presentes en el enunciado se obtuvo $\chi^2(2,N=95)=26.497$, $p<0,001$.

Para las variables que representan objetos, eventos y características ya modeladas presentes en el enunciado se encontró que para el porcentaje de *Objetos Modelados*, $\chi^2(2,N=95)=12,144$, $p=0,002$; para el porcentaje de *Eventos Modelados*, $\chi^2(2,N=95)=31,573$, $p<0,001$; para el porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas* se obtuvo $\chi^2(2,N=95)=6,084$, $p=0,048$ y para el porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas*, $\chi^2(2,N=95)=17,588$, $p<0,001$.

Tabla 6.4: Valores medios y desviaciones estándar por Asignatura. (N=95).

Categoría	Física General I N= 38		Física General III N= 32		Electromagnetismo I N= 25	
	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.
	Objetos	79,62	32,44	52,40	43,14	47,00
Objetos modelados	17,75	29,75	47,60	43,14	53,00	44,93
Eventos	75,68	32,43	27,08	36,84	33,00	40,00
Eventos modelados	19,06	27,30	72,92	36,84	63,00	41,53
Propiedades de objetos	13,76	24,47	23,28	22,86	8,94	13,58
Prop. de objetos modeladas	83,61	28,06	76,72	22,86	91,06	13,58
Propiedades de eventos	24,10	29,68	3,13	17,68	2,00	10,00
Prop. de eventos modeladas	68,00	35,17	84,38	36,89	94,00	21,98

Para completar esta información obtenida se realizan pruebas de contraste de Mann-Whitney (Horn, R., b) para comparar entre si las submuestras de problemas en relación a la asignatura a la que pertenecen en aquellas diferencias significativas encontradas.

En el caso en que se compararon los grupos de enunciados pertenecientes a Física General I y los pertenecientes a Física General III se encontraron diferencias significativas en todas las variables, con excepción del porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas*.

Para el porcentaje de *Objetos*, $z = -2,655$, $p = 0,008$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 41,00 ($M = 79,62$; $DS = 32,44$) mientras que los de Física General II un rango medio de 28,97 ($M = 52,39$; $DS = 43,14$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Objetos* presentes en los enunciados de Física General I es mayor que en Física General III. En el caso del porcentaje de *Objetos Modelados*, $z = -2,931$, $p = 0,003$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 29,46 ($M = 17,75$; $DS = 29,75$) mientras que los de Física General II un rango medio de 42,67 ($M = 47,60$; $DS = 43,14$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Objetos Modelados* presentes en los enunciados de Física General III es mayor que en Física General I.

Para el porcentaje de *Eventos*, $z = -4,742$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 45,66 ($M = 75,68$; $DS = 32,42$) mientras que los de Física General II un rango medio de 23,44 ($M = 27,08$; $DS = 36,84$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Eventos* presentes en los enunciados de Física General I es

mayor que en Física General III. En el caso del porcentaje de *Eventos Modelados*, $z = -5,257$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 24,26 ($M = 19,06$; $DS = 27,30$) mientras que los de Física General II un rango medio de 48,84 ($M = 72,92$; $DS = 36,84$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Eventos Modelados* presentes en los enunciados de Física General III es mayor que en Física General I.

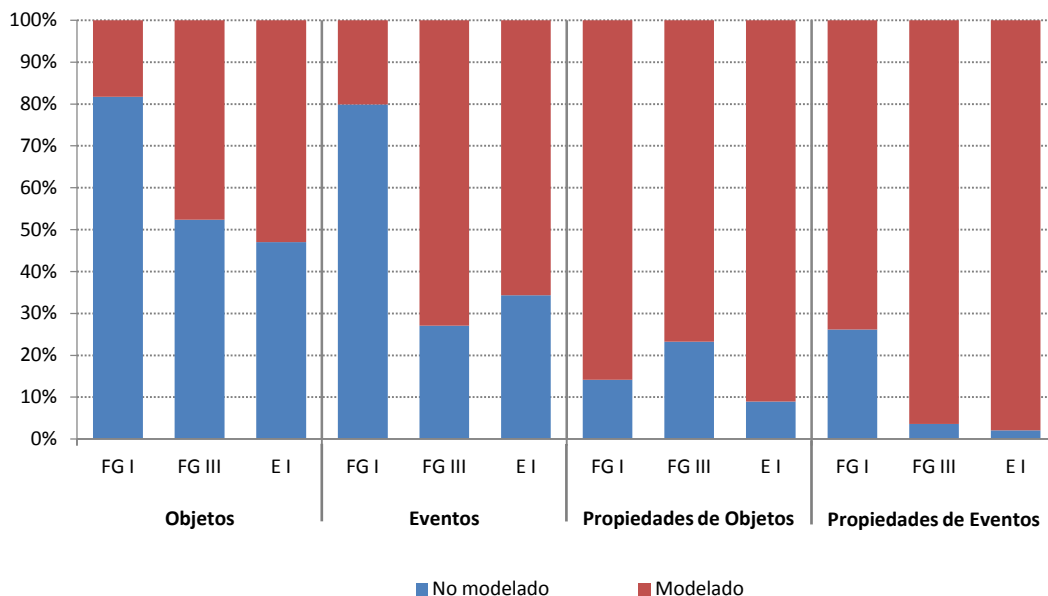


Gráfico 6.1: Comparación de valores medios de porcentajes.

Para el porcentaje de *Propiedades de Objetos*, $z = -1,974$, $p = 0,048$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 31,54 ($M = 13,76$; $DS = 24,47$) mientras que los de Física General III un rango medio de 40,20 ($M = 23,28$; $DS = 22,86$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Objetos* presentes en los enunciados de Física General III es mayor que en Física General I.

Para el porcentaje de *Propiedades de Eventos*, $z = -4,090$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 42,78 ($M = 24,10$; $DS = 29,68$) mientras que los de Física General II un rango medio de 26,86 ($M = 3,12$; $DS = 17,68$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Eventos* presentes en los enunciados de Física General I es mayor que en Física General III. En el caso del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas*, $z = -2,891$, $p = 0,004$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 29,86 ($M = 68,00$; $DS = 35,17$) mientras que los de Física General II un rango medio de 42,20 ($M = 84,37$; $DS = 36,89$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas* presentes en los enunciados de Física General III es mayor que en Física General I.

En la comparación entre los grupos de enunciados pertenecientes a Física General I y los pertenecientes a Electromagnetismo I se encontraron diferencias significativas en todas las variables, con excepción del porcentaje de *Propiedades de Objetos* y porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas*.

Para el porcentaje de *Objetos*, $z = -2,755$, $p = 0,006$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 36,78 (M= 79,62; DS= 32,44) mientras que los de Física General II un rango medio de 24,74 (M= 47,00; DS= 44,93). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Objetos* presentes en los enunciados de Física General I es mayor que en Electromagnetismo I. En el caso del porcentaje de *Objetos Modelados*, $z = -3,009$, $p = 0,003$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 26,82 (M= 17,75; DS= 29,75) mientras que los de Física General II un rango medio de 39,88 (M= 53,00; DS= 44,93). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Objetos Modelados* presentes en los enunciados de Electromagnetismo I es mayor que en Física General I.

Para el porcentaje de *Eventos*, $z = -3,912$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 39,00 (M= 75,68; DS= 32,42) mientras que los de Física General II un rango medio de 21,36 (M= 33,00; DS= 40,00). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Eventos* presentes en los enunciados de Física General I es mayor que en Electromagnetismo I. En el caso del porcentaje de *Eventos Modelados*, $z = -4,037$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 24,84 (M= 19,06; DS= 27,30) mientras que los de Física General II un rango medio de 42,88 (M= 63,00; DS= 41,53). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Eventos Modelados* presentes en los enunciados de Electromagnetismo I es mayor que en Física General I.

Tabla 6.5: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Asignatura* (N=95).

Categoría	df	Chi Cuadrado	Sig.
Objetos	2	10,149	0,006
Objetos modelados	2	12,144	0,002
Eventos	2	27,109	0,000
Eventos modelados	2	31,573	0,000
Propiedades de objetos	2	6,968	0,031
Propiedades de objetos modeladas	2	6,084	0,048
Propiedades de eventos	2	26,497	0,000
Propiedades de eventos modeladas	2	17,588	0,000

Para el porcentaje de *Propiedades de Eventos*, $z = -3,667$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 37,67 (M= 24,10; DS= 29,68) mientras que los de Física General II un rango medio de 23,38 (M= 2,00; DS= 10,00). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Eventos* presentes en los enunciados de Física General I es mayor que en Electromagnetismo I. En el caso del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas*, $z = -3,654$, $p < 0,001$. En este caso, los enunciados de Física General I presentaron un rango medio de 29,86 (M= 68,00; DS= 35,17) mientras que los

de Física General II un rango medio de 42,20 ($M= 94,00$; $DS= 21,98$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas* presentes en los enunciados de Electromagnetismo I es mayor que en Física General I.

En el caso en el cual los grupos comparados son el de enunciados pertenecientes a Física General III y los pertenecientes a Electromagnetismo I, las pruebas estadísticas solo muestran diferencias significativas para el porcentaje de *Propiedades de Objetos*, $z= -2,499$, $p= 0,012$, y para el porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas*, $z= -2,499$, $p= 0,012$. Para el caso de *Propiedades de Objetos*, los enunciados de Física General III presentaron un rango medio de 33,44 ($M= 23,28$; $DS= 22,86$) mientras que los de Electromagnetismo I un rango medio de 23,32 ($M= 8,94$; $DS= 13,58$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Objetos* presentes en los enunciados de Física General III es mayor que en Electromagnetismo I. En el caso de *Propiedades de Objetos Modeladas*, los enunciados de Física General III presentaron un rango medio de 24,56 ($M= 76,72$; $DS= 22,86$) mientras que los de Electromagnetismo I un rango medio de 34,68 ($M= 91,06$; $DS= 13,58$). Estos resultados señalan que la media del porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas* presentes en los enunciados de Electromagnetismo I es mayor que en Física General III.

6.2.3 Análisis de Resultados

Los resultados reportados hasta este momento pueden resumirse de la siguiente manera:

- Comparando los enunciados de Física General I y Física General III se encontró que:
 - La media del porcentaje de *Objetos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Eventos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Objetos* presentes es mayor en los enunciados de Física General III.
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Eventos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Objetos Modelados* presentes es mayor en los enunciados de Física General III.
 - La media del porcentaje de *Eventos Modelados* presentes es mayor en los enunciados de Física General III.
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas* presentes es mayor en los enunciados de Física General III.
- Comparando los enunciados de Física General I y Electromagnetismo I se encontró que:
 - La media del porcentaje de *Objetos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Eventos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Eventos* presentes es mayor en los enunciados de Física General I.
 - La media del porcentaje de *Objetos Modelados* presentes es mayor en los enunciados de Electromagnetismo I.
 - La media del porcentaje de *Eventos Modelados* presentes es mayor en los enunciados de Electromagnetismo I.

- La media del porcentaje de *Propiedades de Eventos Modeladas* presentes es mayor en los enunciados de Electromagnetismo I.
- Comparando los enunciados de Física General III y Electromagnetismo I se encontró que:
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Objetos* presentes es mayor en los enunciados de Física General III.
 - La media del porcentaje de *Propiedades de Objetos Modeladas* presentes es mayor en los enunciados de Electromagnetismo I.

El conjunto de resultados obtenidos permite señalar que la presencia de elementos concretos, cotidianos que no se encuentran modelados de ninguna manera es mayor en Física General I, asignatura perteneciente al primer año de instrucción formal en Física. Estos resultados también permiten afirmar que, en las variables medidas en la presente muestra de enunciados, no hay diferencias entre los pertenecientes a Física General III y Electromagnetismo I, segundo y tercer año de instrucción respectivamente.

Sin embargo, estos datos es necesario complementarlos con la información que proporcionan los valores medios de las variables medidas. Con estos datos, presentados en Tabla 6.4, se confecciona el Gráfico 6.1. Hay que recordar que los porcentajes medidos de cada variable fueron tomados con respecto a su categoría. Esto es, por ejemplo, para cada enunciado se determinó el porcentaje de *objetos* y el porcentaje de *objetos modelados* con respecto al total de objetos presentes en el problema.

Fue destacado en el Gráfico 6.1 que los valores medios de los porcentajes de los problemas de Física General I son muy elevados para el caso de *Objetos* y *Eventos* no modelados, pero también lo son para el caso de *Propiedades de Objetos Modeladas* y *Propiedades de Eventos Modeladas*. Para el caso de Física General III y Electromagnetismo I se encontraron valores elevados para todas las categorías modeladas.

Estos resultados en conjunto permiten efectuar una caracterización de los problemas utilizados en estas asignaturas analizadas. Es posible considerar los problemas de Física General III y los problemas de Electromagnetismo I pertenecientes a un mismo grupo en relación a los resultados obtenidos. Este grupo de problemas está constituido en su mayoría por enunciados que se caracterizan por ser presentados en términos de objetos y eventos modelados, al igual que las propiedades de estos objetos y eventos. Esto es, son altamente formalizados y orientados a la utilización de determinado modelo físico para su solución. Son situaciones que sólo encuentran sentido en el marco de un modelo físico determinado y específico. No dependen de una situación cotidiana, real, para su comprensión. Para resolver este tipo de problemas es necesario conocer el modelo al que el enunciado hace referencia explícita o implícitamente.

Para caracterizar el tipo de problemas más frecuentemente utilizado en Física General I es necesario interpretar la aparente contradicción de los resultados obtenidos. Estos resultados indicaron que este tipo de problemas está caracterizado por estar presentado por medio de objetos y eventos no modelados. Sin embargo, las características o propiedades de estos objetos y eventos son presentadas ya modeladas en el enunciado del problema. Por ejemplo, si se considera una situación como “*un automóvil que se dirige en línea recta por una ruta, con velocidad constante, choca elásticamente con otro automóvil que se encontraba detenido*”. Claramente, los objetos (automóviles y ruta) y el evento (choque) no se encuentran modelados. Sin embargo, las características de los mismos se proporcionan ya modeladas. La velocidad constante, la dirección de movimiento determinada y lo elástico del choque, hacen referencia a un determinado modelo físico para resolver ese problema. Si no se dan más informaciones que esas, se sabe que los automóviles deberán ser considerados masas

puntuales, el movimiento será en una dimensión y tanto la energía como el impulso se conservan. Es decir, que esta categoría de problemas no difiere considerablemente de la categoría anterior. El modelo físico necesario para resolver el problema ya está determinado de manera bastante explícita. Los objetos y eventos cotidianos, lo son desde el punto de vista de los términos utilizados. Son situaciones físicas bien determinadas, pero con un contexto más cotidiano o concreto. Es posible que la utilización de este tipo de situaciones ayude a la comprensión del problema, apelando al conocimiento del mundo del resolutor. Sin embargo, lejos están estos problemas de generar habilidades de nivel superior como son las habilidades de modelado.

Con todo esto, fue posible verificar la Hipótesis 6.1: Los problemas propuestos en las asignaturas de Física, tanto en las Físicas Básicas como en las Físicas Superiores, se corresponden con *problemas definidos*.

6.2.4 Conclusiones

El objetivo principal de esta sección fue indagar sobre las características de los problemas utilizados en Física Básica y los problemas utilizados en Física Superior. Orientados por la concepción de que las Físicas Básicas y La Físicas Superiores tienen distintos abordajes, era de esperar encontrar que una muestra de sus enunciados de problemas reflejaran estas diferencias.

La suposición de que las Físicas Básicas y las Físicas Superiores presentan distintos abordajes se encuentra fundada en una distinción de las teorías científicas entre *fenomenológicas* y *constructivas* (sección 4.3.1, página 54). Las Físicas Básicas presentan teorías fundamentalmente fenomenológicas, mientras que las Físicas Superiores desarrollan teorías de tipo constructivo. Con esto, los modelos construidos en unas y otras son distintos. Los objetos y eventos considerados por unas y otras son de naturaleza ontológica diferente. Los referentes de esos modelos son diferentes.

Sin embargo, la naturaleza fenomenológica de las Físicas Generales en los enunciados de problemas solo se ve reflejada en los contextos de presentación de las situaciones. Dado un contexto, el modelo a utilizar para resolver ya está determinado y los problemas no presentan la posibilidad de trabajar sistemáticamente las habilidades de modelado.

6.3 Construcción y validación de enunciados experimentales.

En esta sección se presentan los trabajos de diseño y validación de un conjunto de enunciados de problemas instruccionales de Física. Estas tareas conforman la parte preparatoria de la investigación que tienen como objetivo el estudio de características de los procesos de resolución de problemas en sujetos de distinto nivel de instrucción. Este conjunto de enunciados conforma la parte central del instrumento que será utilizado en esa investigación.

La hipótesis central que guió este proceso de construcción es que enunciados con características diferentes generan procesos de resolución diferentes. Las diferencias entre los enunciados de los problemas instruccionales de Física diseñados fueron evaluadas en términos

de la clasificación de enunciados propuesta en la sección 5.2. Las características de los procesos de resolución fueron analizadas en términos del *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*.

En investigaciones previas se trabajó sobre la construcción de un conjunto de indicadores para dar cuenta de las habilidades puestas en juego por sujetos cuando resuelven problemas de Física (Truyol, 2006; Tuyol et al., 2008; Gangoso et al., 2008). En particular dichos indicadores fueron asociados a la construcción y manejo de las distintas representaciones involucradas en el proceso de resolución de un problema instruccional de Física. En estos trabajos la construcción de estos indicadores se basó en la definición operacional de aquellas dimensiones que se consideraron relevantes para el análisis de la resolución de problemas de Física. Se tomó como base inicial a estos indicadores, y los aportes de los dominios propuestos por Greeno (1989) presentado en el apartado 4.2.1. A partir de estas propuestas se consideró factible el reconocimiento de acciones que pueden ser asociadas con aquellas habilidades que se han denominado de modelado.

Fue asumido que las representaciones externas de la resolución (escritas, gráficas, verbales e incluso gestuales) son reflejo de las representaciones internas construidas por el sujeto. Se consideró factible que estas acciones fueran reconocidas en un proceso de resolución verbalizado y escrito. Por esto, se planificó la realización de entrevistas de resolución con sujetos de distinto nivel de experiencia en la resolución de problemas en Física. Esto permitió la obtención de los registros necesarios para la validación del conjunto de enunciados experimentales propuestos.

6.3.1 Metodología

Construcción de enunciados experimentales

En este estudio se trabajó con los extremos de la clasificación de problemas instruccionales de Física propuesta, ya que se supone son los que pueden acusar mayores diferencias en los procesos de resolución de enunciados de uno y otro tipo. Esto implica asumir que la diferencia en los procesos de resolución estarían ligados de alguna manera a la diferencias en los componentes ontológicos de los enunciados.

Se generaron enunciados experimentales, a partir de enunciados que pueden ser llamados tradicionales. Estos enunciados tradicionales son los habitualmente presentados en guías de trabajos prácticos y en finales de capítulos a nivel de física universitaria básica. Los mismos presentan una combinación entre entidades concretas y abstractas o modeladas. Los enunciados experimentales construidos se corresponden a los que se categorizaron como *Problemas Definidos* (PD) y *Problemas Indefinidos* (PI). Esto es, los enunciados de *Problemas Indefinidos* se diseñaron en término de objetos, interacciones, sistemas y procesos, mientras que los enunciados de *Problemas Definidos* en término de modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos.

En este diseño fueron limitadas las posibilidades de representación del enunciado, trabajando solamente con textos, sin la utilización de representaciones gráficas de ningún tipo.

La manipulación de estos enunciados se realizó teniendo en cuenta que en la versión *Problema Indefinido* la situación debía ser presentada con objetos y situaciones del mundo, minimizando la presencia de términos o conceptos físicos, variables y valores numéricos. En tanto, en la versión *Problema Definido*, la situación fue descrita en términos de objetos formales, conceptos físicos, variables y valores numéricos, con la idea subyacente de proveer

de la manera más completa posible el modelo físico involucrado en el problema. Se presenta un ejemplo aclaratorio en la Tabla 6.6. La totalidad de los enunciados utilizados puede ser consultada en el Anexo 9.1, página 173.

Los problemas que fueron seleccionados pertenecen a guías de trabajos prácticos utilizados en la instrucción universitaria. Se trabajó a nivel de Física Básica, con mecánica y electricidad. La selección de estos tópicos respondió al problema concreto del cual parte esta investigación y es el mismo que se utilizó para el estudio sobre las características de los enunciados que fue presentado en la sección 6.2. Para caracterizar las habilidades cognitivas involucradas en el proceso de resolución de problemas en Física, su desarrollo en relación a la experiencia en resolución de problemas y su diferenciación entre las involucradas en la resolución de problemas de Física Básica y las involucradas en la resolución de problemas de Física Superior, es necesario abarcar problemas pertenecientes a asignaturas que cubran esta evolución.

Como fue mencionado anteriormente en este capítulo, las asignaturas que se encuentran distribuidas en los tres primeros años de carrera son las que dan cuenta del paso de las físicas fenomenológicas a las fuertemente formalizadas. Para caracterizar las habilidades cognitivas, esto es el proceso de resolución de problemas, en este período, se consideraron problemas con tópicos de mecánica y electricidad, correspondientes a las asignaturas Física General I y Física General III respectivamente.

Tabla 6.6: Ejemplo de construcción de enunciados experimentales.

Versión	Enunciado
<i>Tradicional</i>	Calcule la velocidad que debe dársele, desde el suelo, a un ladrillo común, para alcanzárselo a un albañil que está en el techo de una casa de una planta. Datos: Altura a la que el albañil recibirá el ladrillo: 4 m (sobre el suelo) Altura desde la que parte el ladrillo: 1,5 m (sobre el suelo)
<i>Definido</i>	Una masa puntual de $m = 0,5 \text{ kg}$ se mueve verticalmente partiendo desde una altura $h_1=1,5 \text{ m}$ debiendo alcanzar una altura $h_2=4 \text{ m}$. Teniendo en cuenta que el movimiento se realiza exclusivamente bajo la acción de la gravedad, determinar la mínima velocidad inicial necesaria.
<i>Indefinido</i>	Un albañil lanza un ladrillo desde la calle hasta su compañero, situado en el techo de una casa de una planta. Determine las condiciones para que el ladrillo llegue a su destino.

Muestra

Para el estudio que se reporta, se realizaron entrevistas a cuatro profesores universitarios, cuatro estudiantes de doctorado y cuatro estudiantes de licenciatura. Se trabajó con estas poblaciones con el objeto de cubrir un amplio rango en cuanto a experiencia en resolución de problemas. Estos distintos grupos de sujetos quedaron determinados en relación a una categorización institucional totalmente externa. Esto permitió suponer una equivalencia entre los sujetos pertenecientes a un mismo grupo.

Los profesores que fueron convocados para las entrevistas son doctores o licenciados en Física. Todos ellos con amplia experiencia profesional y docente en materias relacionadas al área temática abarcada en la entrevista de resolución.

En el caso de los estudiantes de doctorado en Física, se seleccionaron los candidatos en relación a su grado de avance en la carrera. En particular, se convocaron a licenciados jóvenes cuyos estudios de doctorado no superen los tres años, habiendo comenzado sus estudios de posgrado inmediatamente después de obtenido el título de Licenciado. De esta manera, se intentó trabajar con físicos con muy poca o nula experiencia docente.

Los estudiantes de licenciatura en Física convocados cumplieron con dos requisitos fundamentales. Como primera condición, habían aprobado la asignatura correspondiente al tópico de la entrevista. Como segunda condición no habían completado el cursado del cuatrimestre inmediatamente posterior al cuatrimestre en el que cursó y aprobó dicha asignatura. Con esto se pretendió asegurar un manejo mínimo de los contenidos necesarios para abordar los problemas.

Cabe destacar que la participación de los sujetos fue absolutamente voluntaria.

Entrevistas de resolución

Las entrevistas consistieron en la resolución escrita y en voz alta de dos problemas, un *Problema Definido* y un *Problema Indefinido* en ese orden. Ambos problemas pertenecían a la misma área temática. Esta actividad fue registrada en audio y video mientras eran efectuadas las resoluciones.

Se solicitó a los participantes, antes de entregarles cada enunciado experimental, que el problema fuera resuelto en voz alta, explicitando con el mayor detalle posible la justificación de sus acciones. Esa constituyó la única consigna dada. De esta manera, el rol del entrevistador fue de observador con mínima participación. Estas intervenciones fueron solo destinadas a activar la verbalización de las acciones del entrevistado, sólo en caso de ser estrictamente necesario.

Era de suponer que cuando se entrevistara a profesores y estudiantes de doctorado, la verbalización de la resolución resultara fluida y detallada. En cambio, para los estudiantes de licenciatura era muy probable que la verbalización resultara costosa. La tarea cognitiva a realizar durante la resolución de problema ya era suficientemente demandante para ellos. Debían resolver el problema y hablar sobre la resolución al mismo tiempo. Además, la situación de entrevista y toma de registros de video y audio podía incomodarlos. Para intentar minimizar esta situación, a los estudiantes de licenciatura se les agregó, al inicio de la entrevista, un problema tradicional muy sencillo. Se presentó este enunciado al estudiante y se les indicó que consistía en un problema de prueba. Se les solicitó que lo leyeran en voz alta y que lo resolvieran indicando con detalle lo que iban haciendo y los motivos por los cuales lo hacían. Una imagen a la que se recurrió para ayudar a comprender la metodología de la entrevista fue pedirles que resolvieran el problema como si se lo estuvieran explicando a un compañero para que lo entienda.

Análisis de registros

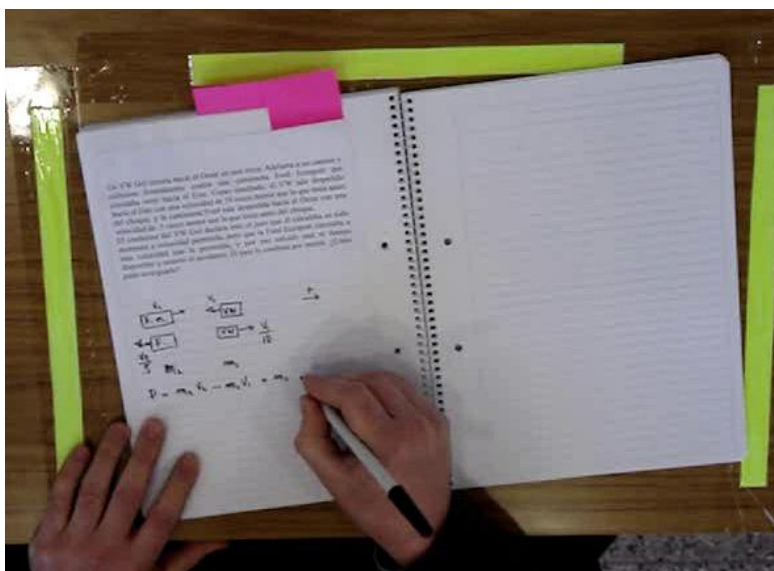
Se realizaron tareas de transcripción y análisis de los registros (Ver Ilustración 6.3). Las acciones realizadas de manera explícita por el entrevistado, ya sean verbales, escritas o gestuales, fueron clasificadas atendiendo al *Modelo de Comprensión para la Resolución de*

Problemas en Física propuesto y a los indicadores construidos para tal fin (Ver Tabla 6.7). Ejemplos de las clasificaciones realizadas son mostrados en Ilustración 6.2, mientras que un ejemplo completo de registro unificado para las entrevistas puede consultarse en el Anexo 9.2, página 175.

Para poder comparar los resultados obtenidos en las distintas resoluciones, se determinó para cada pareja de enunciados (versiones *Problema Definido* y *Problema Indefinido* de la misma situación problemática) algunas etapas equivalentes entre ambas. A partir de ello, la lectura del enunciado se consideró como punto de inicio del registro. El punto final se tomó como aquel estadio más avanzado de la resolución al cual llegaron los resolutores de manera equivalente.

Los registros fueron analizados para determinar: a) cantidad de acciones por tipo; b) tiempo empleado en cada tipo de acción.

Ilustración 6.1: Captura perteneciente al video grabado de una de las entrevistas.



La medición de tiempos se realizó utilizando un editor de archivos de sonido (*.wav). El mismo permite, de forma manual, colocar marcadores y obtener con ellos los intervalos de tiempo en los cuales fueron efectuadas las acciones previamente determinadas y asentadas en el registro único generado para la entrevista (Ver Ilustración 6.3 e Ilustración 6.4).

La determinación de los instantes iniciales y finales de los intervalos pertenecientes a las acciones realizadas se efectuó teniendo en cuenta que estas acciones fueron catalogadas a partir de acciones explícitas (verbales, escritas o gestuales) que pudieron ser evidenciadas en los registros. Para ello se trabajó conjuntamente con la transcripción realizada y el video de la entrevista.

Ilustración 6.2: Ejemplos de acciones categorizadas.

Acción	Ejemplo
Lectura (L)	<p>“Sobre una superficie horizontal sin rozamiento, una masa puntual m_1 3kg se mueve en línea recta y colisiona con otra masa puntual m_2 6 kg, que se mueve en la misma recta[...]”</p> <p>“Un VW... Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford ... Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado [...]”</p> <p>“Un circuito eléctrico cuenta con un fusible que soporta una intensidad máxima de 25 amperes...ubicado a la salida de una fuente de tensión de 220 [...]”</p> <p>“Según sus especifici... especificaciones técnicas, una plancha de viaje está preparada para funcionar correctamente en una red eléctrica domiciliaria a 110 V. ¿Qué modificaciones podrías pensar en realizar [...]”</p>
Construcción de Modelo de la Situación (S)	<p>“lo que me están diciendo es que ... en una instancia posterior... lo que quedó del Escort...”</p> <p>“No es lo mismo un conductor de 150 kilos que un conductor de 60 kilos...”</p> <p>“Un Gol parece que tuviese a primera vista menos masa que un Ford Escort”</p> <p>“Yo se que tengo una plancha... que está preparada para funcionar en una red eléctrica domiciliaria”</p> <p>“Estoy pensando cómo se organiza un... en una casa... la red eléctrica.”</p>
Modelado Físico (FI)	<p>“viaja en esta dirección ...con una velocidad que si esta era v_1... (asigna una velocidad al movimiento del auto)”</p> <p>“Pero nos encontramos con que no hay información de la masa...”</p> <p>“Tampoco sabemos cuál es la masa de los conductores”</p> <p>“pero la plancha debe tener una resistencia interna.”</p> <p>“Y bueno, lo que tengo en mi casa son 220 volts, no es cierto?... 220 volts (representando en un circuito)”</p>
Construcción de Modelo Físico Conceptual (FC)	<p>“sabemos que no hay rozamiento entonces puedo usar eh... la conservación de P”</p> <p>“tengo que m_1 son tres kilos”</p> <p>“Tenemos que colisiona con otra masa puntual m_2 de seis kilos”</p> <p>“...parte de...de la energía que tienen los dos vehículos es usada para deformar los vehículos...”</p> <p>“como las resistencias están en serie, bueno, las pongo en serie...”</p> <p>“...porque tengo que calcular la caída de tensión...”</p> <p>“entonces va a haber una tensión en la R_0, de...de 220...con esta condición”</p>
Instanciación (I)	<p>“...pero dado que se habla de autos...eh...en realidad el sentido común indica que no puede ser elástico...”</p> <p>“la masa m_1 tiene que ser...eh...menor...que la masa m_2 por...solamente porque uno los conoce a los autos...así a gran escala”</p> <p>“en una de esas el Ecosport realmente tenía una velocidad ...este...que era mayor que la velocidad permitida pero él tenía una velocidad todavía superior a la velocidad permitida (analizando lo obtenido)”</p> <p>“... y está la... la... plancha (señalando una resistencia representada en un circuito)”</p> <p>“O bien agarro la plancha y por alguna forma rara le... le... le duplico la resistencia (en relación a un resultado obtenido)”</p>

Ilustración 6.2: Ejemplos de acciones categorizadas (continuación)

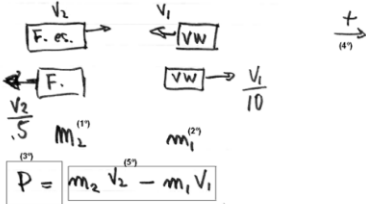
Acción	Ejemplo
Modelado Formal (FO)	<p>“el movimiento es unidimensional así que no tengo tanta complicación con los vectores”</p> <p>“si quiero expresar el vector velocidad de m_2 le voy a tener que poner un menos, si hay un sistema de coordenadas común y corriente...xy”</p> <p>“Esta es m_2 ... (denotando la masa)”</p> <p>“suponiendo que elijo positivo para este lado...”</p> <p>“y esto acá lo voy a llamar...¿cómo le llamo a eso?...[...] en R_0...”</p> <p>“...y se llama I de la plancha”</p>
Construcción de Modelo Físico Formalizado (FF)	<p>“Sería de v_2... v_2 sobre dos... dos metros por segundo sobre dos igual a un metro por segundo (escribiendo expresión)”</p> <p>“la masa uno por la velocidad uno vector, mas la masa dos por la velocidad dos vector es igual... a la masa...la masa uno por la velocidad...uno final mas la masa dos por la velocidad dos final (escribiendo expresión)”</p> <p>“v_1 que es igual... simplifico el seis con el dos ... me queda uno...tres... me queda menos tres metros por segundo (opera)”</p> <p>“si R del fusible...eh...es cero... (escribe expresión)”</p> <p>“me queda 220 voltios... eh...igual a R_0 por...eh...ya le pongo 25 amperes...que es el máximo (escribe expresión)”</p> <p>“Y esa I de la plancha es igual a V_0 sobre R de la plancha (escribe expresión)”</p> <p>“Y esto es igual a la V_f sobre V_0 por R de la plancha (escribe expresión)”</p>
Interpretación Física (IF)	<p>“Lo que pasa es que me parece que estoy expresando mal lo de que la primera masa sale con una velocidad de magnitud tres veces menor que la inicial (señalando expresión escrita)”</p> <p>“Claro, no, esto está mal ya de por sí porque la masa 1 al principio... me equivoqué... la masa uno al principio está viajando hacia el sentido positivo de las equis y después hacia el sentido negativo (controlando con lo obtenido en una expresión)”</p> <p>“entonces esto me da negativo, por lo tanto esto debería estar yendo hacia el otro lado”</p> <p>“...después dividiré por 240 para calcular el número de resistencias”</p> <p>“...estos son ohms...(completa las unidades de una cantidad obtenida)”</p> <p>“...para que esté bien acá, necesitaría el doble de la resistencia que yo tenía originalmente (analizando el valor obtenido en una cuenta)”</p>
Pausa (P)	<p>Solo son consideradas pausas mayores a 1s.</p>
No catalogado (NC)	<p>“Tengo que entonces ... eh ...”</p> <p>“Eh O sea que tengo...”</p> <p>“Oh... ya me están complicado la existencia”</p> <p>“Entonces aquí...eh...”</p> <p>“A ver cómo quedaría...”</p>
Entrevistador (E)	<p>“Puede suponer lo que le haga falta”</p> <p>“En qué estás pensando?”</p> <p>“Te muestro otro problema”</p>

Tabla 6.7: Notación para las acciones analizadas.

Notación	Acción
L	Lectura
S	Modelo de la Situación
FI	Modelado Físico
FC	Modelo Físico Conceptual
I	Instanciación
FO	Modelado Formal
FF	Modelo Físico Formalizado
IF	Interpretación Física
P	Pausa
NC	No catalogado
E	Entrevistador

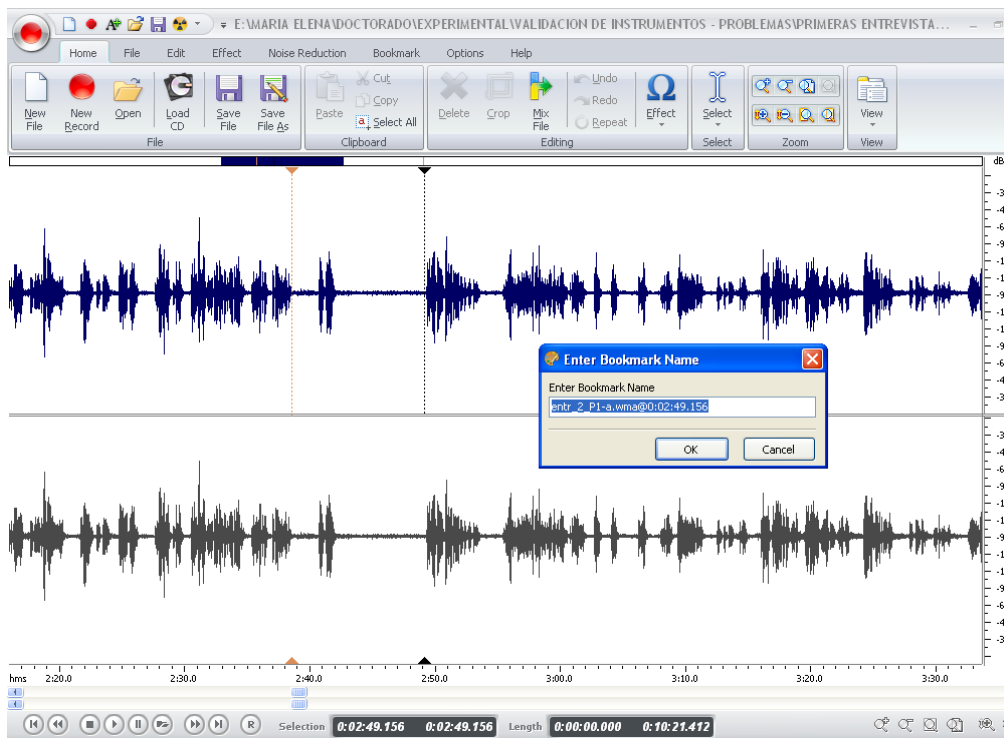
Ilustración 6.3: Extracto de registro unificado para el análisis de entrevistas

VMS[3]: Un VW Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado, el VW sale despedido hacia el Este con una velocidad 10 veces menor que la que tenía antes del choque, y la camioneta Ford sale despedida hacia el Oeste con una velocidad 5 veces menor que la que tenía antes del choque. El conductor del VW Gol declara ante el juez que él circulaba en todo momento a velocidad permitida, pero que la Ford Ecosport circulaba a más velocidad que la permitida, y por eso calculó mal el tiempo disponible y ocurrió el accidente. El juez lo condena por mentir. ¿Cómo pudo averiguarlo?

Transcripción	t[s]	Comentario	Acción	t[s]	clas.
E_02: Porque con esa... con esa uno podría plantear conservación de momento.	329,91 334,358	Completa con la denominación de las masas en la Figura 3. Coloca la dirección de movimiento (4º) Figura 3. Señala el gráfico. Escribe las expresiones de Figura 3.	Señala que con el dato de la masa podría plantear conservación de momento.	329,91 334,358	FC
E_02: no? Si a mí me diesen...si llamo este...m2... la masa del Ecosport y m1 ... la masa del VW Gol	334,913 347,559		Identifica la masa del Ford como m2.	334,913 342,973	FO
E_02: Entonces este...uno dice que hay un momento ...	348,289 354,155		Identifica la masa del VW Gol como m1.	342,973 347,559	FO
E_02: este...nuevamente este es un problema en una sola dimensión entonces puedo considerar nada más que un solo numerito, no hace falta hablar de vectores, con un solo numerito me basta.	355,476 365,203		Identifica el momento con P.	348,289 354,155	FO
E_02: Entonces uno diría que el momento...este...inicial, suponiendo que elijo positivo para este lado...este...sería de la forma...y donde acá yo lo que escribí fueron módulos...Entonces, como este apunta para el otro lado lo voy a poner con un signo negativo, ese es el...momento inicial.	365,533 390,704		Reconoce al problema unidimensional	355,476 360,659	FC
 <p>Figura 1</p>	Señala que no hace falta trabajar con vectores.		360,659 365,203	FF	
	Comienza a escribir el momento inicial.		365,533 371,822	FF	
	Elige la dirección positiva.		371,822 375,51	FO	
	Escribe el momento inicial.		375,51 378,93	FF	
	Señala que v1 y v2 son módulos.		378,93 382,789	FF	
	Señala que el cambio de dirección implica un cambio de signo.		382,789 387,773	FO	
	Reconoce la expresión escrita como momento.		387,773 390,704	IF	

S: Modelo de la Situación FC: Modelo Físico Conceptual FF: Modelo Físico Formalizado FI: modelado físico I: instanciación
FO: modelado formal IF: interpretación

Ilustración 6.4: Pantalla principal del programa utilizado para determinación de tiempos.



6.3.2 Resultados para tiempos y cantidad de acciones

Los resultados que se informan a continuación corresponden a la etapa de validación de los distintos tipos de enunciados diseñados. Se pretende estudiar si los *Problemas Definidos* generan procesos de resolución diferentes a los generados por los *Problemas Indefinidos*. Para ello fueron utilizados datos obtenidos en las doce entrevistas de resolución realizadas: tiempo empleado en la realización de las acciones catalogadas, y cantidad de acciones de cada uno de los tipos catalogados.

El tamaño de la muestra, $N=12$, al ser pequeño originó que las pruebas estadísticas utilizadas fueran no paramétricas.

Tiempo empleado por tipo de acción

Para evaluar la Hipótesis 6.2, se realizó el test de Wilcoxon (Horn, R., c) para evaluar en qué medida se diferencian los valores obtenidos para el tiempo empleado en las distintas acciones catalogadas para los *Problemas Definidos* y los valores obtenidos para los *Problemas Indefinidos*. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas para el tiempo empleado en acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (t_{MS}) $z = -3,059$, $p=0,002$; *instanciación* (t_i) $z = -3,059$, $p=0,002$ y *modelado físico* (t_{F1}) $z = -3,059$, $p=0,002$.

En el caso del tiempo empleado en acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (t_{MS}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 73,23$ s; $DS= 73,78$ s), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,00$ s; $DS= 0,00$ s). Esto está indicando que el tiempo medio destinado a acciones de trabajo

con el *Modelo de la Situación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Para el tiempo empleado en acciones de *instanciación* (t_i), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 (M= 41,38 s; DS= 25,09 s), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 (M= 3,96 s; DS= 12,74 s). Esto señala que el tiempo medio destinado a acciones de *instanciación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

En el caso del tiempo empleado en acciones de *modelado físico* (t_{Fi}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 (M= 50,54 s; DS= 51,98 s), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 (M= 1,18 s; DS= 3,55 s). Esto indica que el tiempo medio destinado a acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Tabla 6.8: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – *Problema Indefinido/Problema Definido*. Tiempo empleado (N=12).

Acción	Z	Sig. Asint. (2 colas)
Lectura	-0,314 ^(a)	0,754
Modelo de la Situación	-3,059 ^(b)	0,002
Instanciación	-3,059 ^(b)	0,002
Modelado Físico	-3,059 ^(b)	0,002
Modelo Físico Conceptual	-0,078 ^(a)	0,937
Modelado Formal	-1,490 ^(a)	0,136
Modelo Físico Formalizado	-0,392 ^(a)	0,695
Interpretación Física	-0,549 ^(a)	0,583
Pausa	-0,235 ^(b)	0,814
No Catalogada	-1,177 ^(b)	0,239
Entrevistador	-0,889 ^(b)	0,374
Tiempo Total	-1,020 ^(b)	0,308

^a Basado en rangos positivos.

^b Basado en rangos negativos.

Cantidad de acciones por tipo

También se realizó el test de Wilcoxon para evaluar en qué medida se diferencian los valores obtenidos para la cantidad utilizada de acciones de los distintos tipos catalogados para los *Problemas Definidos* y la cantidad utilizada para los *Problemas Indefinidos*. Los resultados arrojaron diferencias significativas para la cantidad de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (n_{MS}) $z = -2,936$, $p = 0,003$; *instanciación* (n_i) $z = -3,063$, $p = 0,002$ y *modelado físico* (n_{Fi}) $z = -3,062$, $p = 0,002$.

En el caso de las acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (n_{MS}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,00 (M= 14,58; DS= 14,08), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 (M= 0,00 s; DS= 0,00 s). Esto está indicando que la cantidad media de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Para la cantidad de acciones de *instanciación* (n_i), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 7,50$; $DS= 4,64$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,92$; $DS= 2,61$). Esto señala que la cantidad media de acciones de *instanciación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Tabla 6.9: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – *Problema Indefinido/Problema Definido*. Tiempo empleado ($N=12$).

Acción	Z	Sig. Asint. (2 colas)
Lectura	-0,629 ^(a)	0,529
Modelo de la Situación	-2,936 ^(b)	0,003
Instanciación	-3,063 ^(b)	0,002
Modelado Físico	-3,062 ^(b)	0,002
Modelo Físico Conceptual	-0,747 ^(a)	0,455
Modelado Formal	-1,297 ^(a)	0,195
Modelo Físico Formalizado	-0,982 ^(a)	0,326
Interpretación Física	-1,060 ^(a)	0,289
Pausa	-0,178 ^(a)	0,859
No Catalogada	-0,707 ^(b)	0,479
Entrevistador	-0,891 ^(b)	0,373
Tiempo Total	-0,706 ^(b)	0,480

^a Basado en rangos positivos.

^b Basado en rangos negativos.

En el caso de la cantidad de acciones de *modelado físico* (n_{FI}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 8,00$; $DS= 6,47$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,25$; $DS= 0,62$). Esto indica que la cantidad media de acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

6.3.3 Resultados para porcentajes sobre el total de *tiempos y cantidad de acciones*

Para comparar los datos obtenidos, resultó otra alternativa posible trabajar con porcentajes sobre el total. Porcentaje de tiempo sobre el total del tiempo empleado en la resolución y porcentaje de acciones sobre el total de la cantidad de acciones efectuadas en la resolución. Estos valores porcentuales serán utilizados, tal como se utilizó los valores absolutos, para realizar las comparaciones entre los procesos generados por *Problemas Definidos* y los procesos generados por *Problemas Indefinidos*.

Porcentaje de tiempo sobre el total

Se realizó el test de Wilcoxon para evaluar en qué medida se diferencian *Problemas Definidos* y *Problemas Indefinidos* en los porcentajes de tiempo sobre el total empleado por los resolutores en cada una de las acciones catalogadas.

Los resultados mostraron diferencias significativas para el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (t^p_{MS}) $z = -3,059$, $p=0,002$; de *instanciación* (t^p_i) $z = -3,059$, $p=0,002$; de *modelado físico* (t^p_{Fi}) $z = -3,059$, $p=0,002$; de *modelado formal* (t^p_{FO}) $z = -2,118$, $p=0,034$; de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* (t^p_{FF}) $z = -2,275$, $p=0,023$ y de *interpretación física* (t^p_{IF}) $z = -2,040$, $p=0,041$.

En el caso del porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (t^p_{MS}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 9,85$; $DS= 9,86$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,00$; $DS= 0,00$). Para el 100% de los sujetos resultó mayor el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* en los *Problemas Indefinidos*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje de tiempo sobre el total destinado a acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Para el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *instanciación* (t^p_i), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 5,86$; $DS= 3,22$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,38$; $DS= 1,14$). El 100% de los sujetos presentó en los *Problemas Indefinidos* mayor porcentaje sobre tiempo total en acciones de *instanciación*. Esto señala que la media del porcentaje de tiempo destinado a acciones de *instanciación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

En el caso del porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *modelado físico* (t^p_{Fi}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M= 6,45$; $DS= 5,44$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M= 0,29$; $DS= 0,90$). Para el 100% de los sujetos resultó mayor el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos*. De esto resulta que la media del porcentaje de tiempo destinado a acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Para el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *modelado formal* (t^p_{FO}), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 7,33 ($M= 7,47$; $DS= 6,60$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 4,00 ($M= 4,28$; $DS= 3,16$). El 75% de los sujetos presentó en los *Problemas Definidos* mayor porcentaje sobre tiempo total en acciones de *modelado formal*. Esto señala que la media del porcentaje de tiempo destinado a acciones de *modelado formal* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

En el caso del porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* (t^p_{FF}), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 7,56 ($M= 23,06$; $DS= 8,70$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 3,33 ($M= 15,90$; $DS= 9,63$). Para el 75% de los sujetos resultó mayor el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* en los *Problemas Definidos*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje de tiempo sobre el total destinado a acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

Por último, en el caso del porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *interpretación física* (t^p_{IF}), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 7,22 ($M= 8,36$; $DS= 3,76$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 4,33 ($M= 5,26$; $DS= 2,54$). Para el 75% de los sujetos resultó mayor el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en acciones de *interpretación física* en los *Problemas Definidos*. De esto resulta que la media del porcentaje de tiempo destinado a acciones de *interpretación física* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

Tabla 6.10: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – *Problema Indefinido/Problema Definido*. Porcentajes de tiempo sobre el total (N=12).

Acción	Z	Sig. Asint. (2 colas)
Lectura	-1,726 ^(a)	0,084
Modelo de la Situación	-3,059 ^(b)	0,002
Instanciación	-3,059 ^(b)	0,002
Modelado Físico	-3,059 ^(b)	0,002
Modelo Físico Conceptual	-1,255 ^(a)	0,209
Modelado Formal	-2,118 ^(a)	0,034
Modelo Físico Formalizado	-2,275 ^(a)	0,023
Interpretación Física	-2,040 ^(a)	0,041
Pausa	-0,706 ^(a)	0,480
No Catalogada	-0,784 ^(b)	0,433
Entrevistador	-0,622 ^(b)	0,534

^a Basado en rangos positivos.

^b Basado en rangos negativos.

Porcentaje de acciones sobre el total

También se realizó el test de Wilcoxon para evaluar en qué medida se diferencian los *Problemas Definidos* de los *Problemas Indefinidos* en cuanto a valores obtenidos para el porcentaje sobre el total de las distintas acciones catalogadas.

Los resultados mostraron diferencias significativas para el porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (n^p_{MS}) $z = -2,934$, $p = 0,003$; de *instanciación* (n^p_I) $z = -3,059$, $p = 0,002$; de *modelado físico* (n^p_{FI}) $z = -3,061$, $p = 0,002$; de *modelado formal* (n^p_{FC}) $z = -2,118$, $p = 0,034$; de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* (n^p_{FF}) $z = -1,961$, $p = 0,050$ y de *interpretación física* (n^p_{IF}) $z = -2,275$, $p = 0,023$. También fue encontrada una diferencia significativa marginal para el porcentaje de acciones sobre el total catalogado en acciones de modelado formal (n^p_{FO}) $z = -1,883$, $p = 0,060$.

En el caso del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* (n^p_{MS}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M = 8,89$; $DS = 7,83$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M = 0,00$; $DS = 0,00$). Para el 92% de los sujetos resultó mayor, en los *Problemas Indefinidos*, el porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

Para el porcentaje sobre el total en acciones de *instanciación* (n^p_I), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M = 4,60$; $DS = 2,07$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M = 0,40$; $DS = 1,04$). El 100% de los sujetos presentó, en los *Problemas Indefinidos*, mayor porcentaje sobre el total en acciones de *instanciación*. Esto señala que la media del porcentaje sobre total de acciones de *instanciación* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

En el caso del porcentaje sobre el total de acciones de *modelado físico* (n^p_{FI}), el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 6,50 ($M = 5,14$; $DS = 5,11$), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 0,00 ($M = 0,25$; $DS = 0,68$). Para el

100% de los sujetos resultó mayor el porcentaje sobre el total de acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos*. De esto resulta que la media del porcentaje sobre el total de acciones de *modelado físico* en los *Problemas Indefinidos* es mayor que en los *Problemas Definidos*.

En el caso del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Conceptual* (n_{FC}^p), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 7,33 (M= 19,32; DS= 5,37), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 4,00 (M= 13,58; DS= 6,50). Para el 75% de los sujetos resultó mayor en los *Problemas Definidos* el porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Conceptual*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Conceptual* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

En el caso del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* (n_{FF}^p), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 8,00 (M= 16,79; DS= 5,94), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 3,50 (M= 11,76; DS= 6,99). Para el 67% de los sujetos resultó mayor el porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* en los *Problemas Definidos*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

Por último, en el caso del porcentaje sobre el total de acciones de *interpretación física* (n_{IF}^p), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 8,50 (M= 6,70; DS= 2,32), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 2,50 (M= 4,52; DS= 2,40). Para el 66% de los sujetos resultó mayor el porcentaje sobre el total de acciones de *interpretación física* en los *Problemas Definidos*. De esto resulta que la media del porcentaje sobre el total de acciones de *interpretación física* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

Tabla 6.11: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – *Problema Indefinido/Problema Definido*. Porcentajes de acciones sobre el total (N=12).

Acción	Z	Sig. Asint. (2 colas)
Lectura	-1,569 ^(a)	0,117
Modelo de la Situación	-2,934 ^(b)	0,003
Instanciación	-3,059 ^(b)	0,002
Modelado Físico	-3,061 ^(b)	0,002
Modelo Físico Conceptual	-2,118 ^(a)	0,034
Modelado Formal	-1,883 ^(a)	0,060
Modelo Físico Formalizado	-1,961 ^(a)	0,050
Interpretación Física	-2,275 ^(a)	0,023
Pausa	-1,334 ^(a)	0,182
No Catalogada	-0,471 ^(b)	0,638
Entrevistador	-0,445 ^(b)	0,657

^a Basado en rangos positivos.

^b Basado en rangos negativos.

En cuanto a la diferencia significativa marginal encontrada para el caso del porcentaje sobre el total de acciones de trabajo con el *modelado físico* (n_{Fi}^p), el rango medio a favor de los *Problemas Definidos* resultó de 6,30 (M= 7,71; DS= 6,46), mientras que el rango medio a favor de los *Problemas Indefinidos* resultó de 7,50 (M= 5,34; DS= 3,86). Para el 84% de los sujetos

resultó mayor el porcentaje sobre el total de acciones de *modelado* en los *Problemas Definidos*. Esta prueba indica que el promedio del porcentaje sobre el total de acciones de *modelado físico* en los *Problemas Definidos* es mayor que en los *Problemas Indefinidos*.

6.3.4 Patrones descriptivos de los procesos de resolución según el tipo de problema

Un primer dato sobre el proceso de resolución que es posible obtener es el tiempo total empleado y la cantidad total de acciones efectuadas. En este sentido, los resultados obtenidos en la sección 6.3.2 permitieron señalar que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para el tiempo total empleado ni para la cantidad total de acciones efectuadas que pudieran ser asociadas a la diferencia entre los tipos de enunciados de problemas. Es posible agregar un poco más de información al respecto.

Para los *Problemas Definidos* se obtuvo un tiempo medio de resolución caracterizado por $M^D_{\tau} = 570$ s, $DS^D_{\tau} = 281$ s, mientras que para los *Problemas Indefinidos* $M^I_{\tau} = 778$ s, $DS^I_{\tau} = 486$ s (Gráfico 6.2 (a)). La desviación estándar de estos valores es elevada, y la razón es la gran dispersión que presenta la muestra para los tiempos empleados en resolver el problema, tal como puede ser observado en Tabla 6.12. Si bien el valor medio para los *Problemas Indefinidos* es mayor que para los *Problemas Definidos*, esta dispersión no permite asegurar que la diferencia esté relacionada a los distintos tipos de problemas y no a diferencias de estilos de resolución de los sujetos.

Para aportar información sobre el tiempo empleado en la resolución, es posible observar cómo son los tiempos que los sujetos emplean en resolver aquellos problemas que pueden ser resueltos aplicando los mismos conceptos y leyes de la Física, pero que fueron presentados en versión *Problema Definido* para algunos y en versión *Problema Indefinido* para otros. Se recuerda que la estructura de las entrevistas fue tal que un grupo de sujetos resolvió dos problemas pertenecientes a un tópico, uno *Definido* y uno *Indefinido*, mientras que el otro grupo resolvía los mismos problemas, pero en las versiones opuestas.

Por ejemplo, el Grupo 1 (Tabla 6.12) que resolvió problemas de Mecánica, resolvió la versión *Problema Definido* del mismo problema que resolvió en versión *Problema Indefinido* el Grupo 2. Ese es el caso presentado en Gráfico 6.3. Es posible observar que la dispersión en el tiempo total empleado entre los sujetos que resolvieron la versión *Problema Definido* resultó mínima, sin embargo se evidenció una gran dispersión para el caso de la versión *Problema Indefinido*.

La misma comparación, pero entre el Grupo 3 y el Grupo 4 que resolvieron problemas de Electricidad, es presentada en el Gráfico 6.4. En este caso, se observa una gran dispersión para los tiempos empleados en resolver tanto la versión *Problema Definido* como la versión *Problema Indefinido* del mismo problema.

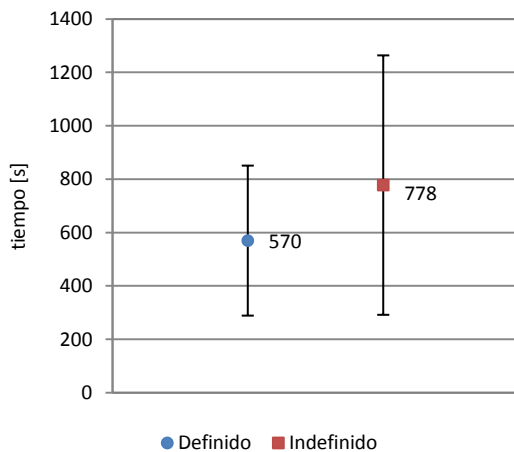
Es posible observar en la Tabla 6.12, que esta dispersión no depende de estilos de resolución de los sujetos, ya que tanto el Grupo 1 como el Grupo 2 tienen bajas dispersiones en el tiempo empleado en resolver el *Problema Definido*, pero altas dispersiones en el *Problema Indefinido*.

Un análisis equivalente se realizó para la cantidad de acciones. Para los *Problemas Definidos* se obtuvo una cantidad media total de acciones realizadas en la resolución caracterizada por $M^D_A = 134$, $DS^D_A = 54$, mientras que para los *Problemas Indefinidos* $M^I_A = 179$, $DS^I_A = 134$ (Gráfico 6.2 (b)). La desviación estándar de estos valores es elevada debido a la gran dispersión que presenta la muestra para la cantidad de acciones realizadas para resolver los problemas, tal como puede ser observado en Tabla 6.12. Si bien el valor medio para los

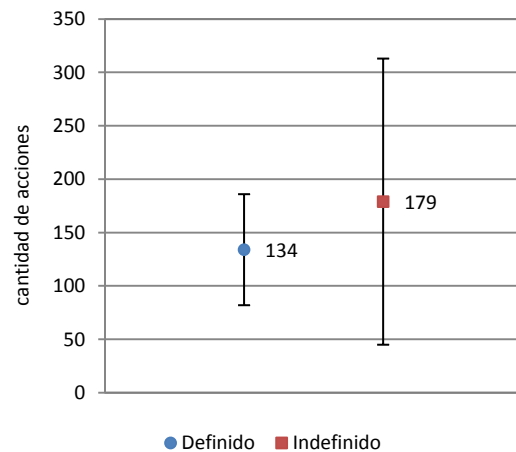
Problemas Indefinidos en mayor que para los *Problemas Definidos*, esta dispersión no permite asegurar que la diferencia esté relacionada a los distintos tipos de problemas y no a diferencias de estilos de resolución de los sujetos. Es posible observar en el Gráfico 6.5 y en el Gráfico 6.6 que la situación es igual que la discutida anteriormente para el caso de los tiempos empleados.

Tabla 6.12: Tiempo total y Acciones totales – *Problema Indefinido/Problema Definido*. (N=12).

Grupo	Nivel de Experiencia	Tópico	Tiempo total [s]		Acciones totales	
			Problema Definido	Problema Indefinido	Problema Definido	Problema Indefinido
1	Estudiante	Mecánica	378,05	1061,16	116	262
1	Doctorando	Mecánica	413,35	1055,30	90	155
1	Profesor	Mecánica	394,52	680,99	86	101
2	Estudiante	Mecánica	488,71	677,32	117	180
2	Doctorando	Mecánica	508,11	818,26	153	200
2	Profesor	Mecánica	520,81	336,09	106	84
3	Estudiante	Electricidad	326,45	2019,65	89	558
3	Doctorando	Electricidad	1121,55	1068,44	258	218
3	Profesor	Electricidad	490,64	331,35	139	78
4	Estudiante	Electricidad	642,08	575,72	165	152
4	Doctorando	Electricidad	388,32	361,23	95	78
4	Profesor	Electricidad	1164,90	346,84	196	86



(a) Tiempos Totales medios



(b) Cantidad total media de acciones

Gráfico 6.2: Tiempos totales medios y Cantidad total media de acciones- Comparación entre tipos de problemas (N=12)

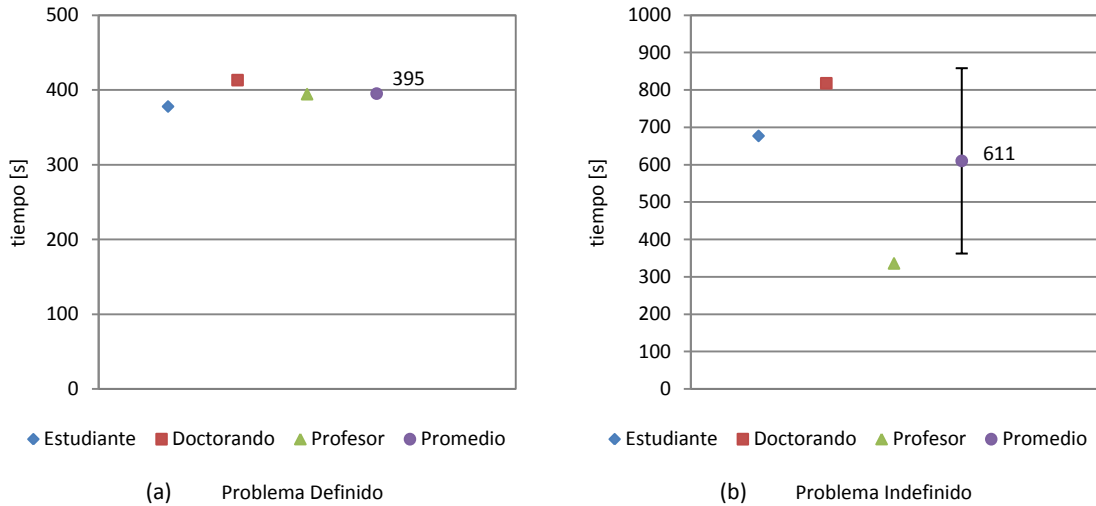


Gráfico 6.3: Tiempos totales - Comparación versiones de un mismo problema - Mecánica (N=3)

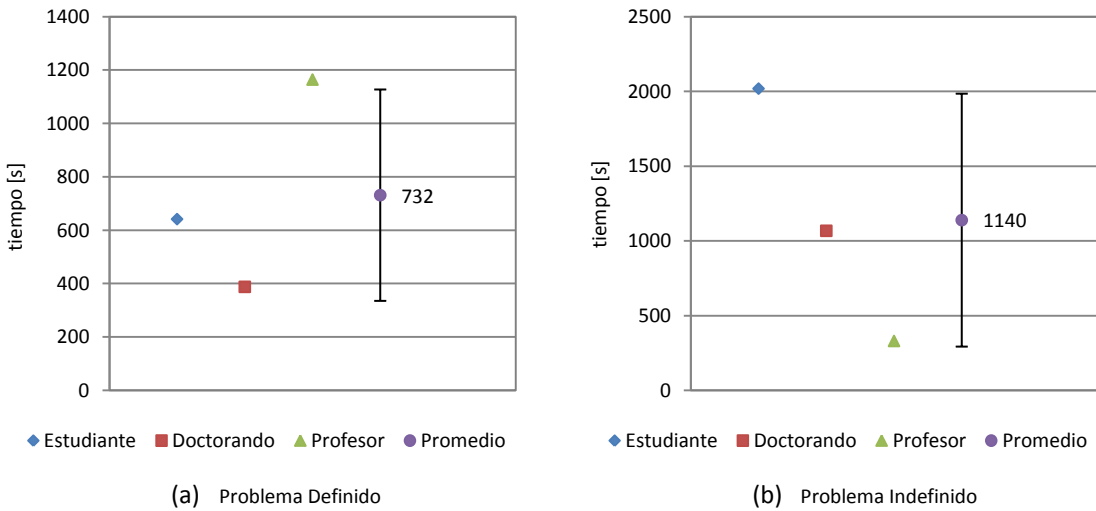


Gráfico 6.4: Tiempos totales - Comparación versiones de un mismo problema - Electricidad (N=3)

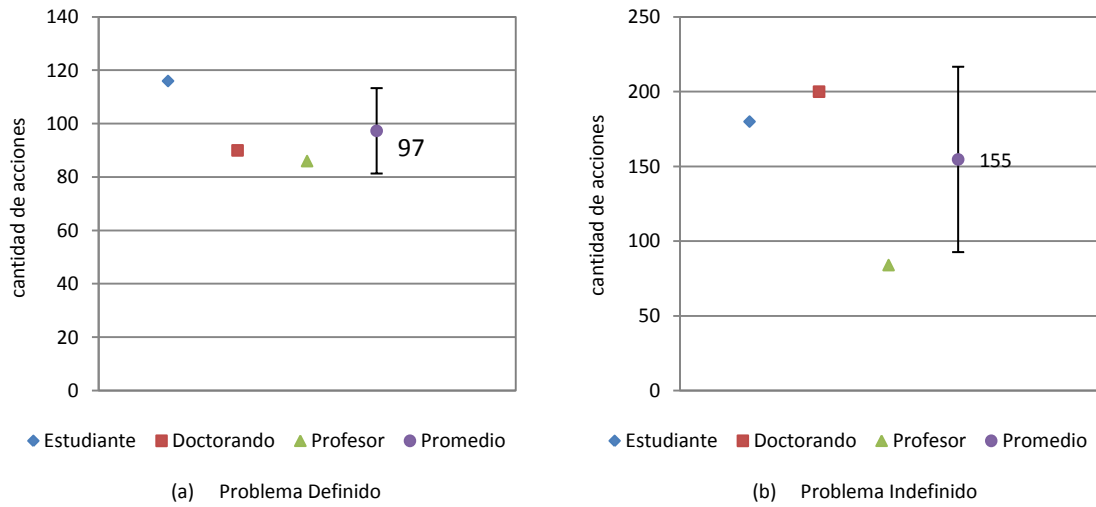


Gráfico 6.5: Cantidad total de acciones - Comparación versiones de un mismo problema - Mecánica (N=3)

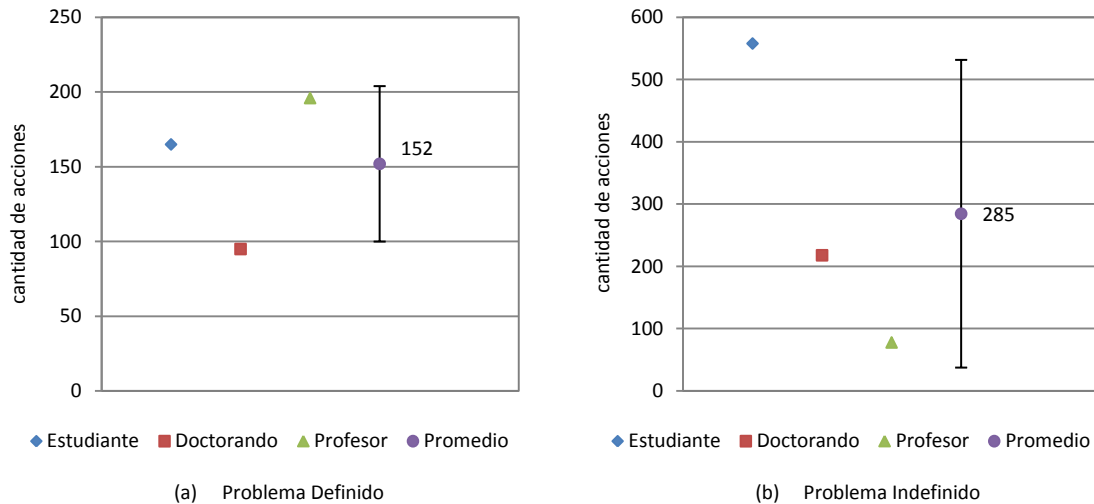


Gráfico 6.6: Cantidad total de acciones - Comparación versiones de un mismo problema - Electricidad (N=3)

Con los valores obtenidos para los tiempos medios empleados para cada tipo de acción catalogada se construyó el Gráfico 6.7 y el Gráfico 6.8. En ellos es posible observar las distintas distribuciones para los tiempos empleados en los tipos de acciones y en relación al tipo de problema considerado.

En el Gráfico 6.7 es posible notar que el patrón correspondiente a los *Problemas Indefinidos* presentó el tiempo medio distribuido en todo el espectro de acciones catalogada. En ambos casos, resoluciones de *Problemas Definidos* y *Problemas Indefinidos*, el tiempo destinado a las acciones catalogadas como *pausa*, *no catalogadas* e intervenciones del *entrevistador* resultó aproximadamente el 35% del total empleado en la resolución.

Considerando solamente las acciones relacionadas con el modelo de comprensión propuesto y las acciones de lectura (Gráfico 6.8), es posible observar que el patrón correspondiente a los *Problemas Indefinidos* presentó aproximadamente el 40% del tiempo destinado a acciones relacionadas a la *lectura*, al *Modelo de la Situación*, al *modelado físico* y a la *instanciación*. Aproximadamente un 22% del tiempo resultó destinado a acciones relacionadas al *Modelo Físico Conceptual* y un 20% en acciones catalogadas como del *Modelo Físico Formalizado*. En cuanto al patrón correspondiente a los *Problemas Definidos*, aproximadamente el 30% del tiempo se destinó a acciones relacionadas al *Modelo Físico Conceptual*. Aproximadamente un 55% del tiempo se destinó a las acciones relacionadas al *modelado formal*, al *Modelo Físico Formalizado* y a la *interpretación física*.

En cuanto a la cantidad media de acciones, con los valores obtenidos se construyeron el Gráfico 6.9 y el Gráfico 6.10. Al igual que para el caso de los tiempos medios empleados, el patrón de los *Problemas Indefinidos* presenta toda la gama de acciones catalogadas.

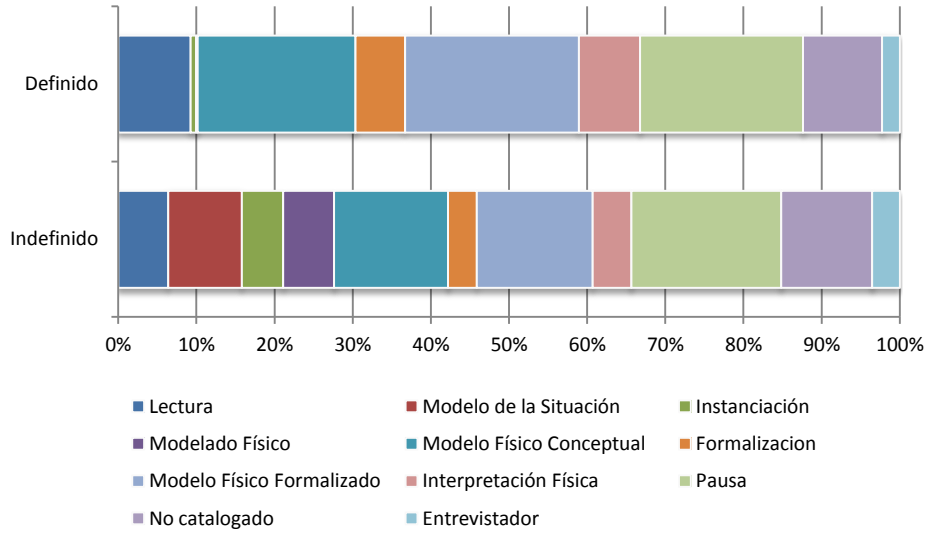


Gráfico 6.7: Tiempos medios - Comparación entre tipos de problemas
Todas las acciones catalogadas (N=12)

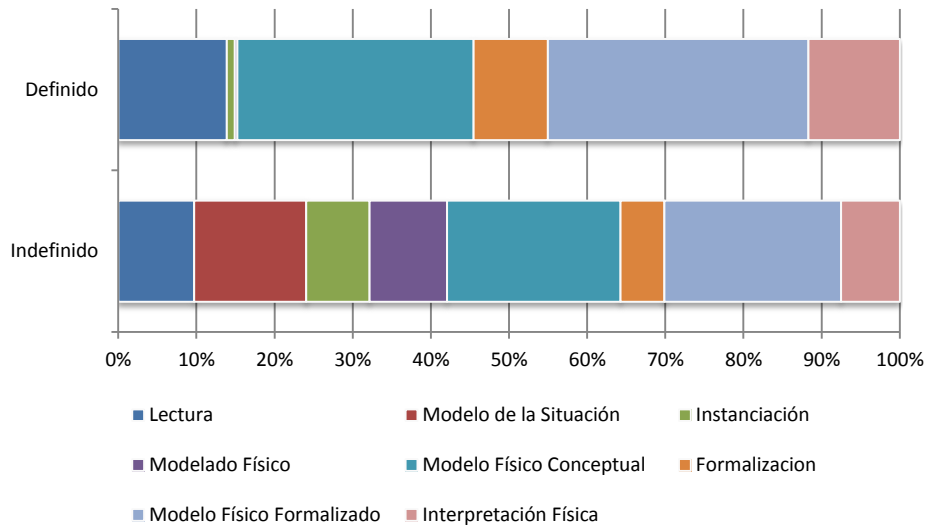


Gráfico 6.8: Tiempos medios - Comparación entre tipos de problemas
Acciones del modelo (N=12)

En cuanto a ambos patrones se puede observar que las cantidades de acciones de *pausa*, *no catalogadas* y de intervención del *entrevistador* resultan elevadas, aproximadamente el 50% para los *Problemas Indefinidos* y un 45% para los *Problemas Definidos*. Es conveniente tener presente que esta cantidad elevada se debe a la naturaleza de estas acciones. Tanto las *pausas* como las *acciones no catalogadas* son en general elevadas en cantidad pero que involucran poco tiempo.

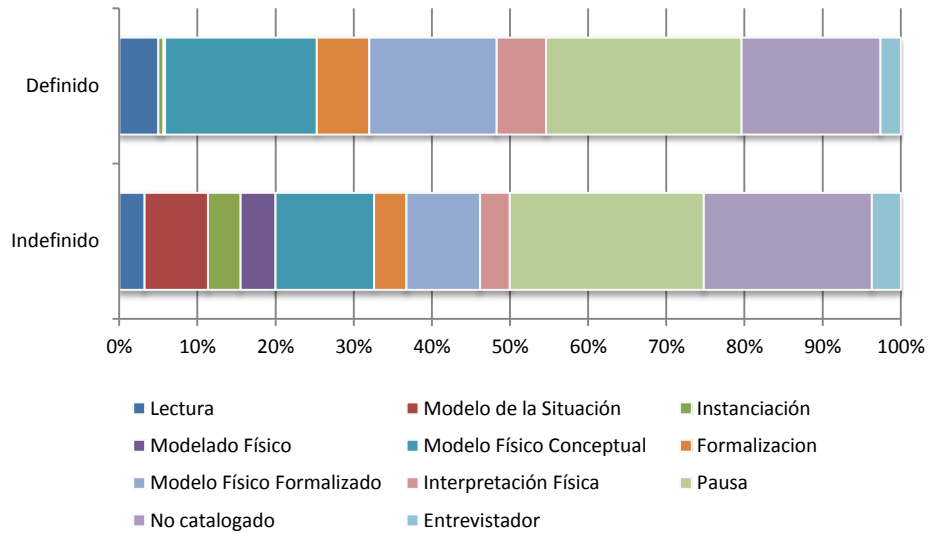


Gráfico 6.9: Cantidad media de acciones - Comparación entre tipos de Problemas Acciones del modelo (N=12)

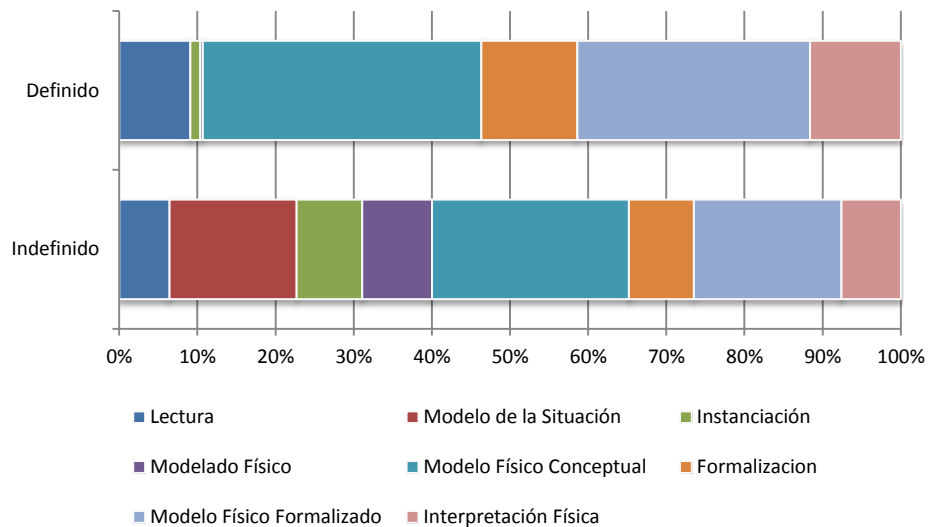


Gráfico 6.10: Cantidad media de acciones - Comparación entre tipos de problemas Acciones del modelo (N=12)

Si, como en el caso anterior, consideramos solamente las acciones propuestas por el modelo (incluyendo también la *lectura*) se pudo observar por medio del Gráfico 6.10. que los patrones obtenidos para la cantidad medida de acciones resultan coincidentes con los presentados para los tiempos medios, tanto para los *Problemas Indefinidos* como para los *Problemas Definidos*.

Estos resultados se encuentran en concordancia con los obtenidos en la sección 6.3.3. Estos patrones descriptivos se encuentran avalados entonces por las diferencias significativamente estadísticas que se presentaron anteriormente.

6.3.5 Análisis de Resultados

En resumen, los resultados reportados en el apartado 6.3.2 son los siguientes:

- Para los Problemas Indefinidos resultó mayor el tiempo medio destinado a acciones:
 - De trabajo con el *Modelo de la Situación*
 - De *instanciación*
 - De *modelado físico*
- Para los Problemas Indefinidos resultó mayor la cantidad de acciones:
 - De trabajo con el *Modelo de la Situación*
 - De *instanciación*
 - De *modelado físico*

Estos resultados obtenidos para las diferencias entre *Problemas Definidos* y *Problemas Indefinidos* se encuentran en acuerdo con las hipótesis que se plantearon para las mismas. Tanto para tiempos empleados como para cantidad de acciones, las diferencias significativas se encuentran relacionadas a aquellas acciones que son activadas por un tipo de enunciado y no por el otro. Resulta razonable entonces que las diferencias se encuentren relacionadas con las acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación*, con las de *instanciación* y con las de *modelado físico*. De acuerdo con la teoría propuesta, éstas son acciones que son demandadas explícitamente por *Problemas Indefinidos* debido al tipo de objetos y eventos presentados en enunciados de este tipo. Al ser objetos y eventos concretos, relacionados en situaciones del mundo cotidiano, es necesario que los sujetos las manipulen de tal manera de asociarlas a objetos y eventos abstractos que les permitan utilizar algún modelo físico para dar respuesta a la demanda del problema.

Las diferencias encontradas en relación al tiempo empleado en cada tipo de acción y para la cantidad de acciones de cada tipo, corresponden a un primer nivel de análisis. Es posible pensar que estas diferencias solo se deben a la ausencia de estas acciones para un tipo de problema y la presencia de las mismas para el otro tipo de problema. Sin embargo, es importante recordar que la resolución de problemas es una actividad que incorpora mucho del resolutor y su estilo de trabajo. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta que los valores absolutos obtenidos tanto para el tiempo empleado como para la cantidad de acciones son fuertemente dependientes del sujeto que resuelve.

Considerar el porcentaje sobre el total de las mediciones, puede aportar datos sobre cómo las mismas se distribuyen en cada resolutor y entre resolutores. Esta es la utilidad que se encuentra al trabajar con la distribución del tiempo en el tiempo total destinado a la resolución y de las acciones en la cantidad total realizada.

Los resultados presentados en la sección 6.3.3 pueden ser resumidos de la siguiente manera:

- Para los *Problemas Indefinidos* resultó mayor la media del porcentaje de tiempo sobre el total destinado a acciones:
 - De trabajo con el *Modelo de la Situación*
 - De *instanciación*
 - De *modelado físico*

- Para los *Problemas Indefinidos* resultó menor la media del porcentaje de tiempo sobre el total destinado a acciones:
 - De *modelado formal*
 - De trabajo con el *Modelo Físico Formalizado*
 - De *interpretación física*
- Para los *Problemas Indefinidos* resultó mayor la media del porcentaje de acciones sobre el total catalogado:
 - De trabajo con el *Modelo de la Situación*
 - De *instanciación*
 - De *modelado físico*
- Para los *Problemas Indefinidos* resultó menor la media del porcentaje de acciones sobre el total catalogado:
 - De trabajo con el *Modelo Físico Conceptual*
 - De *modelado formal*
 - De trabajo con el *Modelo Físico Formalizado*
 - De *interpretación física*

En este nuevo nivel de análisis sobre las diferencias entre los procesos de resolución de *Problemas Definidos* y de *Problemas Indefinidos* aporta una nueva visión. Tanto para porcentaje de tiempo sobre el tiempo total de resolución como para el porcentaje de acciones sobre el total de acciones catalogadas, los tipos de acciones que presentan diferencias significativas son las mismas. Los procesos que generan los *Problemas Definidos* se diferenciaron de los generados por *Problemas Indefinidos* en las acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación*, en las de *instanciación*, en las de *modelado físico*, en las de *modelado formal*, en las de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* y en las de *interpretación física*. En particular, para los *Problemas Indefinidos*, las de trabajo con el *Modelo de la Situación*, las de *instanciación* y las de *modelado físico* presentaron mayor porcentaje de tiempo sobre tiempo total y mayor cantidad de acciones sobre el total de acciones catalogadas. En cambio, las de *modelado formal*, las de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* y las de *interpretación física* presentaron menos porcentaje de tiempo sobre tiempo total y menor cantidad de acciones sobre el total de acciones catalogadas.

Un primer análisis de estos resultados podría ser que, ya que se consideró porcentajes sobre el total, se produjo un efecto de redistribución tanto del tiempo como de la cantidad de acciones en relación al total. Si hay nuevas acciones que realizar, en porcentaje deberán disminuir tiempos y cantidades del resto de las acciones efectuadas. Sin embargo, se cuenta con resultados no explícitamente mencionados, que son aquellas acciones para las cuales no se encontró diferencias significativas entre *Problemas Definidos* y *Problemas Indefinidos*. No se encontraron diferencias significativas para las acciones de *lectura*, ni para las acciones de trabajo con el *Modelo Físico Conceptual*, ni para las *pausas*, ni para las acciones *no catalogadas* ni para las acciones de intervención del *entrevistador*. La aparición de nuevas acciones en el proceso de resolución de *Problemas Indefinidos* sin dudas produce, en porcentaje, una redistribución del resto de las acciones efectuadas. Sin embargo, estos resultados indican que no para todas las acciones esta redistribución resulta estadísticamente significativa y atribuible a los distintos tipos de problemas utilizados.

Estos resultados también fueron encontrados en la sección 6.3.4. Es factible considerar que los *Problemas Indefinidos* generan patrones de resolución distintos a los generados por *Problemas Definidos*. Estos patrones para los *Problemas Indefinidos* se caracterizan por una distribución del tiempo y la cantidad de acciones en todas las acciones propuestas teóricamente en base al *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*.

Complementariamente, es posible incorporar información cualitativa extraída de las entrevistas analizadas y que componen la muestra de este estudio. En la etapa de análisis de

las entrevistas se observó que en las correspondientes a *Problemas Indefinidos*, los resolvidores trabajaron en el problema con mucho detalle hasta encontrar un primer planteo del *Modelo Físico Formalizado* que les permitiera resolver el problema. A partir de ese momento, el nivel de detalle en el trabajo disminuyó, llegando algunos incluso a dejar planteado el camino de solución. De esto podría ser inferido que para los resolvidores el foco del problema se encontraba en delimitar la situación planteada de tal manera que les permitiera utilizar algún *Modelo Físico Conceptual* para responder. Una vez llegado a ese punto, el problema deja de ser un conflicto para ellos y lo consideran resuelto, aunque no presenten expresiones o valores que respondan directamente la demanda del problema. Estos comportamientos se encuentran en completo acuerdo con los datos obtenidos de las pruebas estadísticas. Las acciones de trabajo con el *Modelo de la Situación*, las de *instanciación* y las de *modelado físico* son las que se encuentran relacionadas con las tareas de relacionar la situación planteada en el *Problema Indefinido* con el *Modelo Físico Conceptual* que permite avanzar en la resolución. Por ello, los porcentajes para estas acciones resultaron mayores en el caso de los *Problemas Indefinidos*. Por su parte, las acciones de *modelado formal*, de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* y las de *interpretación física* son las que se encuentran relacionadas con las tareas efectuadas para avanzar en la solución una vez que se determina el *Modelo Físico Conceptual* apropiado para hacerlo.

Por último, un resultado que fue obtenido de manera implícita en la sección 6.3.2 pero fue analizado explícitamente en la sección 6.3.4, es que si bien el tiempo medio empleado por los resolvidores para los *Problemas Indefinidos* es mayor, que el empleado para resolver los *Problemas Definidos*, esto no resulta estadísticamente significativo debido a la gran dispersión de los tiempos empleados por los resolvidores. Lo mismo ocurre para la cantidad media de acciones realizadas.

Con los resultados obtenidos, presentados en toda esta sección 6.3, es posible afirmar que para los enunciados experimentales construidos se comprobaron las hipótesis iniciales: **Hipótesis 6.2:** Enunciados de características diferentes generan procesos de resolución diferentes; **Hipótesis 6.3:** Los *Problemas Indefinidos* generan procesos de resolución que involucran a todas las habilidades de modelado propuestas por el modelo teórico e **Hipótesis 6.4:** Los *Problemas Definidos* generan procesos de resolución en el que solo se hace necesaria la construcción del *Modelo Físico Formalizado* y las habilidades de *modelado formal* e *interpretación física*.

6.3.6 Conclusiones

Los resultados obtenidos apoyan las hipótesis de este trabajo. El tipo de problema juega un papel importante en las características de la resolución que plantean los sujetos. Estos distintos tipos de enunciados de problemas poseen particularidades que generen procesos de resolución en los cuales se hace necesario construir y coordinar determinadas representaciones de la situación problemática.

La información obtenida de las entrevistas analizadas permite señalar que los *Problemas Definidos* generan procesos de resolución centrados principalmente en la construcción del *Modelo Físico Conceptual*, el *Modelo Físico Formalizado* y, en consecuencia, aquellas habilidades de modelado necesarias para articular estas representaciones. La resolución de *Problemas Indefinidos* involucra un conjunto mayor de habilidades que, desarrolladas y puestas en juego, permiten a los sujetos modelar la situación planteada a distintos niveles. En los *Problemas Indefinidos* el foco de la resolución parece estar centrado en la construcción del *Modelo Físico Conceptual* y no en la construcción del *Modelo Físico Formalizado*. Esto es, la determinación del modelo físico que describe y permite resolver el

problema se convierte en una tarea central en la resolución. De esta manera, los *Problemas Indefinidos* originan procesos de resolución en los cuales interviene la construcción de todos los tipos de representaciones previstos por el modelo y de todas las correspondientes habilidades de modelado necesarias.

Los resultados indican que los problemas enunciados en términos de objetos e interacciones ya modeladas, favorecen procesos de resolución que involucran habilidades de formalización matemática y cálculo. En este tipo de procesos de resolución se supone que el modelo científico que describe y permite resolver el problema se maneja con sus alcances y limitaciones. El foco de la tarea en este tipo de problemas es formalizar las leyes que gobiernan dicho modelo. En general, los modelos matemáticos utilizados para representar fenómenos en física básica son relativamente sencillos, por ello es probable que los fallos tradicionalmente atribuidos a fallas matemáticas respondan a la utilización acrítica de fórmulas sin el contenido conceptual que ellas incorporan al pertenecer a un modelo de un sistema físico. Esto es, el problema está en la semántica y no en la sintaxis matemática.

Por otra parte, los problemas enunciados a partir de objetos y eventos del mundo, esto es en términos concretos, presenta al resolvidor la oportunidad de seleccionar aquellos elementos que le permitan modelar la situación. En este proceso, el resolvidor deberá enfrentarse a la tarea de cuestionar y determinar el modelo científico que, por sus alcances y limitaciones, mejor le permita responder la demanda del problema. Esto sin dudas favorece una comprensión conceptual profunda y el desarrollo de una de las habilidades más requeridas en el ámbito de las ciencias: la habilidad de modelado.

Por último, es posible afirmar que se construyó un conjunto de enunciados experimentales validados en cuanto a los diferentes procesos de resolución que generan. Los mismos constituyen herramientas que permiten, en el marco de un instrumento diseñado para tal fin, dar cuenta de las habilidades puestas en juego en la resolución de problemas. Además, por ser enunciados de problemas, la tarea más utilizada habitualmente en la acreditación, son susceptibles de ser evaluados según los criterios tradicionales de desempeño.

6.4 Estudios complementarios

Si bien no forman parte del estudio principal que se presenta en este capítulo que es el de validación de los enunciados experimentales construidos, es posible realizar algunos análisis complementarios con la información obtenida de las entrevistas de resolución.

En las próximas secciones se presentan estos estudios. Uno de ellos destinado a indagar sobre la influencia del nivel de instrucción formal en las características del proceso de resolución. El otro, a la influencia del tópico de los problemas en las características del proceso de resolución.

6.4.1 Sobre diferencias en cuanto al nivel de instrucción formal

Estudios iniciales, basados en una muestra reducida de entrevistas, permitió obtener resultados que apoyan la Hipótesis 6.5 sobre que los procesos de resolución, además de depender del tipo de problema, dependen de la experiencia del resolvidor (Truyol, Gangoso y

Sanjosé, 2012). En este trabajo, de nivel descriptivo, se presentaron datos que mostraron que los patrones obtenidos para los estudiantes, los doctorandos y los profesores resultaron distintos, tanto para los *Problemas Definidos* como para los *Problemas Indefinidos*.

En ese estudio que se menciona fueron realizados gráficos comparativos para analizar las diferencias entre los patrones. Por el tamaño de la muestra considerada, no era posible utilizar pruebas estadísticas. Sin embargo para el caso de los doctorandos, las habilidades de modelado no se encontraron totalmente desarrolladas. Si bien las habilidades puestas en juego en cada tipo de problema eran las mismas para todos los sujetos independientemente de su nivel de instrucción formal, la diferencia se encontró en las proporciones de tiempo destinadas a cada una.

Se presenta ahora el análisis estadístico realizado con la totalidad de la muestra (N=12).

Resultados

Se desea analizar si los tiempos empleados por los resolvedores para la realización de las distintas acciones catalogadas presentan diferencias significativas según el nivel de instrucción formal del sujeto (estudiante, doctorando o profesor). Se comparan los tiempos empleados por los sujetos de distinto nivel de instrucción para la realización de cada tipo de acción para las resoluciones de los *Problemas Definidos* e *indefinidos*. Para ello se realizará un análisis estadístico empleando la prueba de Kruskal-Wallis.

Para el caso de resolución de *Problemas Definidos*, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en ningún caso (Tabla 6.13).

Para complementar estos resultados, se realizaron el Gráfico 6.11 y Gráfico 6.12. Los mismos muestran que, a pesar de evidenciarse una diferencia en los patrones para el tiempo empleado en acciones relacionadas al *Modelo Físico Conceptual* y al *Modelo Físico Formalizado*, las mismas no son estadísticamente significativas, dada la dispersión de valores que se puede observar en el Gráfico 6.12.

En cuanto a los *Problemas Indefinidos*, el análisis mostró diferencias significativas marginales para el caso del tiempo empleado para la realización de acciones de *pausa* (t_p) $\chi^2(2, N=53)=6,038, p=0,049$ (Tabla 6.13).

Para profundizar, se realizaron pruebas de contraste Mann-Whitney para la diferencia significativa encontrada. Fueron comparados los tiempos empleados para los distintos grupos de sujetos, no encontrándose diferencias significativas entre los distintos grupos tomados de a pares.

En el Gráfico 6.13 es posible evidenciar la diferencia encontrada para el tiempo empleado en acciones de *pausa*. Se podría pensar que para el tiempo empleado en acciones relacionadas con el *Modelo de la Situación* también debieran haber evidenciado diferencias. Sin embargo, en el Gráfico 6.14, es posible observar que debido a la dispersión de los valores, la diferencia no resultó estadísticamente significativa.

También se desea estudiar si la cantidad de acciones catalogadas realizadas por los resolvedores durante el proceso de resolución de problemas tiene relación con el nivel de instrucción del sujeto. Para ello se compararon la cantidad de acciones realizadas de cada tipo por sujetos de distinto nivel de instrucción. Estas comparaciones fueron realizadas tanto para las resoluciones de *Problemas Definidos* como las de *indefinidos*.

Para el caso de los *Problemas Definidos*, la prueba Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas para la cantidad de acciones efectuadas en ningún caso (Tabla 6.14).

Al igual que para el caso de la variable tiempo empleado, es posible observar en el Gráfico 6.15 que a pesar de evidenciarse una diferencia en los patrones fundamentalmente para la cantidad de acciones realizadas en relación al *Modelo Físico Conceptual* y al *Modelo Físico Formalizado*, las mismas no son estadísticamente significativas. Sin embargo es posible observar en el Gráfico 6.16 la dispersión de valores que presentaron esas variables tanto para estudiantes, doctorandos como profesores.

Para el caso de los *Problemas Indefinidos*, la prueba estadística mostró diferencias significativas para la cantidad de acciones de *pausa* (n_p) $\chi^2(2, N=53)=6,500$, $p=0,039$; para la cantidad de intervenciones del entrevistador (n_E) $\chi^2(2, N=53)=6,073$, $p=0,048$ y para la cantidad de acciones *no catalogadas* (n_{NC}) $\chi^2(2, N=53)=7,269$, $p=0,026$ (Tabla 6.14).

Tabla 6.13: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Nivel de Instrucción* – Tiempo empleado (N=12).

<i>Tiempos</i>	df	<i>Problemas Definidos</i>		<i>Problemas Indefinidos</i>	
		Chi Cuadrado	Sig. Asint.	Chi Cuadrado	Sig. Asint.
Lectura	2	0,962	0,618	4,308	0,116
Modelo de la Situación	2	0	1	0,269	0,874
Instanciación	2	4,364	0,113	3,500	0,174
Modelado Físico	2	1,114	0,573	1,192	0,551
Modelo Físico Conceptual	2	4,885	0,087	2,923	0,232
Modelado Formal	2	1,192	0,551	1,862	0,394
Modelo Físico Formalizado	2	0,154	0,926	0,808	0,668
Interpretación Física	2	4,308	0,116	3,115	0,211
Pausa	2	0,5	0,779	6,038	0,049
No Catalogada	2	2,192	0,334	4,769	0,092
Entrevistador	2	1,168	0,558	2,673	0,263
Tiempo Total	2	1,654	0,437	4,885	0,087

Para ampliar el detalle de estas diferencias, se realizaron pruebas de contraste Mann-Whitney para comparar la cantidad de acciones realizadas entre los pares de grupos de sujetos con distinto nivel de instrucción. Para el caso en el cual las submuestras comparadas fueron estudiantes y doctorandos, el test no mostró diferencias significativas entre ellas. Tampoco cuando los grupos comparados fueron doctorandos y profesores. En cambio, en el caso de la comparación entre estudiantes y profesores, se encontró diferencias significativas para la cantidad de acciones de *pausa* (n_p) $z= -2,309$, $p=0,029$; para las *no catalogadas* (n_{NC}) $z= -2,309$, $p=0,029$ y para la cantidad de intervenciones del *entrevistador* (n_E) $z= -2,309$, $p=0,029$.

Por el lado de las acciones de *pausa* (n_p) en los *Problemas Indefinidos*, los estudiantes presentaron un rango medio de 6,50 (M= 87,25; DS= 81,94) mientras que los profesores un rango medio de 2,50 (M= 16,75; DS= 9,57). Esto indica que la cantidad media de acciones destinadas a *pausa* en los *Problemas Indefinidos* es mayor para los estudiantes que para los profesores. Las acciones *no catalogadas* (n_{NC}) en los *Problemas Indefinidos*, para el caso de los estudiantes presentaron un rango medio de 6,50 (M= 72,00; DS= 71,80) mientras que los profesores un rango medio de 2,50 (M= 12,25; DS= 6,13). Esto señala que la cantidad media de acciones *no catalogadas* en los *Problemas Indefinidos* es mayor para los estudiantes que para

los profesores. Por último, para el caso de la cantidad de intervenciones del entrevistador (n_E) en los *Problemas Indefinidos*, los estudiantes presentaron un rango medio de 6,50 ($M= 13,00$; $DS= 11,04$) mientras que los profesores un rango medio de 2,50 ($M= 2,00$; $DS= 1,41$). Esto indica que la cantidad media de intervenciones del *entrevistador* en los *Problemas Indefinidos* es mayor para los estudiantes que para los profesores.

Tabla 6.14: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Nivel de Instrucción* – Cantidad de acciones (N=12).

<i>Acciones</i>	df	<i>Problemas Definidos</i>		<i>Problemas Indefinidos</i>	
		Chi Cuadrado	Sig. Asint.	Chi Cuadrado	Sig. Asint.
Lectura	2	0,97	0,616	5,412	0,067
Modelo de la Situación	2	0	1	1,824	0,402
Instanciación	2	4,364	0,113	5,441	0,066
Modelado Físico	2	1,114	0,573	1,288	0,525
Modelo Físico Conceptual	2	1,077	0,584	5,471	0,065
Modelado Formal	2	1,088	0,580	1,088	0,580
Modelo Físico Formalizado	2	0,622	0,733	1,946	0,378
Interpretación Física	2	3,306	0,191	1,948	0,378
Pausa	2	0,038	0,981	6,5	0,039
No Catalogada	2	0,27	0,874	7,269	0,026
Entrevistador	2	0,897	0,639	6,073	0,048
Tiempo Total	2	0,115	0,944	5,394	0,067

En el Gráfico 6.17 resultan evidentes los resultados encontrados con las pruebas estadísticas. Sin embargo es posible observar que aparece una diferencia considerable fundamentalmente en la cantidad de acciones relacionadas al *Modelo de la Situación* y al *Modelo Físico Conceptual*. Sin embargo las mismas no resultaron estadísticamente significativas, según los resultados obtenidos. Es posible observar en el Gráfico 6.18 la dispersión que mostraron estas variables independientemente del nivel de instrucción formal de los sujetos.

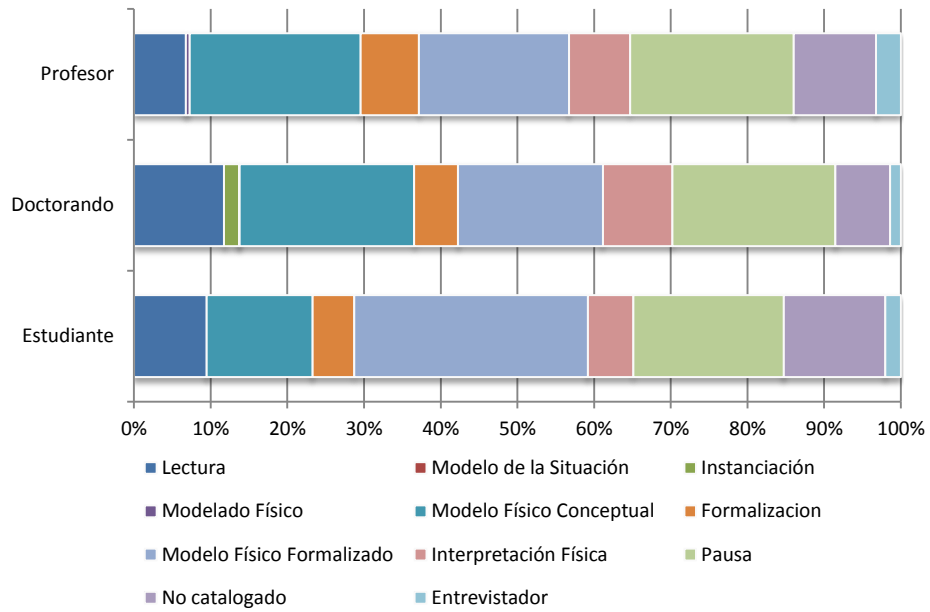


Gráfico 6.11: Problemas Definidos - tiempos medios – Todas las acciones catalogadas.

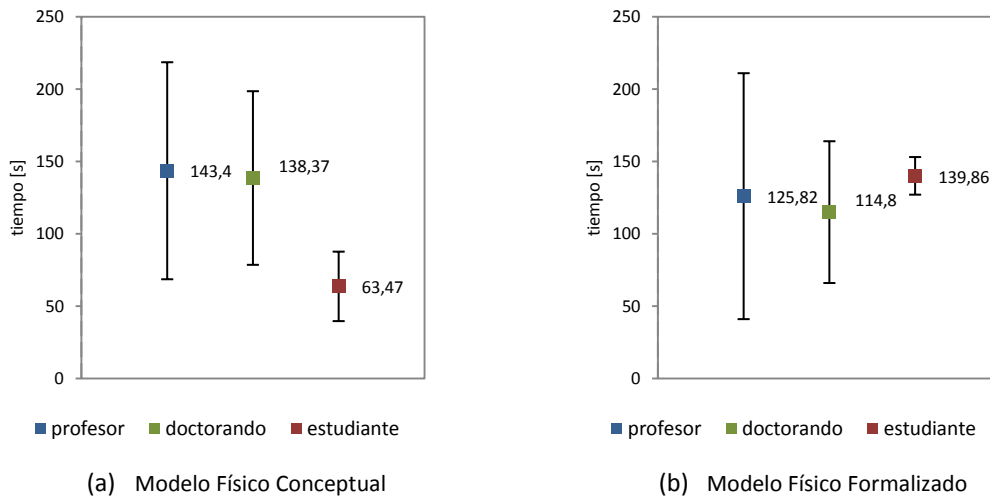


Gráfico 6.12: Valores medios y desviación estándar - Problemas Definidos – tiempos medios

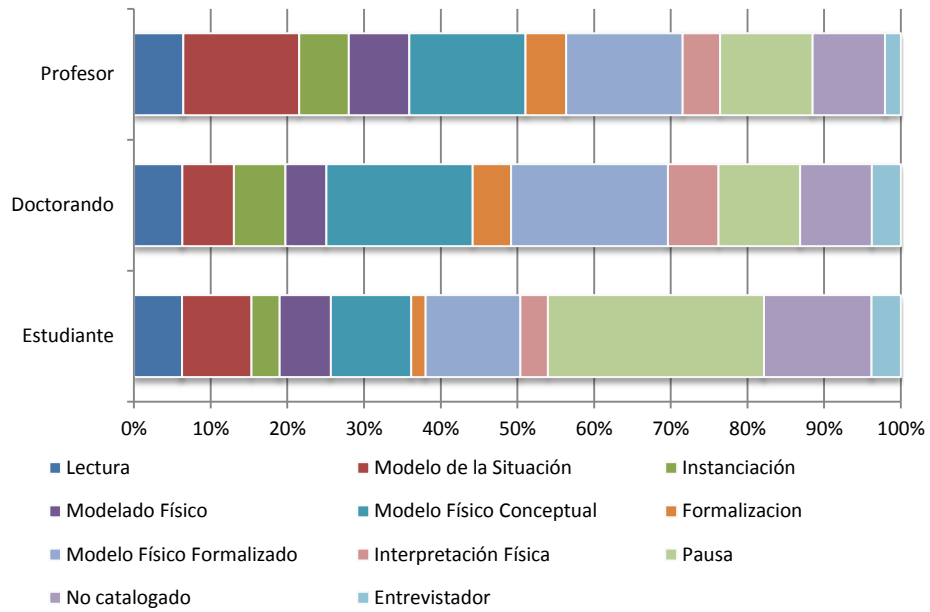


Gráfico 6.13: Problemas Indefinidos - tiempos medios- Todas las acciones catalogadas.

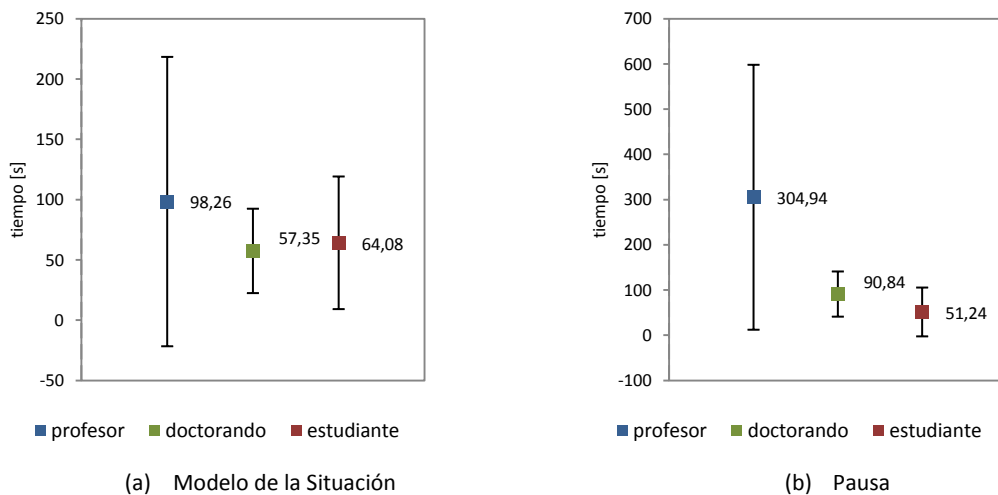


Gráfico 6.14: Valores medios y desviación estándar - Problemas Indefinidos – tiempos medios

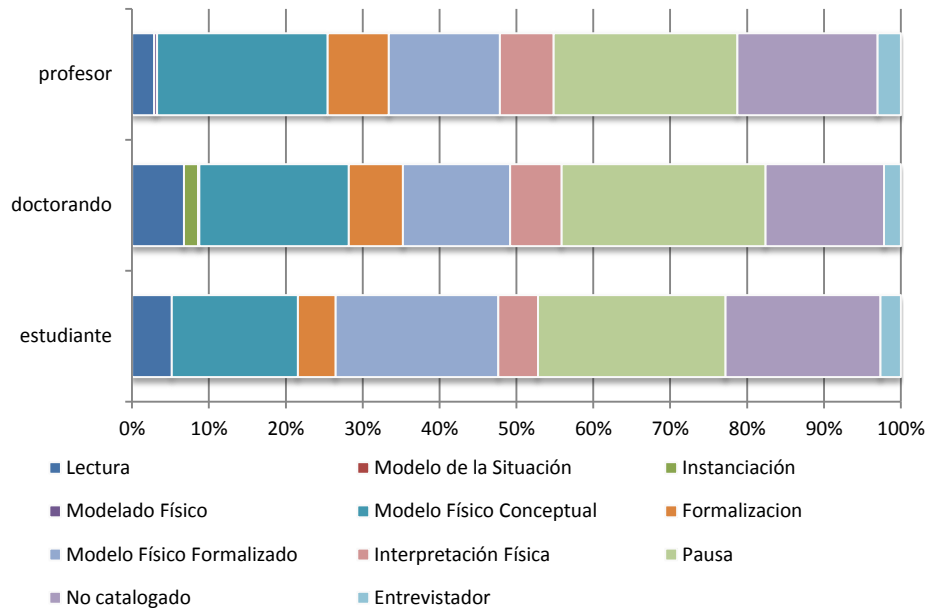


Gráfico 6.15: Problemas Definidos – cantidad media de acciones – Todas las acciones catalogadas.

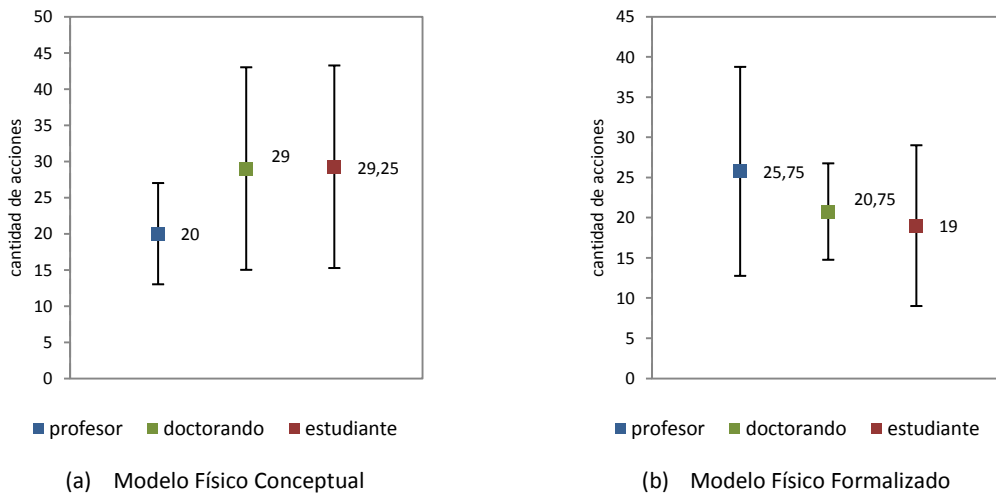


Gráfico 6.16: Valores medios y desviación estándar - Problemas Definidos – cantidad media de acciones

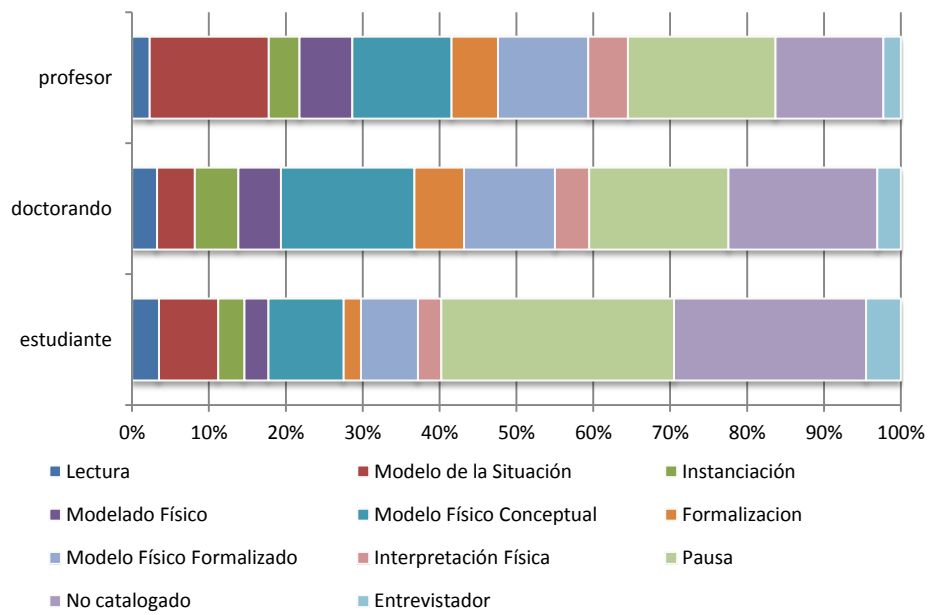


Gráfico 6.17: Problemas Indefinidos – cantidad media de acciones – Todas las acciones catalogadas.

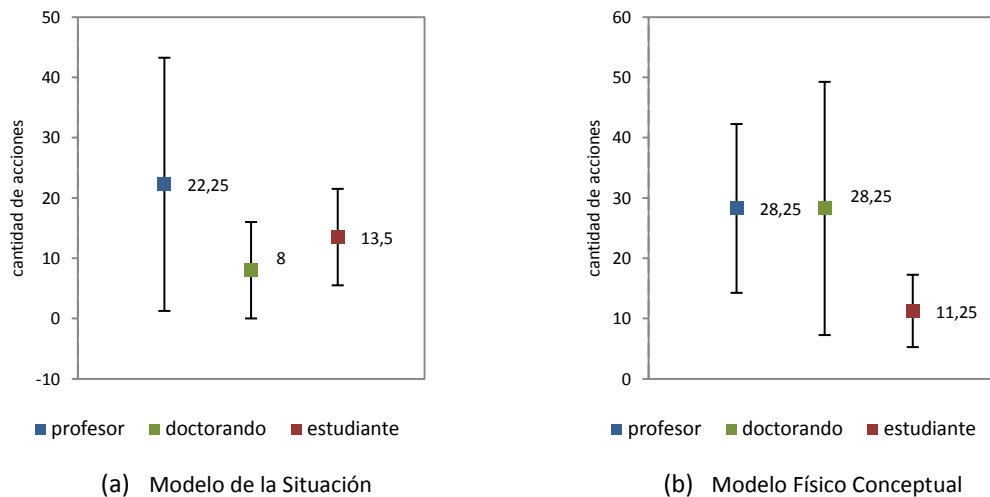


Gráfico 6.18: Valores medios y desviación estándar - Problemas Indefinidos - Cantidad media de acciones.

Análisis de resultados y conclusiones

Las pruebas realizadas no muestran diferencias significativas para las acciones relacionadas con el *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*. En ningún caso, sean estas acciones caracterizadas por el tiempo empleado en su realización o por su cantidad, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en relación al nivel instruccional formal de los sujetos entrevistados. Estas diferencias significativas fueron obtenidas para el caso de acciones de *pausa*, acciones *no catalogadas* o acciones de intervención del *entrevistador*.

En esta comparación entre sujetos de distinto nivel de instrucción formal, el hecho de no haber encontrado diferencias significativas entre ellos para ninguna de las dos variables que cuantificaron las acciones relacionadas con el modelo teórico propuesto, tiempo empleado y cantidad de acciones, obliga a revisar la Hipótesis 6.1 propuesta.

Dicha hipótesis planteaba que *Sujetos con distinto nivel de experiencia en la resolución de problemas realizan procesos de resolución diferentes*. Las diferencias en la resolución de problemas por parte de sujetos con distinto nivel de experiencia se encuentran suficientemente documentadas en la investigación en esta área. Era de esperar entonces, encontrar estas diferencias en este diseño propuesto. Al no evidenciar diferencias, es posible apuntar a algunas cuestiones que podrían tener incidencia en este hecho. Por un lado, cuestionar la muestra de sujetos. Por otro cuestionar el instrumento de medición.

En cuanto a la muestra de sujetos, la misma fue seleccionada según criterios absolutamente externos a este estudio. El nivel de instrucción formal de cada uno de los grupos quedó determinado por criterios institucionales: años de cursado, aprobación de examen en determinado cuatrimestre, año de inscripción en la carrera de doctorado, años de experiencia docente, etc. A partir de estos criterios seleccionados, fue posible suponer una equivalencia entre sujetos del mismo grupo. Metodológicamente hablando, no se tienen motivos para dudar de la composición de los grupos y de las diferencias entre ellos.

Si bien, como se señala en el párrafo anterior, no habría motivos para dudar de la equivalencia entre sujetos pertenecientes al mismo grupo, la dispersión de los valores obtenidos para las variables cuantificadas mostró otra situación.

Esta situación debe ser evaluada a la luz de todos los resultados obtenidos hasta el momento. Por un lado se ha podido validar estadísticamente un conjunto de enunciados experimentales en cuanto a los distintos procesos de resolución que generan. Esto fue hecho sin distinguir a los resolvedores en relación a su nivel de instrucción formal. Por lo tanto, el instrumento diseñado es capaz de diferenciar distintos patrones de resolución, como los que fueron discutidos en la sección 6.3.4. Esto lleva a pensar sobre las características de la tarea propuesta, esto es, los enunciados experimentales (Anexo 9.1, página 173). Sobre estos enunciados es posible mencionar que todos son versiones de problemas pertenecientes a guías de trabajos prácticos de materias de Física Básica. Su nivel de complejidad es mínimo y muy probablemente, incluso los estudiantes que ya aprobaron la materia correspondiente, desarrollaron las habilidades necesarias para resolverlos.

En este sentido, se debe mencionar que todas las entrevistas incluidas en este estudio contenían resoluciones exitosas de los problemas. Sin embargo, una inspección de los registros de las mismas permite observar que los niveles de detalle entre sujetos cambian. Las precisiones que son capaces de dar los profesores y algunos doctorandos son mayores que las que pueden expresar los estudiantes. Sin embargo esta situación no es posible distinguirla apropiadamente con las variables cuantificadas.

Se cree factible que parte de las diferencias que se deben a la experiencia de los sujetos queden enmascaradas junto con distintos estilos personales de resolución y comunicación. La definición y forma de catalogar las acciones hacen que las mismas tengan una dependencia en los comportamientos individuales de los sujetos entrevistados. Hablar mientras se resuelve un problema resulta una tarea de alta demanda cognitiva. Si bien es posible que sean los estudiantes los que más inconvenientes puedan tener con la realización de la entrevista, tal como lo muestran los resultados de las pruebas estadísticas en comparación con los profesores, existen muchos otros factores a tener en cuenta y que pueden afectar la catalogación de estas acciones. Estilos particulares de habla, utilización de muletillas en el lenguaje, confianza personal, comodidad en la realización de la tarea, son todos elementos que se pueden ver reflejados en los valores obtenidos para caracterizar las acciones.

Se pudo encontrar diferencias estadísticamente significativas que indicaron que la cantidad media de acciones de pausa y acciones no catalogadas es superior para los estudiantes que para los profesores. En cualquier entrevista, independientemente del nivel de instrucción formal del sujeto, la presencia de pausas y acciones no catalogadas produce cortes en la verbalización. Las pausas son momentos de silencio de los cuales no se puede obtener información sobre los procesos cognitivos en los que está involucrado el sujeto, pero cuando se producen, se producen cortes en las acciones que se están catalogando. Las acciones no catalogadas están compuestas por muletillas del lenguaje, conectores utilizados para dar coherencia al discurso, frases incompletas cuyo significado no queda claro, etc. Al igual que las pausas, producen cortes en las acciones que se catalogan. Para el mismo sujeto es necesario retomar algunas cosas dichas luego de estos cortes. De esta manera, a mayor cantidad de acciones de pausa y no catalogadas, aumentan la cantidad de acciones de otros tipos, por la misma forma en que son contabilizadas.

De esta manera, por ejemplo, es posible que no encontrar diferencias en acciones relacionadas con el *Modelo Físico Conceptual* entre estudiantes y profesores se deba a la alta cantidad de *pausas* y acciones *no catalogadas*. Los profesores presentaron una buena cantidad de acciones y tiempo empleado en discutir detalladamente cuestiones del *Modelo Físico Conceptual*. Los estudiantes, al interrumpir su verbalización gran cantidad de veces, destinaron mucho tiempo en retomar las mismas cuestiones a nivel básico sin mucha profundidad, pero en definitiva el tiempo destinado y la cantidad de acciones fue también elevada para el *Modelo Físico Conceptual*. Una inspección de los registros de las entrevistas permite avalar esta idea.

De esta manera, con el diseño implementado en esta forma, no se ha estado en condiciones de diferenciar los procesos de resolución para sujetos de distinto nivel de instrucción. El *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propone acciones que son evidenciadas independientemente del nivel de instrucción formal del sujeto, como fue demostrado en las secciones 6.3.2, 6.3.3, 6.3.4 y 6.3.5. Sin embargo, la forma de obtener datos y lo reducido de la muestra hace que las diferencias en cuanto a niveles de instrucción no resulten estadísticamente significativas. Por esto, los patrones presentados pueden ser considerados solo como tendencias que requieren de estudios en mayor profundidad.

6.4.2 Sobre diferencias en cuanto al tópico

Se desea indagar si se presentan diferencias significativas en las variables medidas según el tema al cual pertenece el enunciado del problema (mecánica o electricidad).

Resultados

Se desea analizar si los tiempos empleados por los resolutores para la realización de las distintas acciones catalogadas presentan diferencias significativas según el tema al cual pertenece el enunciado del problema (mecánica o electricidad).

En el caso de los *Problemas Definidos*, el análisis estadístico utilizando la prueba de Mann-Whitney mostró diferencias significativas para el tiempo empleado en acciones de *modelado formal* (t_{FO}), $z = -0,2882$, $p = 0,002$ y para el tiempo empleado en las acciones de *pausa* (t_p), $z = -2,402$, $p = 0,015$. Para el caso de del tiempo empleado en acciones de *modelado formal* (t_{FO}) los resolutores de los *Problemas Definidos* de mecánica presentaron un rango medio de 9,50 ($M = 56,91$ s, $DS = 15,96$ s) mientras que los resolutores de *Problemas Definidos* de electricidad un rango medio de 3,50 ($M = 15,25$ s, $DS = 13,09$ s). Esto señala que el tiempo empleado en acciones de *modelado formal* en los *Problemas Definidos* de mecánica es mayor que en los *Problemas Definidos* de electricidad. Por su parte, en cuanto al tiempo empleado en acciones de *pausa* (t_p) los resolutores de los *Problemas Definidos* de mecánica presentaron un rango medio de 5,00 ($M = 51,62$ s, $DS = 30,48$ s) y los resolutores de *Problemas Definidos* de electricidad un rango medio de 8,00 ($M = 185,86$ s, $DS = 142,76$ s). Este resultado indica que el tiempo medio utilizado para acciones de *pausa* es mayor en los *Problemas Definidos* de electricidad.

En el caso de los *Problemas Indefinidos*, el análisis estadístico utilizando la prueba de Mann-Whitney mostró diferencias significativas para el tiempo empleado en acciones de *modelado formal* (t_{FO}), $z = -2,567$, $p = 0,009$ y para el tiempo empleado en las acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* (t_{FF}), $z = -2,082$, $p = 0,041$. Para el caso del tiempo empleado en acciones de *modelado formal* (t_{FO}) los resolutores de los *Problemas Indefinidos* de mecánica presentaron un rango medio de 9,17 ($M = 45,82$ s, $DS = 18,88$ s) mientras que los resolutores de *Problemas Indefinidos* de electricidad un rango medio de 3,83 ($M = 11,29$ s, $DS = 11,58$ s). Esto señala que el tiempo empleado en acciones de *modelado formal* en los *Problemas Indefinidos* de mecánica es mayor que en los *Problemas Indefinidos* de electricidad. Por su parte, en cuanto al tiempo empleado en acciones de *modelado físico formalizado* (t_p) los resolutores de los *Problemas Indefinidos* de mecánica presentaron un rango medio de 8,67 ($M = 178,24$ s, $DS = 133,79$ s) y los resolutores de *Problemas Indefinidos* de electricidad un rango medio de 4,33 ($M = 52,41$ s, $DS = 25,23$ s). Este resultado indica que el tiempo medio utilizado para acciones de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado* es mayor en los *Problemas Indefinidos* de mecánica.

Se estudia también si la cantidad de acciones catalogadas realizadas por los resolutores durante el proceso de resolución de problemas presentan diferencias significativas según el tema al cual pertenece el enunciado del problema (mecánica o electricidad).

En el caso de los *Problemas Definidos*, el análisis estadístico utilizando la prueba de Mann-Whitney mostró diferencias significativas para a cantidad de acciones de *modelado formal* (n_{FO}), $z = -2,898$, $p = 0,002$, para las de *pausa* (n_p), $z = -2,242$, $p = 0,026$ y para las *no catalogadas* (n_{NC}) $z = -2,887$, $p = 0,002$.

Para el caso de la cantidad de acciones de *modelado formal* (n_{FO}) los resolutores de los *Problemas Definidos* de mecánica presentaron un rango medio de 9,50 ($M = 13,67$; $DS = 3,44$) mientras que los resolutores de *Problemas Definidos* de electricidad presentaron un rango medio de 3,50 ($M = 4,33$; $DS = 3,78$). Esto señala que la cantidad media de acciones empleadas para *modelado formal* en los *Problemas Definidos* de mecánica es mayor que en los *Problemas Definidos* de electricidad. Por su parte, en cuanto a la cantidad de acciones de *pausa* (n_p) los resolutores de los *Problemas Definidos* de mecánica presentaron un rango medio de 4,17

(M= 20,83; DS= 9,37) y los resolutores de *Problemas Definidos* de electricidad un rango medio de 8,83 (M= 46,33; DS= 21,58). Este resultado indica que la cantidad media de acciones de *pausa* es mayor en los *Problemas Definidos* de electricidad. Para el caso de la cantidad de acciones *no catalogadas* (n_{NC}) los resolutores de *Problemas Definidos* de mecánica presentaron un rango medio de 3,50 (M= 15,83; SD= 3,19) mientras que los resolutores de *Problemas Definidos* de electricidad presentaron un rango medio de 9,50 (M= 31,83; SD= 8,73), indicando que la cantidad media de acciones *no catalogadas* es mayor en los *Problemas Definidos* de electricidad.

Tabla 6.15: Prueba Mann-Whitney – Variable de agrupamiento *Tópico* – Tiempos (N=12).

<i>Tiempos</i>	<i>Problemas Definidos</i>		<i>Problemas Indefinidos</i>	
	Z	Sig. Exacto [2*(Sig. 1 cola)]	Z	Sig. Exacto [2*(Sig. 1 cola)]
Lectura	-0,32	0,818 ^(a)	-0,48	0,699 ^(a)
Modelo de la Situación	0	1,000 ^(a)	-0,641	0,589 ^(a)
Instanciación	-0,123	0,937 ^(a)	-0,16	0,937 ^(a)
Modelado Físico	-1,477	0,394 ^(a)	-0,961	0,394 ^(a)
Modelo Físico Conceptual	-0,961	0,394 ^(a)	-0,48	0,699 ^(a)
Modelado Formal	-2,882	0,002 ^(a)	-2,567	0,009 ^(a)
Modelo Físico Formalizado	-0,961	0,394 ^(a)	-2,082	0,041 ^(a)
Interpretación Física	-1,441	0,180 ^(a)	-1,922	0,065 ^(a)
Pausa	-2,402	0,015 ^(a)	-0,801	0,485 ^(a)
No Catalogada	-1,922	0,065 ^(a)	-0,32	0,818 ^(a)
Entrevistador	-0,241	0,818 ^(a)	-1,444	0,180 ^(a)
Tiempo Total	-0,801	0,485 ^(a)	-0,48	0,699 ^(a)

^a No corregido por empates.

En el caso de los *Problemas Indefinidos*, el análisis estadístico utilizando la prueba de Mann-Witney mostró diferencias significativas para la cantidad de acciones de *modelado formal* (n_{FO}), $z = -2,898$, $p = 0,002$ y para la cantidad de acciones de *interpretación física* (n_{IF}), $z = -2,100$, $p = 0,041$. Para el caso de la cantidad de acciones de *modelado formal* (n_{FO}) los resolutores de los *Problemas Indefinidos* de mecánica presentaron un rango medio de 9,50 (M=11,50; DS= 3,89) mientras que los resolutores de *Problemas Indefinidos* de electricidad un rango medio de 3,50 (M= 3,33; DS= 3,20). Esto indica que la cantidad media de acciones de *modelado formal* en los *Problemas Indefinidos* de mecánica es mayor que en los *Problemas Indefinidos* de electricidad. Por su parte, en cuanto a la cantidad de acciones de *interpretación física* (n_{IF}) los resolutores de los *Problemas Indefinidos* de mecánica presentaron un rango medio de 8,67 (M= 9,33; DS= 5,01) y los resolutores de *Problemas Indefinidos* de electricidad un rango medio de 4,33 (M= 4,33; DS= 1,63). Este resultado señala que la cantidad media de acciones de *interpretación física* es mayor en los *Problemas Indefinidos* de mecánica.

La prueba de Mann-Whitney nos indica que existen diferencias significativas entre las muestras que surgen de utilizar como variable de separación el *tópico* (Mecánica o Electricidad). En todos los casos para los *Problemas Definidos*, la diferencia aparece para el tipo de acciones relacionadas con tareas de *modelado formal* (FO), así como también en las acciones de *pausa* (P) y las *no catalogadas* (NC). Esta misma prueba estadística señala que para los *Problemas Indefinidos*, las diferencias significativas resultan en acciones asociadas a la construcción y utilización del *Modelo Físico Formalizado*, esto es las acciones de *modelado formal* (FO) o conversión de las variables físicas relevantes en variables matemáticas, el

manejo propiamente dicho de las expresiones matemáticas del *Modelo Físico Formalizado* (FF) y la *interpretación* de esas expresiones en relación a sus correlatos físicos (IF).

Tabla 6.16: Prueba Mann-Whitney – Variable de agrupamiento *Tópico* – Cantidad de acciones (N=12).

<i>Acciones</i>	<i>Problemas Definidos</i>		<i>Problemas Indefinidos</i>	
	Z	Sig. Exacto [2*(Sig. 1 cola)]	Z	Sig. Exacto [2*(Sig. 1 cola)]
Lectura	0	1,000 ^(a)	-1,373	,180 ^(a)
Modelo de la Situación	0	1,000 ^(a)	-0,561	,589 ^(a)
Instanciación	-0,123	,937 ^(a)	-0,485	,699 ^(a)
Modelado Físico	-1,477	,394 ^(a)	-1,527	,132 ^(a)
Modelo Físico Conceptual	-0,48	,699 ^(a)	0	1,000 ^(a)
Modelado Formal	-2,898	,002 ^(a)	-2,898	,002 ^(a)
Modelo Físico Formalizado	-0,322	,818 ^(a)	-1,687	,093 ^(a)
Interpretación Física	-0,651	,589 ^(a)	-2,1	,041 ^(a)
Pausa	-2,242	,026 ^(a)	-0,16	,937 ^(a)
No Catalogada	-2,887	,002 ^(a)	-0,32	,818 ^(a)
Entrevistador	-0,567	,589 ^(a)	-0,724	,485 ^(a)
Tiempo Total	-1,281	,240 ^(a)	-0,642	,589 ^(a)

^a No corregido por empates.

Análisis de resultados y conclusiones

Estos distintos tiempos empleados por los sujetos en el trabajo de formalización matemática y cálculo pueden atribuirse a las diferentes ecuaciones matemáticas que representan los modelos físicos necesarios para dar respuesta a estos problemas. En el caso de los problemas de mecánica es necesario utilizar ecuaciones de conservación, de momento lineal o energía dependiendo del caso, o plantear ecuaciones de movimiento. Para el caso de los problemas de electricidad, es necesario plantear la ecuación correspondiente para la Ley de Ohm, en circuitos muy simples, en los que solo se hace necesario agregar alguna ecuación que permita calcular resistencias equivalentes. La selección de las ecuaciones que representan la situación del problema está ligada a la estrategia de resolución elegida. Es decir, existen diferencias de base en los modelos matemáticos que permiten representar las situaciones. El problema de Electricidad necesita de ecuaciones lineales de muy poca complejidad y con mínima cantidad de variables. En cambio, cualquiera de las opciones seleccionadas para resolver el problema de Mecánica requiere la utilización de ecuaciones cuadráticas y/o lineales, acopladas en algunos casos y que implican la utilización de un mayor número de variables.

Capítulo 7: Diseño Experimental

7.1 Hipótesis de trabajo

7.2 Metodología

- 7.2.1 Construcción del Instrumento
- 7.2.2 Pruebas de Resolución de Problemas
- 7.2.3 Análisis de Registros
- 7.2.4 Muestra
- 7.2.5 Resguardos metodológicos

7.3 Resultados y Análisis

- 7.3.1 Resultados sobre la muestra completa de estudiantes
- 7.3.2 Análisis de resultados sobre la muestra completa de estudiantes
- 7.3.3 Resultados por grupos según nivel de instrucción
- 7.3.4 Análisis de resultados por grupos según nivel de instrucción

7.4 Conclusiones

Para describir el proceso de adquisición de habilidades en tareas de resolución de problemas, es necesario analizar qué ocurre con las representaciones construidas por sujetos de distinto nivel de instrucción formal en Física. Además, un interés particularmente ligado a los objetivos instruccionales de la enseñanza de la Física es estudiar si la construcción de estas representaciones se relaciona con el desempeño de los estudiantes, valorado mediante los criterios tradicionales de acreditación en exámenes de Física a nivel universitario. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de un diseño experimental. El mismo pretende generar datos sobre estos aspectos involucrados en la compleja tarea de resolución de problemas instruccionales de Física.

7.1 Hipótesis de trabajo

Parte de los objetivos de la presente investigación han estado orientados a obtener información sobre algunas características de los procesos de resolución de problemas de física. Generar una descripción del proceso de adquisición de las habilidades con el fin último de contribuir al diseño de estrategias de enseñanza que puedan favorecer mejores desempeños de los estudiantes.

En los capítulos previos se han presentado trabajos de construcción teórica necesarios para el refinamiento y definición del constructo *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* y la propuesta de clasificación de enunciados de problemas instruccionales de Física. Por otro lado, una serie de trabajos experimentales han permitido, sobre las bases teóricas previamente construidas, realizar una descripción de las características de los enunciados utilizados en la instrucción tanto a nivel de las Físicas Básicas como en las Físicas Superiores, diseñar y validar un conjunto de enunciados experimentales con características bien definidas y describir algunas características de los procesos de resolución de problemas generados por estos distintos tipos de enunciados de problemas.

Si se pretende generar una descripción del proceso de adquisición de habilidades en tareas de resolución de problemas de Física se hace necesario, a la luz de las bases teóricas que dan fundamento a esta investigación, comprender qué tipo de representaciones construyen o no los sujetos al resolver problemas de características diferentes. Más aún, si de describir el proceso de adquisición de dichas habilidades se trata, se debiera estudiar qué ocurre con esas representaciones construidas por sujetos de distinto nivel de instrucción en Física. Además, un interés particularmente ligado a los objetivos instruccionales de la enseñanza de la Física es estudiar si la construcción de estas representaciones se relaciona con el desempeño de los estudiantes, valorado mediante los criterios tradicionales de acreditación en exámenes de Física a nivel universitario.

La suposición básica que guía este parte del trabajo es que existen diferencias en los enunciados de problemas instruccionales de Física que posibilitan o inhiben el desarrollo de las habilidades cognitivas involucradas en el proceso de resolución de problemas. Estas habilidades no son innatas, por lo que los problemas que habitualmente son utilizados en las distintas asignaturas de Física a nivel universitario no resultan apropiados para desarrollar adecuadamente estas habilidades de modelado.

Es posible plantear los objetivos de este trabajo y las preguntas de investigación, presentadas en el los apartados 3.3 y 3.4 respectivamente, de manera más específica en relación al *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* y la clasificación para enunciados de problemas instruccionales de Física propuestos.

Objetivos Específicos

1. Indagar si el desempeño medido en término de habilidades de modelado guarda relación con el desempeño medido en términos de criterios tradicionales de acreditación en exámenes.
2. Estudiar características de los procesos de resolución de Problemas Definidos con sujetos de distinto nivel de instrucción.
3. Estudiar características de los procesos de resolución de *Problemas Indefinidos* con sujetos de distinto nivel de instrucción.

Hipótesis de trabajo

- **Hipótesis 7.1:** *El desempeño de los estudiantes en términos de modelado se relaciona con el desempeño valorado mediante criterios tradicionales de acreditación en exámenes de Física a nivel universitario.*
- **Hipótesis 7.2:** *Los estudiantes alcanzan muy buenos desempeños en la resolución de Problemas Definidos, independientemente de su nivel de instrucción formal.*
- **Hipótesis 7.3:** *Los estudiantes alcanzan mejores desempeños en la resolución de Problemas Definidos que en la resolución de Problemas Indefinidos, independientemente de su nivel de instrucción formal.*
- **Hipótesis 7.4:** *El desempeño de los estudiantes en la resolución de Problemas Indefinidos es independiente de su nivel de instrucción formal.*
- **Hipótesis 7.5:** *Para estudiantes que alcanzan un buen desempeño, el tiempo empleado en realizar las resoluciones disminuye a medida que aumenta el nivel de instrucción.*

7.2 Metodología

7.2.1 Construcción del Instrumento

A partir del conjunto de enunciados experimentales validados en las etapas previas se diseñó una prueba para recoger datos sobre las representaciones construidas en tareas de resolución de problemas de Física. Dicha prueba consistió en la resolución por escrito y en forma individual de dos problemas, un *Problema Indefinido* y un *Problema Definido* ambos del mismo tópico, mecánica o electricidad.

El instrumento fue diseñado en forma de cuadernillo. El mismo fue organizado en tres partes claramente diferenciadas. Una primera parte en la que se presentó la tarea mediante un texto sencillo en el cual se brindaron algunas guías cuyo objetivo principal era orientar sobre algunos requerimientos básicos que permitieran al investigador la toma de datos. En esta primera parte también se solicitó la información de carácter administrativo necesaria para determinar la pertenencia o no del sujeto a la muestra de estudio. La segunda parte del cuadernillo contenía la prueba propiamente dicha. Los problemas fueron presentados en hojas separadas, con suficiente espacio en blanco entre ellos para la resolución escrita. En la última parte del cuadernillo se incluyó una serie de preguntas en forma de encuesta para indagar sobre la percepción de los estudiantes sobre la tarea realizada. Una muestra de los cuadernillos diseñados puede consultarse en el Anexo 9.3, página 186.

En la etapa de elaboración de las pruebas, fue contrabalanceado el orden de los problemas en las mismas, esto es que la mitad de los cuadernillos presentaron las pruebas con los problemas en el orden *Problema Definido-Problema Indefinido* mientras que en la otra mitad se presentaron en el orden inverso, *Problema Indefinido-Problema Definido*. De esta

forma se pretendió compensar cualquier efecto posible que pudiera producir el orden en que son presentados los distintos tipos de problemas en la resolución de los mismos.

En principio este diseño no planteó diferencias a priori entre los distintos tópicos incluidos y la utilización de los mismos respondió a una intención de dar mayor consistencia y amplitud al estudio.

7.2.2 Pruebas de Resolución de Problemas

Las pruebas fueron tomadas al inicio del cuatrimestre correspondiente. Se utilizó el horario de clase correspondiente a una asignatura de Física del año de carrera correspondiente, con acuerdo previo de los docentes encargados de la misma. Se invitó a los estudiantes asistentes el día de clases seleccionado para participar voluntariamente de la prueba. Se les informó que la misma formaba parte de una investigación y que la participación o no de la actividad era absolutamente independiente de cualquier proceso de evaluación de la asignatura. En ningún caso los estudiantes se negaron a participar.

Las resoluciones se realizaron de manera individual y anónima. El tiempo destinado a la actividad fue de un máximo de 60 minutos informado al comienzo. En todos los casos la distribución de las distintas versiones de los cuadernillos determinadas por el orden de los problemas y los problemas involucrados, se realizó de manera aleatoria mediante un sorteo previo realizado con la lista de estudiantes. En estas intervenciones se permitió a los estudiantes entregar el cuadernillo cuando consideraran conveniente. En cada caso, se agruparon los cuadernillos según el tiempo en el cual fueron devueltos. Un primer grupo con los entregados hasta 20 minutos de comenzada la actividad, un segundo grupo con los devueltos entre los 20 y 30 minutos y un tercer grupo con los devueltos luego de transcurridos 30 minutos. En ninguno de los casos los estudiantes utilizaron más de 45 minutos para la realización de esta tarea.

7.2.3 Análisis de Registros

Con esta prueba de resolución escrita de problemas, se pretendió registrar el tipo de representaciones que realiza un estudiante en el proceso de resolución de distintos tipos de problemas. El proceso de construcción de representaciones durante la resolución de problemas es un fenómeno mental cuya observación no es directa. Debió ser inferido a partir de algunas características presentes de manera explícita en las resoluciones. Para ello fue necesario definir una variable que pudiera dar cuenta de estas distintas representaciones según se correspondan a distintos grados de elaboración y de trabajo con el *Modelo de la Situación*, con el *Modelo Físico Conceptual* y con el *Modelo Físico Formalizado*. En esta definición se empleó el conocimiento previo adquirido en la etapa de validación de enunciados, sobre las características de las resoluciones efectuadas por distintos sujetos y también estudios previos realizados en los cuales fueron definidos indicadores para el trabajo con resoluciones escritas de problemas (Truyol, 2006; Gangoso et. al. 2008).

De esta manera, uno de los supuestos sobre los que se basó este diseño es que fue considerado factible el reconocimiento de acciones que pueden ser asociadas con aquellas habilidades que hemos denominado de modelado. Asumiendo que las representaciones externas de la resolución son reflejo de las representaciones internas construidas por el sujeto, se consideró posible que estas acciones fueran reconocidas en un proceso de resolución escrito. El otro supuesto importante fue que la calidad de las representaciones depende de la

incorporación de aquellos componentes que resultan relevantes para la descripción de la situación planteada por el enunciado del problema. Por ello, las entrevistas realizadas en la etapa de validación se utilizaron en conjunto con resoluciones expertas de lápiz y papel para la determinación de esos elementos para el análisis posterior de los registros.

Para el *Modelo de la Situación* fueron determinados los objetos y eventos presentados en el enunciado, las predicciones que pueden realizarse y las suposiciones necesarias para modelar la situación. Para la representación *Modelo Físico Conceptual*, los conceptos físicos que intervienen, las interacciones entre ellos, es decir las leyes y principios y las condiciones de aplicación de estas leyes y principios. Para el *Modelo Físico Formalizado* las distintas ecuaciones que representan la situación descrita en el enunciado. También fueron determinados los resultados numéricos válidos y posibles análisis de los resultados obtenidos. A partir de estas determinaciones, fueron definidos los que serán llamados niveles de avance en la resolución de problemas. El objetivo de estos niveles, presentados en la Ilustración 7.1, fue el de poder discriminar las resoluciones escritas de los problemas en términos de la calidad de las distintas resoluciones construidas por los sujetos de manera de generar una medida de desempeño en términos de habilidades de modelado. Esta relación entre los niveles definidos y la calidad de las representaciones construidas es indicada en la Ilustración 7.2. Estas relaciones deben ser entendidas en un sentido amplio, posiblemente consideradas más como lineamientos generales a ser sometidos a revisión para cada problema considerado.

De esta manera, quedaron definidas dos de las variables que resultan centrales en esta investigación y que dieron cuenta del desempeño de los estudiantes en la prueba realizada. Estas variables fueron denominadas nivel alcanzado en la resolución de un *Problema Definido* (n_D) y nivel alcanzado en la resolución de un *Problema Indefinido* (n_I). Estas variables, que midieron desempeño en términos de modelado en un nivel ordinal, tomaron valores entre 1 y 7.

Los intereses de este estudio requerían también la obtención de datos sobre el desempeño de los estudiantes medido de la manera en la que tradicionalmente se acreditan en la institución las tareas de resolución de problemas en exámenes parciales y finales. Como esta acreditación es habitualmente realizada mediante la corrección de exámenes por parte de profesores designados para cada asignatura se convocó a un grupo de docentes con amplia experiencia para la corrección de las pruebas tomadas a los estudiantes.

Dado que se trataba de la corrección de aproximadamente 200 problemas, la tarea fue distribuida en varios profesores. Para la distribución de los problemas a corregir se separaron los cuadernillos según el tópico correspondiente, esto es mecánica y electricidad. A su vez, se subdividieron cada uno de estos grupos en dos de forma aleatoria, con lo que quedaron formados cuatro grupos de cuadernillos. Cada corrector debía corregir solo un problema de cada cuadernillo, la versión de Problema Definido o la versión del Problema Indefinido de la misma situación física base. De esta forma, para completar la corrección, el mismo grupo de cuadernillos fue asignado a dos correctores. Un esquema explicativo de esta distribución puede encontrarse en la Ilustración 7.1. Las instrucciones dadas a los correctores fueron sencillas. Solamente se solicitó que evaluaran las resoluciones como si formaran parte de un examen. Se dejó a criterio del corrector la escala a utilizar, con lo cual algunos trabajaron con porcentajes, notas entre 0 y 10 y fracciones de la unidad. Todas estas escalas utilizadas resultaron fácilmente reducibles a la escala tradicional de calificación (1-10) modificada para incluir el 0 ya que fue utilizada por los profesores.

Ilustración 7.1: Definición de niveles en la resolución de un problema en términos del Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física

	Nivel VII	Nivel VI	Nivel V	Nivel IV	Nivel III	Nivel II	Nivel I
<i>Condiciones de aplicación del Modelo Físico</i>	Todas	Las principales	Pocas	Muy pocas/ Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
<i>Uso del Modelo Físico</i>	Justifica el uso del modelo Físico apropiado.	Justifica parcialmente el uso del modelo Físico apropiado.	No justifica el uso del modelo Físico apropiado.	No justifica la utilización de un modelo Físico.	Justifica la utilización de un modelo Físico incorrecto.	No justifica la utilización de un modelo Físico incorrecto.	No utiliza ningún modelo Físico claramente.
<i>Formalización del Modelo Físico</i>	En correspondencia con el modelo Físico justificado.	En correspondencia con el modelo Físico justificado.	En correspondencia con el modelo Físico apropiado.	En correspondencia con el modelo Físico apropiado (incluye posibilidad de error menor).	De manera inconexa con el modelo Físico (incorrecto) planteado.	De manera inconexa con el modelo Físico (incorrecto) planteado.	No formaliza.
<i>Cálculos</i>	Realizados sin errores.	Realizados sin errores.	Realizados sin/con errores.	Realizados con algún error. (incluida la posibilidad de no concluir)	Realizados con/sin algún error.	Realizados con algún error.	No calcula.
<i>Comentarios o análisis de resultados</i>	Sustanciales y pertinentes.	Si realiza.	Si/No realiza.	No realiza.	Si/No realiza.	No realiza.	No realiza o su resolución solo se reduce a comentarios muy

Ilustración 7.2: Relación entre Niveles en la resolución de un problema y representaciones construidas del Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física

n	Modelo de la Situación MS	Modelado Físico FI	Modelo Físico Conceptual FC	Instanciación I	Modelado Formal FO	Modelo Físico Formalizado FF	Interpretación Física IF
7	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
6	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
5	Insuficiente	Insuficiente	Aceptable	Insuficiente	Aceptable	Aceptable	Insuficiente
4	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3	Deficiente	Deficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Deficiente
2	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente
1	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente

De esta manera quedaron definidas las restantes variables que proporcionaron información sobre el desempeño de los estudiantes en la resolución de los problemas utilizados. Estas variables fueron denominadas puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) y puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I). Estas variables midieron el desempeño en términos tradicionales de acreditación y su rango de valores fue entre 0 y 10.

Ilustración 7.3: Esquema de distribución para corrección de problemas.

Mecánica N= 56	Grupo 1 N=28	Corrector 1	$P1_D/P1_I$
		Corrector 2	$P2_D/P2_I$
	Grupo 2 N=28	Corrector 3	$P1_D/P1_I$
		Corrector 4	$P2_D/P2_I$
Electricidad N= 42	Grupo 3 N=21	Corrector 5	$P1_D/P1_I$
		Corrector 6	$P2_D/P2_I$
	Grupo 4 N=21	Corrector 7	$P1_D/P1_I$
		Corrector 8	$P2_D/P2_I$

7.2.4 Muestra

Los problemas incluidos en la prueba correspondieron a distintos tópicos de Física básica. Se requirió que los estudiantes ya hubieran recibido instrucción formal en esos temas al momento de la realización de la misma. Los problemas de mecánica se corresponden con temas enseñados en el segundo cuatrimestre de primer año y los problemas de electricidad con temas enseñados en el segundo cuatrimestre de segundo año. Por lo tanto los cuadernillos preparados con pruebas en temas de mecánica fueron empleados en una muestra accidental de estudiantes del primer cuatrimestre de segundo año. En cambio, los preparados con pruebas con problemas de electricidad fueron empleados en una muestra accidental de

estudiantes del primer cuatrimestre de tercer año. Para complementar con estudiantes de cursos más avanzados, se trabajó con una muestra accidental de estudiantes del primer cuatrimestre de cuarto año, los cuales resolvieron pruebas con problemas de mecánica o pruebas con problemas de electricidad que fueron distribuidos aleatoriamente y en iguales cantidades.

En el estudio que se reporta, se trabajó con una muestra accidental de 91 estudiantes que se correspondieron con tres grupos distintos en relación a su nivel de instrucción formal en Física. Para este estudio, el nivel de instrucción quedó definido por el año de carrera que el estudiante se encontraba cursando. De esta manera, el nivel de instrucción fue representado mediante la variable ordinal *Año de Carrera*. La distribución de la muestra de estudiantes según su nivel de instrucción puede ser consultada en Tabla 6.10. El total de sujetos que participó de la prueba fueron 98 estudiantes. Seis de las pruebas fueron descartadas por no contener la resolución de alguno de los problemas y la restante porque el estudiante informó que se encontraba cursando la materia necesaria para resolver los problemas.

La distribución de cuadernillos para esta muestra de sujetos quedó finalmente constituida por 38 cuadernillos de electricidad y 53 cuadernillos de mecánica (Tabla 7.2). La diferencia de cantidad fue debido a que la cantidad de estudiantes disponibles en segundo año, que resolvieron problemas de mecánica, fue superior a la cantidad de estudiantes de tercer año. Pero como fue mencionado anteriormente, esto no constituyó ningún inconveniente para este trabajo ya que no se consideran a priori diferencias entre tópicos. Sin embargo, fue posible realizar a posteriori un análisis de la influencia del tópico en el desempeño de los estudiantes. Por ello, se representó mediante la variable nominal *Tópico* el tema de los problemas resueltos por cada sujeto.

También resultó objeto de control el hecho del balance ejecutado en el orden de los tipos de problemas. En este sentido, es posible observar en la Tabla 7.3 que la muestra quedó con muy buena distribución. Para la realización de un estudio sobre la posible influencia del orden de los problemas en el desempeño de los estudiantes en la resolución de los mismos, se definió la variable *Orden del Problema* la cual guardó la información del orden del *Problema Definido* en la prueba resuelta por el estudiante correspondiente.

La información provista por los estudiantes con respecto a su situación con respecto a la materia en las cual debían haber sido enseñados los contenidos necesarios para resolver los contenidos del cuadernillo fue almacenada en la variable Situación en Asignatura. En la Tabla 7.4 es posible observar que el 76% de los estudiantes ya habían rendido y aprobado la misma.

Tabla 7.1: Distribución de la muestra de estudiantes según la variable *Año de Carrera* (N=91).

<i>Año de carrera</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
2	45	49,5	49,5
3	31	34,1	83,5
4	15	16,5	100,0
Total	91	100,0	

Por último, en relación a los grupos que fueron construidos en relación al tiempo transcurrido entre el comienzo de la tarea y la entrega del cuadernillo al investigador por parte del estudiante, se tomó esa información asumiendo que era posible considerarlo como el tiempo que el estudiante había destinado a la resolución. Para ello se considera la variable ordinal *Grupo Temporal* que puede tomar los siguientes valores: 1: $t < 20'$; 2: $20' < t < 30'$ y 3:

$t > 30'$. Se recuerda en este punto que en ninguno de los casos los estudiantes superaron los 45 minutos para la realización de la tarea de resolución. La distribución de los sujetos de la muestra considerada es presentada en Tabla 7.5.

Tabla 7.2: Distribución de la muestra de estudiantes según la variable *Tópico* (N=91).

<i>Tópico</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
electricidad	38	41,8	41,8
mecánica	53	58,2	100,0
Total	91	100,0	

Tabla 7.3: Distribución de la muestra de estudiantes según la variable *Orden del Problema* (N=91).

<i>Orden del Problema</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1: PD - PI	46	50,5	50,5
2: PI - PD	45	49,5	100,0
Total	91	100,0	

El estudio así planteado permitió la construcción de una matriz de datos con las características del ejemplo presentado en Tabla 7.6. A partir de los datos contenidos en esa matriz fueron realizados los distintos análisis orientados a dar respuestas a las preguntas que guían la presente investigación.

Tabla 7.4: Distribución de la muestra de estudiantes según la variable *Situación en Asignatura* (N=91).

<i>Situación en asignatura</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
cursada	10	11,0	11,0
regularizada	12	13,2	24,2
aprobada	69	75,8	100,0
Total	91	100,0	

Tabla 7.5: Distribución de la muestra de estudiantes según la variable *Grupo temporal* (N=91).

<i>Grupo temporal</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	21	23,1	23,1
2	40	44,0	67,0
3	30	33,0	100,0
Total	91	100,0	

Tabla 7.6: Ejemplo de Matriz de Datos construida para el estudio (N=91).

Sujeto	Tópico	Año de carrera	Situación en asignatura	Grupo temporal	Orden del Problema	n_i	p_i	n_D	p_D
elec_1	electricidad	3	2	1	1	1	0	2	7
mec_1	mecánica	2	2	1	1	1	1	1	0
elec_2	electricidad	4	3	2	2	5	5	6	10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
mec_53	mecánica	4	3	3	2	4	8	6	9

7.2.5 Resguardos metodológicos

En la presente sección se muestran algunos resultados obtenidos que tienen que ver con resguardos de tipo metodológico que fueron realizados para ejecución de la presente investigación.

La fiabilidad de los criterios de asignación de *niveles de desempeño* alcanzados en los protocolos escritos fue verificada utilizando dos correctores actuando en una muestra aleatoria de 40 pruebas. Fue obtenido un índice de concordancia Kappa $\kappa = 0,739$ con $s(\kappa) = 0,082$.

Se analizó la existencia de correlación entre las variables que midieron desempeño en términos de habilidades de modelado y las que midieron desempeño de la manera tradicional. Se encontró una asociación lineal estadísticamente significativa, moderada y directamente proporcional, $\rho = 0,744$, $p < 0,01$ (Tabla 7.7), entre el nivel alcanzado (n_D) y el puntaje obtenido (p_D) en la resolución de *Problemas Definidos* (Gráfico 7.1). Esto quiere decir que los sujetos que alcanzan niveles altos en la resolución de *Problemas Definidos* tienden a obtener también altos puntajes, mientras que los que alcanzan niveles bajos tienen tendencia a obtener bajos puntajes en la resolución de este tipo de problemas. Se encontró también una asociación lineal estadísticamente significativa, moderada y directamente proporcional, $\rho = 0,732$, $p < 0,01$ (Tabla 7.7), entre el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i) y el puntaje obtenido (p_i) en la resolución de *Problemas Indefinidos* (Gráfico 7.2). Esto quiere decir que los sujetos que alcanzan niveles altos en la resolución de *Problemas Indefinidos* tienden a obtener altos puntajes, mientras que los que alcanzan niveles bajos puntúan bajo.

Es de interés analizar si esta relación entre las variables se encuentra influenciada por alguna de las otras variables que intervienen en este estudio. Para ello se realizan pruebas de correlación parcial en las cuales se controla los valores obtenidos para los coeficientes de correlación por la posible influencia de una tercera variable sobre alguna de las variables que se correlacionan. En caso de existir esta influencia, los valores de los coeficientes de correlación encontrados deben mostrar una disminución considerable. Se realizaron entonces pruebas de correlación parcial controlando por las variables *Año de Carrera*, *Situación en la Asignatura* y *Grupo Temporal* (Tabla 7.7).

Tabla 7.7: Correlación de Spearman y correlaciones parciales.

		$n_I - p_I$	$n_D - p_D$
Correlación de Spearman	Correlación	,748(**)	,719(**)
	Sig. (2 colas)	,000	,000
	N	91	91
Control: Año de Carrera	Correlación	,742(**)	,735(**)
	Sig. (2 colas)	,000	,000
	df	88	88
Control: Situación en la Asignatura	Correlación	,743(**)	,733(**)
	Sig. (2 colas)	,000	,000
	df	88	88
Control: Grupo Temporal	Correlación	,743(**)	,736(**)
	Sig. (2 colas)	,000	,000
	df	88	88

** Correlación significativa con $\alpha = 0.01$ (2 colas).

Las asociaciones lineales estadísticamente significativas encontradas no son más que una muestra de la coherencia de la propuesta para medir desempeños. Es de esperar que una medida de la calidad de los modelos o representaciones construidos en el proceso de resolución del problema debiera reflejar el desempeño del estudiante en la tarea. Esto nos permitió verificar la Hipótesis 7.1: *El desempeño de los estudiantes en términos de modelado se relaciona con el desempeño valorado mediante criterios tradicionales de acreditación en exámenes de Física a nivel universitario*. Esta hipótesis es de corte netamente metodológico. Su comprobación habilita el camino para la realización de cualquier otro análisis de los datos obtenidos.

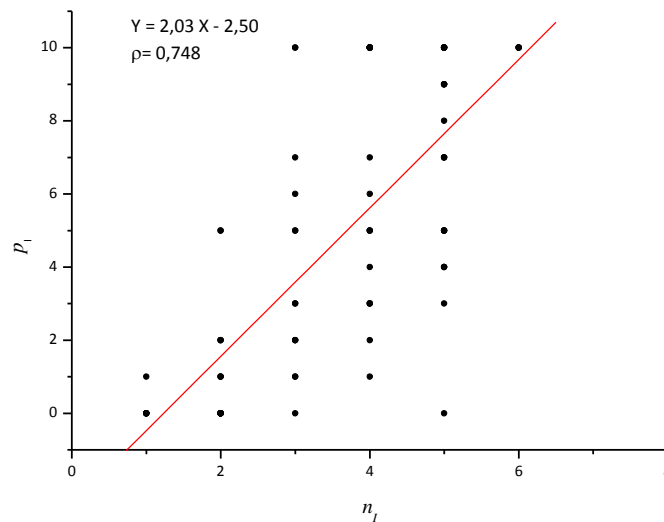


Gráfico 7.1: Correlación lineal – Coeficiente de Spearman –(n_I , p_I)

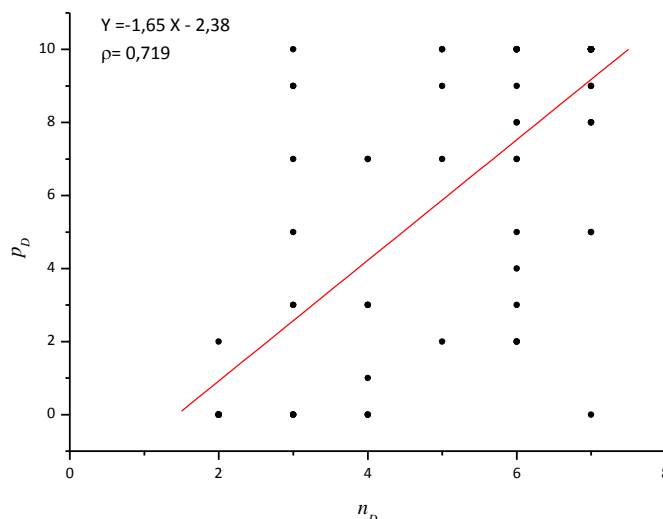


Gráfico 7.2: Correlación lineal – Coeficiente de Spearman $-(n_D, p_D)$

En la etapa de elaboración de los cuadernillos para las pruebas, se contrabalanceó el orden de los problemas en los mismos, esto es que la mitad de los cuadernillos presentaron los problemas en el orden *Problema Definido-Problema Indefinido* mientras que en la otra mitad se presentaron en el orden inverso, *Problema Indefinido-Problema Definido*. De esta forma se intentó compensar cualquier efecto posible que pudiera producir el orden en que son presentados los distintos tipos de problemas. No obstante, para verificar, se realizó una prueba de Mann-Whitney para evaluar la existencia o no de un efecto debido al orden de los problemas en las variables que miden desempeño: nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I), puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) y puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I). Como puede ser observado en la Tabla 7.8, esta prueba no arrojó diferencias significativas en ningún caso, por lo que se descarta la existencia de algún tipo de efecto de orden de presentación de los distintos tipos de problemas en este estudio.

Tabla 7.8: Prueba Mann-Whitney – Variable de agrupamiento *Orden del problema* – Niveles (n_D y n_I) y puntajes (p_D y p_I) (N=91).

	n_I	p_I	n_D	p_D
Z	-1,019	-,516	-,091	-,926
Sig. Asint. (2 colas)	,308	,606	,928	,354

De acuerdo al diseño del instrumento, sólo se consideró la inclusión de tópicos diferentes para dar mayor consistencia y amplitud al estudio. Según como se realizó la distribución de tópicos en los distintos años de carrera, es de esperar que los niveles de desempeño, al menos en los *Problemas Definidos*, no dependan del tópico considerado. El análisis estadístico utilizando Mann-Witney no mostró diferencias significativas para ninguna de las variables asociadas al desempeño (Tabla 7.9). Para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I), $z = -1,066$, $p = 0,286$; para el puntaje obtenido en la resolución de

Problemas Indefinidos (p_i), $z = -0,584$, $p = 0,559$; para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $z = -0,602$, $p = 0,547$ y para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) $z = -0,206$, $p = 0,837$. Esto indica que no se evidencia una relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes y el tópico abarcado en la prueba.

Tabla 7.9: Prueba Mann-Whitney – Variable de agrupamiento *Tópico* – Niveles (n_D y n_I) y puntajes (p_D y p_I) (N=91).

	n_I	p_I	n_D	p_D
Z	-1,066	-,584	-,602	-,206
Sig. Asint. (2 colas)	,286	,559	,547	,837

También es de interés analizar si el desempeño en resolución de *Problemas Definidos e Indefinidos*, tanto en nivel alcanzado (n_D y n_I) como en puntaje obtenido (p_D y p_I), está relacionada con la situación del sujeto con respecto a la asignatura en la cual fue enseñado el tema abarcado en la prueba (cursada, regularizada o aprobada). Nuevamente, por el diseño del estudio, es de esperar que al menos el desempeño en la resolución de *Problemas Definidos* no presente relación con la historia académica del sujeto. El análisis estadístico utilizando Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas en ningún caso (Tabla 6.13). Para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I) se obtuvo $\chi^2(2, N=91) = 2,679$, $p = 0,262$; para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I), $\chi^2(2, N=91) = 1,092$, $p = 0,579$; en el caso del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $\chi^2(2, N=91) = 2,387$, $p = 0,303$ y para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $\chi^2(2, N=91) = 0,730$, $p = 0,694$. Esto estaría señalando que no existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de estos estudiantes y su situación en la asignatura correspondiente.

Tabla 7.10: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Situación en Asignatura* – Niveles (n_D y n_I) y puntajes (p_D y p_I) (N=91).

	n_I	p_I	n_D	p_D
Chi-Cuadrado	2,679	1,092	2,387	,730
df	2	2	2	2
Sig. Asint.	0,262	0,579	0,303	0,694

Habiendo presentado algunas garantías en cuanto a la construcción del diseño experimental, se presentan en la sección siguiente los resultados obtenidos.

7.3 Resultados y Análisis

7.3.1 Resultados sobre la muestra completa de estudiantes

Descripción de la muestra

Es posible realizar un primer análisis descriptivo de la muestra de estudiantes considerada en esta parte de la investigación (N=91). Al trabajar con variables cuantitativas ordinales, niveles alcanzados (n_i y n_D) y puntajes obtenidos (p_i y p_D), las mismas se caracterizaron mediante su valor modal (m) y su rango (r) presentados en Tabla 7.11. En Tabla 7.12, Tabla 7.13, Tabla 7.14 y Tabla 7.15 pueden ser consultados los valores obtenidos para las frecuencias de las variables nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i), nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), puntaje asignado a la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_i) y puntaje asignado en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) respectivamente.

El nivel asignado a la resolución de los *Problemas Indefinidos*, resultó caracterizado para el total de la muestra de estudiantes con un valor modal $m_{n_i} = 5$ y un rango $r_{n_i} = 5$. Aproximadamente el 26 % de los sujetos, independiente de su nivel de instrucción, realizaron resoluciones que alcanzaron el nivel 5 para los *Problemas Indefinidos*, mientras que solo el 5 % alcanzaron un nivel 6. Casi un 53 % de los sujetos efectúan resoluciones que alcanzan niveles que podrían ser considerados suficientes para aprobar (Tabla 7.12).

Tabla 7.11: Valores modales y rangos para niveles y puntajes asignados (N=91).

Variable	Moda (m)	Rango (r)
n_i	5	5
p_i	10	10
n_D	7	5
p_D	10	10

Para el caso del nivel asignado a la resolución de los *Problemas Definidos*, resultó con una moda $m_{n_D} = 7$ y un rango $r_{n_D} = 5$. Aproximadamente un 38% realizaron resoluciones de *Problemas Definidos* que alcanzaron el nivel 7, el más alto, y un 23% alcanzaron el nivel 6. El 77% de los estudiantes realizaron resoluciones de *Problemas Definidos* que alcanzaron niveles con los cuales podría considerarse que aprueban la resolución (Tabla 7.13).

El puntaje asignado por correctores expertos a la resolución de los *Problemas Indefinidos* para el total de la muestra de estudiantes quedó caracterizado con una moda $m_{p_i} = 10$ y un rango $r_{p_i} = 10$. Esto es, el 24% de los sujetos obtuvieron un puntaje de 10 en la resolución de *Problemas Indefinidos*, es decir la puntuación más alta asignada por los correctores. Sin embargo, casi un 32% de los sujetos han obtenido puntajes 0 y 1, los más bajos asignados. Aproximadamente el 54% de los sujetos obtuvieron puntajes que permitirían considerar que aprueban la resolución de estos *Problemas Indefinidos* (Tabla 7.14).

Tabla 7.12: Nivel obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* – Frecuencias, porcentajes y porcentajes acumulados (N=91).

n_i	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	7	7,7	7,7
2	21	23,1	30,8
3	15	16,5	47,3
4	19	20,9	68,1
5	24	26,4	94,5
6	5	5,5	100,0
7	0	0,0	100,0
Total	91	100,0	

Tabla 7.13: Nivel obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* – Frecuencias, porcentajes y porcentajes acumulados (N=91).

n_D	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0	0,0	0,0
2	9	9,9	9,9
3	12	13,2	23,1
4	9	9,9	33,0
5	5	5,5	38,5
6	21	23,1	61,5
7	35	38,5	100,0
Total	91	100,0	

Tabla 7.14: Puntaje asignado en la resolución de *Problemas Indefinidos* – Frecuencias, porcentajes y porcentajes acumulados (N=91).

p_i	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	21	23,1	23,1
1	8	8,8	31,9
2	7	7,7	39,6
3	6	6,6	46,2
4	4	4,4	50,5
5	11	12,1	62,6
6	2	2,2	64,8
7	5	5,5	70,3
8	1	1,1	71,4
9	4	4,4	75,8
10	22	24,2	100,0
Total	91	100,0	

En cuanto al puntaje asignado por los correctores externos a las resoluciones de los *Problemas Definidos*, la muestra de estudiantes resultó caracterizada por un valor modal $m_{p_D} = 10$ y un rango $r_{p_D} = 10$. Aproximadamente el 43% de los estudiantes obtuvo el máximo puntaje asignado, mientras que cerca del 20% obtuvo los menores puntajes asignados (0 y 1). Aproximadamente el 68% de los estudiantes obtuvo un puntaje con el cual es posible considerar que aprueban la resolución del *Problema Definido* (Tabla 6.15).

Tabla 7.15: Puntaje asignado en la resolución de *Problemas Definidos* – Frecuencias, porcentajes y porcentajes acumulados (N=91).

p_D	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0	17	18,7	18,7
1	1	1,1	19,8
2	5	5,5	25,3
3	6	6,6	31,9
4	1	1,1	33,0
5	4	4,4	37,4
7	7	7,7	45,1
8	5	5,5	50,5
9	6	6,6	57,1
10	39	42,9	100,0
Total	91	100,0	

Comparación entre desempeños

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon fue realizada para evaluar si los sujetos presentan diferencias significativas entre los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D) y los niveles alcanzados en la resolución *Problemas Indefinidos* (n_I). Los resultados indican una diferencia significativa, $z = -6,099$ con $p < 0,001$ (Tabla 7.16). La media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* ($n_D > n_I$) resultó de 43,65 mientras que la media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($n_I > n_D$) resultó de 35,63. Es posible observar en la Tabla 7.17 que el porcentaje de sujetos para los cuales el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* en relación al nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* es mayor un 79 % ($n_D > n_I$) y menor un 13 % ($n_D < n_I$).

También se realizó el test de Wilcoxon para evaluar si los sujetos presentan diferencias significativas entre los puntajes obtenidos en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) y los puntajes obtenidos en la resolución *Problemas Indefinidos* (p_I). Los resultados presentados en la Tabla 7.16 muestran una diferencia significativa, $z = -3,205$, $p = 0,001$. La media de rangos a favor del puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* ($p_D > p_I$) resultó de 38,85 mientras que la media de rangos a favor del puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($p_I > p_D$) resultó de 34,50. Es posible observar en la Tabla 7.18 que el porcentaje de sujetos para los cuales el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* es superior en relación al puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* es de un 56 % ($p_D > p_I$) y es menor en un 25 % ($p_D < p_I$).

Estos resultados en conjunto permiten afirmar que los sujetos pertenecientes a la muestra presentaron mejor desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, tanto si el desempeño es considerado en términos de habilidades de modelado como si es considerado en la forma tradicional de acreditación.

Tabla 7.16: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – Entre niveles ($n_D - n_I$) y entre puntajes ($p_D - p_I$)

N = 91	$n_D - n_I$	$p_D - p_I$
Z	-6,099 ^(a)	-3,205 ^(a)
Sig. asint. (2 colas)	0,000	0,001

^a Basado en rangos negativos.

Tabla 7.17: Rangos – Entre niveles ($n_D - n_I$) (N=91).

	Frecuencia	Porcentaje
$n_D < n_I$	12	13,19
$n_D > n_I$	72	79,12
$n_D = n_I$	7	7,69
Total	91	100

Tabla 7.18: Rangos – Entre puntajes ($p_D - p_I$) (N=91).

	Frecuencia	Porcentaje
$p_D < p_I$	23	25,27
$p_D > p_I$	51	56,04
$p_D = p_I$	17	18,68
Total	91	100

Desempeños y Año de Carrera

Se desea conocer si el desempeño en resolución de Problemas Definidos e *Indefinidos*, tanto en nivel alcanzado (n_D y n_I) como en puntaje obtenido (p_D y p_I), guarda relación con el nivel de instrucción del sujeto, esto es con el año de carrera en el cual se encuentra. El análisis estadístico utilizando Kruskal-Wallis no mostró diferencias estadísticamente significativas en ningún caso (Tabla 7.19). Para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I) se obtuvo $\chi^2(2, N=91)=1,842$, $p=0,398$; por su parte para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I), $\chi^2(2, N=91)=0,922$, $p=0,631$; para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $\chi^2(2, N=91)=0,384$, $p=0,825$ y para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $\chi^2(2, N=91)=2,777$, $p=0,249$. Estos resultados indican que, en principio, el desempeño de los estudiantes pertenecientes a la muestra no depende de su nivel de instrucción formal, ya sea si es considerado en términos de habilidades de modelado, como en la forma tradicional de acreditación.

Tabla 7.19: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Año de Carrera* – Niveles (n_D y n_I) y puntajes (p_D y p_I) (N=91).

	n_I	p_I	n_D	p_D
Chi-Cuadrado	1,842	0,922	,384	2,777
df	2	2	2	2
Sig. Asint.	0,398	0,631	0,825	0,249

Desempeños y Grupo Temporal

Resulta de interés estudiar también si el desempeño en resolución de *Problemas Definidos* e *Indefinidos*, tanto en nivel alcanzado (n_D y n_I) como en puntaje obtenido (p_D y p_I), guarda alguna relación con el tiempo empleado en la resolución. Se compararon los niveles alcanzados y las puntuaciones obtenidas para las resoluciones de los *Problemas Definidos* e *Indefinidos* en relación al grupo temporal al que pertenecen los sujetos (Tabla 7.20). El análisis estadístico utilizando Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I), $\chi^2(2,N=91)=1,312$, $p=0,519$; ni para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $\chi^2(2,N=91)=2,551$, $p=0,279$; ni en el caso del puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I), $\chi^2(2,N=91)=1,523$, $p=0,465$ y tampoco para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $\chi^2(2,N=91)=0,238$, $p=0,888$. Con estos resultados podemos decir que no existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes y el tiempo empleado en la resolución.

Tabla 7.20: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Grupo Temporal* – Niveles (n_D y n_I) y puntajes (p_D y p_I) (N=91).

	n_I	p_I	n_D	p_D
Chi-Cuadrado	1,312	1,532	2,551	,238
df	2	2	2	2
Sig. Asint.	0,519	0,465	0,279	0,888

7.3.2 Análisis de resultados sobre la muestra completa de estudiantes

Se hace necesario en este punto realizar un resumen de los resultados presentados hasta el momento. Esto permitirá analizar la información hasta aquí obtenida y por consiguiente orientar los trabajos siguientes.

En pocas palabras, los resultados obtenidos hasta este punto son los siguientes:

- Se obtuvo una asociación lineal moderada y directamente proporcional entre n_D y p_D .
- Se obtuvo una asociación lineal moderada y directamente proporcional entre n_I y p_I .
- Se descartó el efecto que sobre estas asociaciones pudieran tener:
 - El nivel de instrucción (*Año de Carrera*)
 - El historial académico (*Situación en Asignatura*)
 - El tiempo empleado en la resolución (*Grupo Temporal*)
 - El tema abarcado en la prueba (*Tópico*)

- No existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes ya sea medido en términos de habilidades de modelado como de la manera tradicional y el historial académico (*Situación en Asignatura*).
- No existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes ya sea medido en términos de habilidades de modelado como de la manera tradicional y el tema abarcado en la prueba (*Tópico*).
- La mayoría de los estudiantes presentaron un elevado desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, representado por los valores modales de las variables niveles alcanzados y puntajes obtenidos.
- Los sujetos presentaron mejor desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, tanto si el desempeño es considerado en términos de habilidades de modelado como si es considerado en la forma tradicional de acreditación.
- No existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes ya sea medido en términos de habilidades de modelado como de la manera tradicional y el nivel de instrucción (*Año de Carrera*).
- No existe relación estadísticamente significativa entre el desempeño de los estudiantes ya sea medido en términos de habilidades de modelado como de la manera tradicional y el tiempo empleado en la resolución (*Grupo Temporal*).

En cuanto a las asociaciones lineales que fueron encontradas entre el nivel alcanzado en la resolución del *Problema Definido* y el puntaje obtenido en la resolución del *Problema Definido* ($n_D - p_D$) y la encontrada entre el nivel alcanzado en la resolución del *Problema Definido* y el puntaje obtenido en la resolución del *Problema Definido* ($n_I - p_I$) son resultados que vienen de alguna manera a sostener la propuesta teórica de este trabajo.

Sin lugar a dudas, la resolución de problemas es la actividad elegida por excelencia para acreditar institucionalmente el nivel de desempeño de los estudiantes. Se ha propuesto a la resolución de problemas en Física como una actividad ligada esencialmente al modelado. Eso implica que cualquier medida de la calidad de los modelos o representaciones construidos en el proceso de resolución del problema debiera reflejar el desempeño del estudiante en la tarea. Es por esto, que la asociación lineal estadísticamente significativa entre una variable que mide desempeño en términos de habilidades de modelado y una que mide desempeño de la manera tradicional no es más que una muestra de la coherencia de la propuesta.

El coeficiente de correlación obtenido en ambos casos resulta entre moderado y alto. Además resultó positivo, lo que indica una relación directamente proporcional entre las variables, como era de esperar. Más aún, mediante la técnica de control estadístico de correlación parcial, se pudo verificar que el grado de relación lineal entre estas variables no presenta efectos atribuibles a las otras variables intervinientes. Esto quiere decir que la relación entre niveles alcanzados y puntajes obtenidos no se ve afectado por el nivel de instrucción, ni por la historia académica, ni por el tema, ni por el tiempo empleado en la tarea de resolución. Esto último estaría señalando de una manera algo indirecta, que ni los niveles alcanzados ni los puntajes obtenidos se encuentran afectados por las otras variables involucradas en este estudio. Estos resultados han permitido comprobar la **Hipótesis 7.1: El desempeño de los estudiantes en términos de modelado se relaciona con el desempeño valorado mediante criterios tradicionales de acreditación en exámenes de Física a nivel universitario.**

Fueron realizadas pruebas estadísticas que permitieron obtener más información sobre las relaciones entre las variables estudiadas. Estos resultados indicaron que los niveles alcanzados en la resolución de los *Problemas Definidos* e *Indefinidos* (n_D y n_I) no guardan relación con las variables *Tópico* y *Situación en Asignatura*. La misma falta de relación se encuentra para los puntajes obtenidos (p_D y p_I) en la resolución de los problemas. Dicho en otros términos, el desempeño de los estudiantes que constituyeron esta muestra y

enfrentados a estos problemas, resultó independiente del tema al cual pertenecieron los problemas y de su historial académico.

Como se mencionó anteriormente en este capítulo debe mencionar que era esperado que el tema al cual pertenecen los problemas incluidos en los cuadernillos no provocara diferencias significativas en el desempeño de los estudiantes. Este supuesto estuvo basado fundamentalmente en las características del diseño experimental. Tanto los problemas de mecánica como los problemas de electricidad fueron utilizados con estudiantes para los cuales era posible suponer que contaban con el conocimiento necesario para afrontar la tarea. Por un lado, en los dos cursos inferiores, a ambos grupos de estudiantes se les hizo resolver problemas correspondientes a los temas tradicionales de una asignatura perteneciente al cuatrimestre inmediatamente anterior al de la asignatura que se encontraban cursando y en la cual se estaba realizando la intervención. Con esto, era factible suponer una igualdad de condiciones para ambos grupos en relación al tema. Por otro lado, en el caso de los estudiantes del curso superior, la distribución aleatoria y en partes iguales de cuadernillos de mecánica y cuadernillos de electricidad generó la misma situación de igualdad de condiciones.

Este supuesto de igualdad de condiciones para los estudiantes en relación a la tarea es apoyado por los resultados obtenidos en relación a la variable *Situación en Asignatura*. En la muestra total de estudiantes, el 76% de ellos declaró haber aprobado la asignatura que cubría los temas incluidos en el cuadernillo. Además, la prueba estadística realizada arrojó resultados que indicaron que no hay efectos estadísticamente significativos de esta condición sobre el desempeño de los estudiantes.

La mayoría de los estudiantes presentaron un elevado desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, representado por los valores modales de las variables nivel alcanzado (n_D) y puntaje obtenido (p_D). En ambos casos los valores modales resultaron ser los valores más altos de las escalas, 7 y 10 respectivamente. Aproximadamente el 38% de los estudiantes alcanzaron el nivel 7 mientras que un 43% obtuvo como puntaje 10. El 62% de los estudiantes alcanzaron los niveles 6 y 7 y un 55% obtuvieron notas superiores a 8. Estos resultados se encuentran en acuerdo con la **Hipótesis 7.2**: *Los estudiantes alcanzan muy buenos desempeños en la resolución de Problemas Definidos, independientemente de su nivel de instrucción formal.*

El resultado que más se destaca hasta el momento es el que señala que los sujetos presentaron mejor desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, tanto si el desempeño es considerado en términos de habilidades de modelado como si es considerado en la forma tradicional de acreditación. Este hecho permite verificar la **Hipótesis 7.3**: *Los estudiantes alcanzan mejores desempeños en la resolución de Problemas Definidos que en la resolución de Problemas Indefinidos, independientemente de su nivel de instrucción formal.*

Cerca del 80% de los estudiantes presentaron niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Definidos* mayores que los alcanzados en los *Problemas Indefinidos* ($n_D > n_I$). Esto significa que los estudiantes fueron capaces de resolver problemas con enunciados que presentaron de manera explícita el modelo Físico necesario para resolver, pero no fueron igualmente hábiles para resolver problemas similares presentados con enunciados que describen situaciones a partir de objetos y eventos cotidianos.

En este sentido es interesante recordar que el valor modal para el nivel asignado a la resolución de los *Problemas Indefinidos*, resultó caracterizado por $m_{n_I} = 5$. Aproximadamente el 26 % de los sujetos, independientemente de su nivel de instrucción, realizaron resoluciones que alcanzaron el nivel 5 para los *Problemas Indefinidos*, mientras que solo un 5% alcanzó un nivel 6. Es para destacar que, según la Ilustración 7.1, el Nivel 5 está caracterizado por:

- *Pocas condiciones de aplicación del Modelo Físico Conceptual*
- *Sin justificación del Modelo Físico Conceptual apropiado*
- *Formalización del modelo Físico Conceptual apropiado*
- *Cálculos realizados correctamente o con errores menores*
- *Con mínimos comentarios o análisis de resultados*

De acuerdo a la relación entre estos niveles y las representaciones construidas del *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*, Ilustración 7.2, es posible observar que el Nivel 5 se caracteriza solo por alcanzar un nivel aceptable en la construcción del *Modelo Físico Conceptual* y el *Modelo Físico Formalizado*, mientras que la única habilidad de modelado que presenta nivel aceptable es la de *modelado formal*.

Podría pensarse en este punto que debido a las limitaciones de los registros escritos las suposiciones realizadas no fueron escritas por los resolutores. Sin embargo, hay que destacar que dentro de las instrucciones que se les presentó en la primera parte del cuadernillo se les solicitó escribir lo que pensaban mientras resolvían. En particular, en dos de las consignas se les solicitó *“anotar claramente todas aquellas suposiciones realizadas para avanzar en la resolución”* y la de *“no borrar nada de lo escrito. De ser necesario alguna corrección, solo tachar con una cruz lo que no corresponda”*. El cumplimiento de la segunda consigna mencionada fue evidenciado en los cuadernillos, en los que es posible encontrar las indicaciones sobre partes de las resoluciones que no corresponden. Entonces, se considera que las condiciones de la tarea fueron comprendidas. De esta manera es posible asumir que aquello no escrito también constituye un dato.

Probablemente la falta de indicaciones explícitas sobre las suposiciones realizadas para poder aplicar el modelo físico correspondiente no sean debido a que desconozcan la existencia de condiciones de aplicación y límites de validez del mismo. Como se ha mencionado en varias oportunidades, hay habilidades que no son innatas, y que si no son puestas en juego no se desarrollan. En este sentido, a estos estudiantes nunca se los ha puesto en la tarea de seleccionar un modelo físico para resolver un problema, ni a evaluar las condiciones en las cuales un modelo resulta más conveniente que otro. Más aún, se ha demostrado en la sección 6.2, que los problemas habitualmente utilizados en las Físicas Básicas están presentados en lenguaje cotidiano, con objetos y eventos no modelados, pero con características y propiedades de estos objetos y eventos debidamente modeladas. El modelo físico para resolver el problema nunca fue cuestionado. Nunca fue necesario suponer explícitamente los autos como masas puntuales para resolver problemas de choque, ni despreciar el rozamiento del aire en el movimiento de un proyectil. Puede que el dato de lo *no escrito* esté relacionado con esta cuestión. La ausencia de tareas en las que explícitamente sean puestas de manifiesto las acciones de modelado.

También fueron realizadas un conjunto de pruebas estadísticas que permitieron obtener más información sobre las relaciones entre las variables estudiadas. Estos resultados indicaron que los niveles alcanzados en la resolución de los *Problemas Definidos e Indefinidos* (n_D y n_I) no guardan relación con las variables *Año de Carrera* y *Grupo Temporal*. La misma falta de relación se encuentra para los puntajes obtenidos (p_D y p_I) en la resolución de los problemas. Dicho en otros términos, el desempeño de los estudiantes que constituyeron esta muestra y enfrentados a estos problemas, resultó independiente de su nivel de instrucción y

del tiempo empleado en realizar la tarea. En particular, el hecho de que las variables que miden el desempeño en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_D y p_D) no presentaran relación con la variable *Año de Carrera* ha permitido verificar la **Hipótesis 7.4**: *El desempeño de los estudiantes en la resolución de Problemas Indefinidos es independiente de su nivel de instrucción formal.*

Intencionalmente se han dejado para analizar en último lugar estos resultados que pueden aparecer como menos comprensibles a la luz de lo que pueden ser los resultados esperados. Estos son los que indican que el desempeño de los estudiantes no aparece como relacionado con el nivel de instrucción ni con el tiempo destinado a la tarea. Sin duda alguna se puede afirmar que un objetivo instruccional básico es que a medida que los sujetos van avanzando en su instrucción formal en Física sus habilidades para resolver problemas también avancen. Sin embargo, a este punto, esto no ha podido ser observado para esta muestra de estudiantes sometidos a la tarea diseñada. Era esperado, por construcción, que el desempeño en la resolución de *Problemas Definidos* fuera bueno para gran parte de los sujetos. Esto pudo ser evidenciado. Sin embargo podía esperarse que se encontraran diferencias para el desempeño en la resolución de los *Problemas Indefinidos*.

Algo similar ocurre con los resultados que señalan que el desempeño de los estudiantes no guarda relación con el tiempo destinado a la tarea. En este sentido es quizás menos directo que para el caso del nivel de instrucción, pero podría pensarse el tiempo empleado en la resolución de los problemas como indicador de eficiencia en la resolución y sería entonces deseable que existiera una relación inversa entre el tiempo empleado y el desempeño. Sin embargo, la resolución de problemas es un proceso que no es mecánico ni lineal por lo que la utilización del tiempo en este tipo de tareas depende del sujeto y de características específicas de la tarea de que se trata.

En este punto es posible realizar un intento de explicación de estos resultados. Por un lado se puede pensar que el instrumento diseñado para recoger la información resultó limitado en la medición de algunas de las variables involucradas. Sin duda esta afirmación abre la posibilidad de realizar un análisis metodológico crítico que, independientemente de los resultados obtenidos, se hace indispensable. Sin embargo, también es posible realizar nuevos análisis para ver un poco más en profundidad estas relaciones de interés. Por ejemplo, es posible comparar los distintos grupos de sujetos que se forman considerando como variable de separación a *Año de Carrera* por un lado y *Grupo Temporal* por otro. En la sección siguiente son presentados los resultados de estas comparaciones.

7.3.3 Resultados por grupos según nivel de instrucción

Los estudios realizados con la muestra completa de estudiantes arrojaron resultados que señalan que el desempeño de los estudiantes no presenta una relación estadísticamente significativa con el nivel de instrucción de los mismos. Sin embargo, una cuestión que resulta de sumo interés es conocer si se producen algunos cambios en el desempeño de los estudiantes a medida que avanzan en la carrera. En este sentido, es posible analizar la muestra de estudiantes considerando las submuestras que quedan definidas en relación a la variable *Año de Carrera*. De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 6.10, se trabajó con la submuestra de estudiantes que se encuentran cursando el segundo año de carrera, $N_2= 45$, la de estudiantes que se encuentran cursando el tercer año de carrera, $N_3= 31$, y la submuestra de estudiantes que se encuentra cursando el cuarto año de carrera, $N_4= 15$.

Descripción de las submuestras

Es posible observar en la Tabla 7.21 que los valores modales y los rangos no presentaron modificaciones entre los distintos años de carrera para los niveles alcanzados (n_D) y los puntajes obtenidos (p_D) en la resolución de *Problemas Definidos*. En cambio, para el caso de los *Problemas Indefinidos*, tanto los niveles alcanzados (n_I) como los puntajes obtenidos (p_I) en las resoluciones presentaron diferencias entre los distintos años.

Para el caso del segundo año de carrera ($N_2= 45$), la muestra de estudiantes quedó caracterizada para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I) por una moda $m_{n_I}= 2$ y un rango $r_{n_I}= 5$. El 33% de los estudiantes que componen esta muestra alcanzaron el nivel 2 en sus resoluciones y el 42% alcanzó niveles que permitirían considerar aprobada la resolución (Tabla 7.22). En cuanto al puntaje alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I), esta muestra presentó un valor modal de $m_{p_I}= 0$ y un rango $r_{p_I}= 10$. Es posible señalar, a partir de los datos presentados en Tabla 7.23, que aproximadamente el 29% de los estudiantes obtuvo la menor puntuación otorgada por los correctores (0) y el 47% consiguió puntuaciones con las que podría aprobar la resolución.

Tabla 7.21: Valores modales y rangos para niveles y puntajes asignados por Año de Carrera.

Año de carrera	N	n_I		p_I		n_D		p_D	
		m	r	m	r	m	r	m	r
2	45	2	5	0	10	7	5	10	10
3	31	4	5	10	10	7	5	10	10
4	15	5	4	0 ^a	10	7	5	10	10

^a Multimodal. Se muestra el menor valor.

La muestra de los estudiantes del tercer año de carrera ($N_3= 31$) presentó una moda para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I) de $m_{n_I}= 4$ y un rango $r_{n_I}= 5$. Puede desprenderse de la Tabla 7.22 que el 34% de los sujetos alcanzaron el nivel 4 para la resolución, mientras que el 61% alcanzaron niveles con los cuales podrían aprobar la resolución. Por su parte, en el puntaje alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I) esta muestra presentó un valor modal de $m_{p_I}= 10$ y un rango $r_{p_I}= 10$. El porcentaje de estudiantes que obtuvieron el máximo puntaje asignado fue del 29%, mientras que casi un 55% de los sujetos obtuvieron puntajes con los cuales sus resoluciones podrían ser consideradas como aprobadas (Tabla 7.23).

En cuanto a los estudiantes que componen la muestra del cuarto año de carrera ($N_4= 15$), se encontró que para el caso del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_I) presentaron un valor modal de $m_{n_I}= 5$ y un rango $r_{n_I}= 5$. Aproximadamente el 27% de los sujetos alcanzó el nivel 5 en la resolución, mientras que casi el 67% realizó resoluciones que alcanzaron niveles que les permitirían aprobar (Tabla 7.22). Para el caso de los puntajes alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_I), esta muestra se caracterizó por presentar dos valores modales: $m_{p_I}= 0$ y $m_{p_I}= 5$ con un rango $r_{p_I}= 10$. Un 20% de los estudiantes obtuvieron el menor puntaje asignado por los correctores (0) mientras otro 20% obtuvo un puntaje de 5 para su resolución. Para esta submuestra el 73% de los sujetos obtuvo para sus resoluciones puntajes que les permitirían aprobar (Tabla 7.23).

Tabla 7.22: Frecuencias y porcentajes para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* por Año de Carrera.

n_i	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
1	4	8,9	1	3,2	2	13,3
2	15	33,3	5	16,1	1	6,7
3	7	15,6	6	19,4	2	13,3
4	5	11,1	10	32,3	4	26,7
5	10	22,2	8	25,8	6	40,0
6	4	8,9	1	3,2	0	0
7	0	0	0	0	0	0
Total	45	100,0	31	100,0	15	100,0

Estos resultados reportados muestran que, para el caso de los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i), el valor modal va aumentando a medida que se avanza en el año de la carrera considerado. Esto significa que a medida que se avanza en la carrera, el nivel de resolución que más frecuentemente alcanzan los estudiantes es mayor.

Es para destacar también que a medida que se consideran niveles superiores de instrucción, esto es años más avanzados en la carrera, va aumentando el porcentaje de estudiantes cuyas resoluciones podrían ser consideradas como aprobadas, tanto si el desempeño es medido en términos de habilidades de modelado (nivel alcanzado n_i) como si es medida en la forma tradicional de acreditación (puntaje obtenido p_i).

Tabla 7.23: Frecuencias y porcentajes para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* por Año de Carrera.

p_i	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
0	13	28,9	5	16,1	3	20,0
1	4	8,9	4	12,9	0	0
2	5	11,1	2	6,5	0	0
3	2	4,4	3	9,7	1	6,7
4	1	2,2	1	3,2	2	13,3
5	4	8,9	4	12,9	3	20,0
6	0	0	0	0	2	13,3
7	2	4,4	2	6,5	1	6,7
8	1	2,2	0	0	0	0
9	2	4,4	1	3,2	1	6,7
10	11	24,4	9	29,0	2	13,3
Total	45	100,0	31	100,0	15	100,0

Si bien para el caso del desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, tanto en nivel alcanzado (n_D) como en puntaje obtenido (p_D) los valores modales no sufren variaciones en relación al año de carrera considerado, es posible notar en las Tabla 7.24 y Tabla 7.25 que en todos los casos altos porcentajes de sujetos, entre el 30% y el 50%, que alcanzan el nivel o

puntaje correspondiente al valor modal. En la muestra de cuarto año, se alcanzaron porcentajes de más del 80% de resoluciones que podrían considerarse aprobadas, tanto en nivel alcanzado (n_D) como en puntaje obtenido (p_D).

Tabla 7.24: Frecuencias y porcentajes para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* por Año de Carrera.

n_D	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
1	0	0	0	0	0	0
2	6	13,3	2	6,5	1	6,7
3	4	8,9	6	19,4	2	13,3
4	5	11,1	3	9,7	1	6,7
5	2	4,4	2	6,5	1	6,7
6	13	28,9	4	12,9	4	26,7
7	15	33,3	14	45,2	6	40,0
Total	45	100,0	31	100,0	15	100,0

Tabla 7.25: Frecuencias y porcentajes para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* por Año de Carrera.

p_D	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
0	9	20,0	7	22,6	1	6,7
1	1	2,2	0	0	0	0
2	4	8,9	1	3,2	0	0
3	3	6,7	2	6,5	1	6,7
4	0	0	1	3,2	0	0
5	0	0	4	12,9	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	6	13,3	0	0	1	6,7
8	2	4,4	1	3,2	2	13,3
9	3	6,7	1	3,2	2	13,3
10	17	37,8	14	45,2	8	53,3
Total	45	100,0	31	100,0	15	100,0

Comparación entre desempeños

Para profundizar en el análisis, se desea conocer si los sujetos presentan diferencias significativas entre los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D) y los niveles alcanzados en la resolución *Problemas Indefinidos* (n_I) para cada año de carrera. De la misma forma que fue realizada para la totalidad de la muestra, se utilizó la prueba de rangos

con signo de Wilcoxon para cada una de las submuestras constituidas por los estudiantes en relación al año de carrera. Los resultados se presentan en Tabla 7.26 y Tabla 7.27.

Para el caso de los estudiantes de segundo año ($N_2= 45$), los resultados indican una diferencia significativa de $z= -4,204$ con $p<0,001$. La media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* ($n_D>n_I$) resultaron de 20,35 mientras que la media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($n_I>n_D$) resultó de 27,00. Es posible observar que el porcentaje de sujetos para los cuales el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* es superior en relación al nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* es de un 82 % ($n_D> n_I$) y es menor en un 9 % ($n_D< n_I$).

Tabla 7.26: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon – Entre niveles ($n_D - n_I$) y entre puntajes ($p_D - p_I$) por Año de Carrera.

Año de carrera	$n_D - n_I$		$p_D - p_I$	
	Z	Sig. asint. (2 colas)	Z	Sig. asint. (2 colas)
2	-4,204 ^(a)	0,000	-1,926 ^(a)	0,054
3	-3,397 ^(a)	0,001	-1,325 ^(a)	0,185
4	-3,242 ^(a)	0,001	-2,842 ^(a)	0,004

^a Basado en rangos negativos.

Para la muestra constituida por los estudiantes de tercer año ($N_3= 31$), los resultados mostraron una diferencia significativa de $z= -3,397$ con $p= 0,001$. La media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* ($n_D>n_I$) resultó de 16,98 mientras que la media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($n_I>n_D$) resultó de 8,79. En este sentido, se encontró que el porcentaje de sujetos para los cuales el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* es mayor al nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* es de un 71% ($n_D> n_I$) y es menor en un 23% ($n_D< n_I$).

Por último, para los estudiantes de cuarto año ($N_4= 15$), se encontró una diferencia significativa $z= -3,242$ con $p= 0,001$. La media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* ($n_D>n_I$) resultó de 7,92 mientras que la media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($n_I>n_D$) resultó de 2,00. Se encontró que el 87% de los sujetos alcanzó un nivel superior en la resolución de *Problemas Definidos* que en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($n_D>n_I$), mientras que solo el 7% de los sujetos alcanzaron un nivel en la resolución de *Problemas Definidos* menor que el nivel alcanzado en los *Problemas Indefinidos* ($n_I>n_D$).

Tabla 7.27: Rangos entre niveles ($n_D - n_I$) por Año de Carrera.

	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
$n_D < n_I$	4	8,89	7	22,58	1	6,67
$n_D > n_I$	37	82,22	22	70,87	13	86,67
$n_D = n_I$	13	8,89	2	6,45	1	6,67
Total	45	100	31	100	15	100

Siguiendo con este análisis, se desea conocer si los sujetos presentan diferencias significativas entre los puntajes obtenidos en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D) y los puntajes obtenidos en la resolución *Problemas Indefinidos* (p_I) en cada uno de los años de carrera considerados. Para ellos, nuevamente se emplea la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Los resultados reportados sobre esta prueba pueden encontrarse en Tabla 7.26 y Tabla 7.28.

Para los estudiantes de segundo año los resultados indican una diferencia significativa marginal de $z = -1,926$ con $p = 0,054$. La media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* ($p_D > p_I$) resultaron de 20,12 mientras que la media de rangos a favor del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($p_I > p_D$) resultó de 18,31. Es posible observar que el porcentaje de sujetos para los cuales el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* es superior en relación al nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* es de un 56 % ($p_D > p_I$) y es menor en un 29 % ($p_D < p_I$).

En el caso de los estudiantes de tercer año, los resultados no mostraron una diferencia significativa ($z = -1,325$ con $p = 0,185$). Se encontró que el porcentaje de sujetos para los cuales el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* es mayor al nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* es de un 48% ($p_D > p_I$) y es menor en un 26% ($p_D < p_I$).

Por último, para los estudiantes de cuarto año se encontró una diferencia significativa $z = -2,842$ con $p = 0,004$. La media de rangos a favor del puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* ($p_D > p_I$) resultó de 7,82 mientras que la media de rangos a favor del puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* ($p_I > p_D$) resultó de 2,50. Se encontró que el 73% de los sujetos alcanzó un mayor puntaje en la resolución de *Problemas Definidos* que en la resolución de *Problemas Indefinidos*, mientras que el 13% de los sujetos obtuvieron un puntaje en la resolución de *Problemas Definidos* menor que el puntaje obtenido en los *Problemas Indefinidos*.

Tabla 7.28: Rangos entre puntajes ($p_D - p_I$) por Año de Carrera.

	Año de carrera					
	2		3		4	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
$p_D < p_I$	13	28,89	8	25,81	2	13,33
$p_D > p_I$	25	55,56	15	48,59	11	73,33
$n_D = n_I$	7	15,56	8	25,81	2	13,33
Total	45	100	31	100	15	100

Desempeños y Grupo Temporal

Los resultados obtenidos para la muestra total de estudiantes mostraron que el desempeño en la resolución de *Problemas Definidos* e *Indefinidos* no guarda relación con el tiempo empleado en la resolución de los mismos. Es de interés profundizar en este sentido y estudiar para cada año de carrera si el desempeño en resolución de *Problemas Definidos* e *Indefinidos* guarda alguna relación con el tiempo empleado en la resolución. Entonces para cada muestra de estudiantes se compararon los niveles alcanzados (n_D y n_I) y las puntuaciones obtenidas (p_D y p_I) para las resoluciones de los *Problemas Definidos* e *Indefinidos* en relación al grupo temporal al que pertenecen los sujetos.

La prueba de Kruskal Wallis no mostró diferencias significativas para la muestra de estudiantes de segundo año ($N_2= 45$) en ningún caso, como puede observarse en la Tabla 7.29.

Para el caso de los estudiantes de tercer año ($N_3= 31$), el análisis estadístico utilizando Kruskal-Wallis arrojó diferencias estadísticamente significativas para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_i), $\chi^2(2,N=31)= 9,499$, $p= 0,009$ y para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $\chi^2(2,N=31)=6,954$, $p=0,031$. También se encontró una diferencia significativa marginal para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $\chi^2(2,N=31)=5,968$, $p=0,051$ (Tabla 7.29).

Para completar esta información obtenida se realizan pruebas de contraste de Mann-Whitney para comparar entre sí los distintos grupos temporales en aquellas diferencias significativas encontradas. En este caso, se encontraron diferencias significativas entre los grupos temporales 1 y 3 para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_i), $z= -2,859$, $p= 0,003$ y para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $z= -2,281$, $p= 0,032$. Para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D) se encuentra una diferencia significativa marginal ($z= -2,041$, $p= 0,053$). Para el caso de los puntajes obtenidos en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_i), los estudiantes de tercer año pertenecientes al grupo temporal 1 presentaron un rango medio de 14,50 mientras que los pertenecientes al grupo temporal 3 presentaron un rango medio de 7,00. Para el caso de los puntajes obtenidos en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), los estudiantes de tercer año del grupo temporal 1 presentaron un rango medio de 13,00 mientras que los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 3 presentaron un rango medio de 7,75. En cuanto a la diferencia significativa marginal encontrada para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), los rangos medios encontrados mantienen la misma relación que los encontrados para los puntajes obtenidos, esto es, rangos medios mayores para los estudiantes de tercer año pertenecientes al grupo temporal 1 que los rangos medios obtenidos para el grupo temporal 3. Estos resultados indican que los estudiantes de tercer año pertenecientes al grupo temporal 1 presentaron mejor desempeño, en nivel alcanzado y en puntaje obtenido, que los estudiantes de tercer año pertenecientes al grupo temporal 3.

En la comparación de los grupos temporales 2 y 3 de estudiantes de tercer año, solo se obtuvieron diferencias significativas marginales para el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (p_i), $z= -1,980$, $p= 0,052$; el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $z= -1,956$, $p= 0,060$ y el puntaje obtenido en la resolución de *Problemas Definidos* (p_D), $z= -1,891$, $p= 0,068$. Al igual que en la comparación entre los grupos 1 y 3, los rangos medios obtenidos para los sujetos del grupo temporal 2 son en todos los casos mayores que los obtenidos para los sujetos del grupo temporal 3. Estos resultados permiten afirmar que los estudiantes de tercer año del grupo temporal 2 presentaron mejor desempeño, tanto en niveles alcanzados como en puntajes obtenidos, que los estudiantes del grupo temporal 3.

Finalmente, la comparación entre los grupos temporales 1 y 2 no mostraron diferencias significativas en ningún caso.

Estos resultados en conjunto permiten señalar que, para el caso de los estudiantes de tercer año con el cual se realiza el estudio, existe una relación inversa entre desempeño, tanto en niveles alcanzados como en puntajes obtenidos, y tiempo empleado en la resolución del problema.

Finalmente, para el caso de los estudiantes de cuarto año ($N_4= 15$). El análisis estadístico utilizando Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas solo para el nivel obtenido en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i), $\chi^2(2,N=15)= 6,432$, $p= 0,040$. También se encontró una diferencia significativa marginal para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $\chi^2(2,N=15)=4,856$, $p=0,088$. Se realizaron pruebas de contraste de

Mann-Whitney para profundizar la información de estas diferencias significativas, comparando de a pares los grupos temporales.

Para el caso de la comparación entre los grupos temporales 1 y 3 para los estudiantes de cuarto año, se encontraron diferencias significativas para el caso del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i), $z = -2,349$, $p = 0,024$. Para este caso, la media de rangos obtenida para los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 1 resultó de 3,00 mientras que la obtenida para los pertenecientes al grupo temporal 3 resultó de 7,71. Este resultado indica que los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i) por parte de los estudiantes de cuarto año pertenecientes al grupo temporal 3 resultaron superiores a los de los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 1. También se obtuvo una diferencia significativa para el nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos* (n_D), $z = -2,051$, $p = 0,042$. En este caso el rango medio obtenido para los pertenecientes al grupo temporal 1 resultó de 3,38 mientras que para los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 3 el rango medio resultó de 7,50. Este resultado muestra que, para los estudiantes de cuarto año, los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Definidos* en el grupo temporal 3 fueron superiores a los niveles alcanzados en el grupo temporal 1. Es posible agregar que para aquellas diferencias que no resultaron estadísticamente significativas en esta comparación entre los grupos temporales 1 y 3, puntajes obtenidos (p_i y p_D), también presentan esta misma relación entre los rangos medios encontrada para los niveles alcanzados (n_i y n_D) en los cuales resultan mayores los calculados para el grupo temporal 3.

En el caso en que se compararon los grupos temporales 1 y 2 para los estudiantes de cuarto año, se encontró una diferencia significativa marginal para el caso del nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i), $z = -1,911$, $p = 0,057$. Para este caso, la media de rangos obtenida para los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 1 resultó de 2,88 mientras que la obtenida para los pertenecientes al grupo temporal 2 resultó de 6,13. Este resultado indica que los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* (n_i) por parte de los estudiantes de cuarto año pertenecientes al grupo temporal 2 resultaron superiores a los de los estudiantes pertenecientes al grupo temporal 1. Es posible agregar también en este caso que en la comparación entre los grupos temporales 1 y 2, aquellas diferencias que no resultaron estadísticamente significativas, presentan la misma relación entre los rangos medios, resultando mayores los del grupo temporal 3.

La comparación entre los grupos temporales 2 y 3 no presenta ninguna diferencia significativa.

El conjunto de estos resultados permiten afirmar que para la muestra de estudiantes de cuarto año existe una relación directa entre desempeño, tanto en niveles alcanzados como en puntajes obtenidos, y tiempo empleado en la resolución del problema.

Tabla 7.29: Prueba Kruskal Wallis – Variable de agrupamiento *Grupo Temporal* – Niveles (n_D y n_i) y puntajes (p_D y p_i) por *Año de Carrera*.

Año de carrera	df	n_i		p_i		n_D		p_D	
		Chi cuadrado	Sig. asint.	Chi cuadrado	Sig. asint.	Chi cuadrado	Sig. asint.	Chi cuadrado	Sig. asint.
2	2	0,221	0,896	3,252	0,197	1,419	0,492	1,111	0,574
3	2	2,189	0,335	9,499	0,009	5,968	0,051	6,954	0,031
4	2	6,432	0,040	3,542	0,170	4,856	0,088	2,903	0,234

Grupo temporal y Año de Carrera, a desempeño fijo

Con el objetivo de seguir en esta línea de estudiar la relación entre desempeño y tiempo empleado en resolver el problema, la hipótesis subyacente que resulta factible plantear es que para un mismo desempeño, el tiempo empleado es menor para sujetos con mayor nivel de instrucción. Para contrastar esa hipótesis fue necesario definir nuevas submuestras dentro de nuestra muestra total. Para ello, se tomaron como valores de agrupamiento para dichas submuestras los valores modales obtenidos, presentados en Tabla 7.11. De esta manera se fijó el desempeño, tanto en términos de habilidades de modelado como en términos tradicionales de acreditación de exámenes, para cada una de las submuestras. Se consideraron los valores modales para la realización de este agrupamiento ya que estos permitieron disponer en cada caso de la mayor cantidad de sujetos para la submuestra (Tabla 7.31). Las variables con las que se trabajó en este caso fueron *Grupo Temporal* y *Año de Carrera*, con lo cual, dado el tipo de variables de que se trata, se realizaron análisis de correlación bivariada para las cuales el número de sujetos de la muestra resulta de suma importancia. Para el caso de las cuatro submuestras construidas, solo para el caso de muestra A, definida por $n_i=5$ y compuesta por 24 estudiantes se encontró una correlación moderada, positiva y estadísticamente significativa para estas variables (Tabla 7.32). Esto señaló la existencia de una covariación entre las variables *Grupo Temporal* y *Año de Carrera* para esta muestra en la cual, fijado el desempeño mediante $n_i=5$, los sujetos que emplean más tiempo en la resolución son aquellos que se encuentran en un año de carrera más avanzado. Es necesario destacar que el coeficiente de correlación calculado indica una correlación moderada, con lo que resulta poco conveniente intentar asegurar alguna direccionalidad en la relación entre estas variables.

Tabla 7.30: Grupos Temporales por Año de Carrera.

Grupo temporal	Año de carrera								
	2			3			4		
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	11	24,44	24,44	6	19,35	19,35	4	26,67	26,67
2	23	51,11	75,56	13	41,94	61,29	4	26,67	53,35
3	11	24,44	100,00	12	38,71	100,00	7	46,67	100,00
Total	45	100,00		31	100,00		15	100,00	

Tabla 7.31: Criterio de definición y tamaño muestral.

Muestra	Valor fijo	N_i
A	$n_i = 5$	24
B	$p_i = 10$	22
C	$n_D = 7$	35
D	$p_D = 10$	39

Tabla 7.32: Correlación de Spearman entre *Grupos Temporales* y *Año de Carrera*.

		Grupo Temporal	Año de Carrera
Grupo Temporal	ρ	1,000	,550(**)
	Sig. (2 colas)	.	,005
	N	24	24
Año de Carrera	ρ	,550(**)	1,000
	Sig. (2 colas)	,005	.
	N	24	24

** Correlación significativa con $\alpha= 0.01$ (2 colas).

7.3.4 Análisis de resultados por grupos según nivel de instrucción

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la sección precedente. Primeramente serán presentados los resultados obtenidos para la comparación entre los grupos de distinto nivel de instrucción, con posterioridad se presentarán los obtenidos para la comparación entre los distintos grupos temporales y por último los resultados obtenidos a partir de analizar distintos grupos caracterizados por su desempeño.

En cuanto a la comparación entre grupos de distinto nivel de instrucción se encontró que:

- El desempeño de los estudiantes, caracterizado por los valores modales, en la resolución de *Problemas Definidos* no presentaron modificaciones en relación al nivel de instrucción.
- El desempeño de los estudiantes, caracterizado por los valores modales, en la resolución de *Problemas Indefinidos* mostró un aumento a medida que aumenta el nivel de instrucción.
- A medida que se avanza en el nivel de instrucción, el porcentaje de estudiantes que realizan resoluciones que podrían considerarse aprobadas va aumentando, en cualquiera de las medidas de desempeño utilizadas y en ambos tipos de problemas.
- En todos los niveles de instrucción, se presentó un alto porcentaje de sujetos para los cuales el desempeño en la resolución de *Problemas Definidos* es superior al desempeño en resolución de *Problemas Indefinidos*.

Por su parte, los estudios realizados para comparar los distintos grupos temporales arrojaron los siguientes resultados:

- Para la muestra de estudiantes de segundo año no se encontró una relación estadísticamente significativa entre desempeño y tiempo empleado en la resolución del problema.
- En el caso de los estudiantes de tercer año se presentó una relación inversa entre desempeño, tanto en niveles alcanzados como en puntajes obtenidos, y tiempo empleado en la resolución del problema.
- Para la muestra de estudiantes de cuarto año existe una relación directa entre desempeño, tanto en niveles alcanzados como en puntajes obtenidos, y tiempo empleado en la resolución del problema.

Finalmente, otro de los estudios realizados, fijado el desempeño, se encontró que:

- Los sujetos que emplean más tiempo en la resolución son aquellos que se encuentran en un año de carrera más avanzado, cuando $n_i = 5$. El coeficiente de correlación calculado indica una correlación moderada, con lo que resulta poco conveniente intentar asegurar alguna direccionalidad en la relación entre estas variables.

El desempeño de los estudiantes en cuanto a los *Problemas Definidos* resultó tal como se esperaba. El diseño experimental estuvo diseñado de manera tal que, dado el tópico y el nivel de dificultad de los problemas, los estudiantes tuvieran el conocimiento conceptual necesario para abordarlos sin inconvenientes. Es posible notar que el porcentaje de estudiantes que obtienen puntajes máximos va aumentando cuando aumenta el nivel de instrucción, desde un 38% a un 53%.

Si bien no se encontró relación estadísticamente significativa entre desempeño en la resolución de Problemas Indefinidos y el nivel de instrucción formal, se encontró que el desempeño mostró un aumento de los valores modales a medida que aumenta el nivel de instrucción. El valor modal para el nivel asignado a la resolución de los *Problemas Indefinidos* para el caso de los estudiantes de segundo año resultó caracterizado por $m_{n_i} = 2$. Para el caso de los estudiantes de tercer año, $m_{n_i} = 4$ y para los estudiantes de cuarto año $m_{n_i} = 5$.

Es para destacar que, según la Ilustración 7.1, el Nivel 2 está caracterizado por:

- *Ausencia total de condiciones de aplicación del Modelo Físico Conceptual*
- *Sin justificación del Modelo Físico Conceptual utilizado*
- *Formalización de algún modelo Físico Conceptual no apropiado y con posibilidad de errores*
- *Cálculos realizados con errores*
- *Sin comentarios o análisis de resultados*

De acuerdo a la relación entre estos niveles y las representaciones construidas del *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*, Ilustración 7.2, es posible observar que el Nivel 2 se caracteriza por alcanzar un nivel deficiente en la construcción de todas las representaciones y las habilidades de modelado.

El Nivel 4 está caracterizado por:

- *Muy pocas o ninguna condiciones de aplicación del Modelo Físico Conceptual*
- *Sin justificación del Modelo Físico Conceptual apropiado*
- *Formalización del modelo Físico Conceptual apropiado con algunos errores*
- *Cálculos realizados con errores*
- *Sin comentarios o análisis de resultados*

Esto implica que la construcción de las representaciones y las habilidades de modelado propuestas por el *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* alcanzan un nivel bajo.

Las características del Nivel 5 fueron presentadas con anterioridad, sección 7.3.2 .

Se discutió anteriormente en este capítulo la posibilidad de existencia de limitaciones en el tipo de registros utilizados. También se presentaron argumentos que permiten pensar que las ausencias no se deben, al menos únicamente, a limitaciones de los registros escritos. Sin embargo, es posible sólo considerar lo que está presente en las resoluciones. A partir de esto, se puede notar que la evolución en niveles alcanzados en la resolución de *Problemas*

Indefinidos está directamente relacionada con la evolución de habilidades de trabajo con el *Modelo Físico Conceptual*, de *modelado formal* y de trabajo con el *Modelo Físico Formalizado*. Solo el 5% de la muestra total (5 estudiantes) alcanzaron un nivel 6 en la resolución de Problemas Indefinidos. Notablemente, 4 de ellos pertenece a segundo año y el restante a tercer año (Tabla 7.22, página 148).

Los resultados obtenidos en esta comparación entre los distintos años de carrera permite comprender el por qué no se encontró relación entre el desempeño de los estudiantes y el tiempo empleado en la resolución para el caso en que se analizó la muestra total. La relación desempeño/tiempo empleado resultó muy distinta para cada uno de los grupos de estudiantes conformados en relación al año de carrera. Para los estudiantes de segundo año, menor nivel de instrucción considerado en este estudio, no se encontró ninguna relación estadísticamente significativa entre desempeño y tiempo empleado. Por otro lado, para los estudiantes de tercer año se encontraron algunas relaciones estadísticamente significativas que permiten señalar la existencia de una relación de tipo inversa entre desempeño y tiempo empleado, esto es que los sujetos con mejor desempeño son los que emplearon menos tiempo en la resolución del problema. Por último, la muestra de estudiantes de cuarto año muestra un comportamiento opuesto al descrito para la muestra de estudiantes de tercer año. Los datos obtenidos permiten indicar que los sujetos con mejor desempeño son los que emplearon más tiempo en la resolución del problema.

En este análisis de la relación entre desempeño y tiempo empleado en la resolución del problema, resulta interesante también destacar la distribución de los sujetos en los distintos grupos temporales definidos para cada año de carrera, datos que son presentados en Tabla 7.30. En esta tabla es posible observar que a medida que se avanza en el año de carrera hay un notorio incremento en la cantidad de sujetos que integran el grupo temporal 3, alcanzando en cuarto año el 47% del total de los estudiantes.

Este hecho se evidencia también en los resultados obtenidos para la submuestra construida a partir de fijar $n_i = 5$. En ese caso se encontró que existe una correlación positiva moderada entre el nivel de instrucción y el tiempo empleado en realizar la tarea. Esto indicó que en el caso de los sujetos que alcanzaron un nivel 5 en la resolución de Problemas Indefinidos los de mayor nivel instruccional (cuarto año) demoraron más tiempo.

El conjunto de resultados obtenidos en los distintos análisis realizados involucrando el tiempo empleado por los sujetos para realizar las resoluciones sugiere que para la muestra considerada en el estudio no es posible establecer una clara relación entre el desempeño y el tiempo empleado en resolver el problema. Por lo tanto, en este diseño no ha sido posible verificar la **Hipótesis 7.5: Para estudiantes que alcanzan un buen desempeño, el tiempo empleado en realizar las resoluciones disminuye a medida que aumenta el nivel de instrucción.**

7.4 Conclusiones

En la sección anterior fueron presentados los resultados obtenidos a partir de la implementación de una prueba de resolución de problemas. Dicha prueba fue construida con el objetivo de indagar sobre las habilidades empleadas en el proceso de resolución.

Las conclusiones pueden ser organizadas en relación a dos grandes ejes. Uno de ellos es el relacionado a la coherencia y viabilidad del *Modelo de Comprensión para la Resolución de*

Problemas en Física propuesto. El otro eje lo constituyen las características de las habilidades de los estudiantes reflejadas en la tarea de resolución de problemas que fue llevada a cabo.

El *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propuesto en el Capítulo 5: es, en términos de Norman (1983) un $M_c[M(T)]$, es decir el modelo construido sobre la actividad de resolución de problemas. Como fue mencionado en el capítulo, la actividad de resolución de problemas es un fenómeno inaccesible a la observación directa. El estudio de las representaciones construidas y su interrelación en esta tarea necesita que el constructo de *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* pueda ser operacionalizado. Para ello deben existir enunciados teóricos que aporten precisión a los procesos puestos en juego durante la resolución.

En este sentido, se ha propuesto a la resolución de problemas en Física como una actividad ligada esencialmente al modelado. Las variables nivel *alcanzado en la resolución de Problemas Definidos* (n_D) y *nivel alcanzado en la resolución de Problemas Indefinidos* (n_I) fueron concretadas a partir de los supuestos teóricos del modelo. Para el sistema tradicional de acreditación en exámenes de Física el desempeño de los estudiantes está relacionado con la *calidad* en la resolución de problemas. Para el modelo teórico propuesto, la *calidad* de una resolución está asociada a distintos niveles de construcción e integración de las diferentes representaciones. Si esta propuesta para el constructo es coherente, cualquier medida de la calidad de los modelos o representaciones construidos en el proceso de resolución del problema debiera reflejar el desempeño del estudiante en la tarea.

Es por esto, que las asociaciones lineales estadísticamente significativas obtenidas entre variables que miden desempeño en términos de habilidades de modelado y otras que miden desempeño de la manera tradicional es un signo de coherencia de la propuesta.

Por otro lado, en cuanto a las habilidades puestas en juego por los estudiantes, la verificación de las hipótesis 7.2, 7.3 y 7.4, página 127, permite señalar que los estudiantes, a pesar de presentar muy buen desempeño en la resolución de *Problemas Definidos*, no han desarrollado las habilidades necesarias para resolver con igual eficiencia los *Problemas Indefinidos*.

Las habilidades de modelado son habilidades que requieren desarrollarse. Los resultados indican que los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* no presentan diferencias significativas entre los distintos niveles de instrucción formal considerados. Por lo tanto, las habilidades requeridas para resolver este tipo de problemas no han sido desarrolladas en los estudiantes.

Los estudiantes son capaces de resolver problemas con enunciados que ya contienen representaciones físicas y formales, pero no son igualmente hábiles para resolver problemas que precisan el mismo conocimiento físico y matemático, pero que son presentados con enunciados que describen situaciones de forma fenomenológica.

Más aún, se ha podido describir el mayor nivel alcanzado en la resolución de *Problemas Indefinidos*. El mismo se caracteriza por presentar falencias en las habilidades de *modelado físico, instanciación e interpretación física*. Este nivel también se caracteriza por una formalización adecuada del modelo físico seleccionado para resolver el problema y la realización pertinente de cálculos.

Más allá de las reconocidas limitaciones de los registros escritos, es posible considerar que estas falencias evidenciadas en los registros escritos no se corresponden sólo con estas limitaciones. Resolver problemas lo más completamente posible forma parte de una cultura institucional. Las consignas incluidas en los cuadernillos fueron comprendidas y seguidas por los estudiantes. A estos estudiantes prácticamente nunca se los ha puesto en la tarea sistemática de cuestionar un modelo físico para resolver un problema, ni a evaluar las

condiciones en las cuales un modelo resulta más conveniente que otro. Por esto, es posible pensar en algunas alternativas para explicar las ausencias en los registros. Sin embargo, cualquiera sea la explicación, la realización de suposiciones orientadas a modelar la situación no resultó una acción relevante para los estudiantes. Y si esto es así es porque desde la instrucción no se han destinado suficientes actividades que permitan al estudiante reconocer el rol central del modelado ni a desarrollar las habilidades necesarias para realizarlo.

Capítulo 8: Consideraciones finales y perspectivas

- 8.1 Sobre las preguntas de investigación
- 8.2 Implicaciones para la instrucción
- 8.3 Perspectivas

El siguiente capítulo se organiza en tres partes. En la primera parte se integran las conclusiones a las cuales han permitido arribar los distintos estudios realizados con el objetivo de responder las preguntas de investigación planteadas en la sección 3.4. En una segunda parte se discuten algunas implicancias del presente trabajo en relación a la instrucción. Finalmente, en una tercera parte se presentan algunas implicaciones en relación a posibles orientaciones futuras de investigación.

8.1 Sobre las preguntas de investigación

Al inicio, en la sección 3.4, se presentaron las preguntas que guiaban esta investigación. Una manera de organizar algunas consideraciones en esta sección es ver en qué medida se ha podido dar respuesta a las mismas.

¿Es posible caracterizar las habilidades requeridas para la resolución de problemas en Física en término de componentes de modelado?

Se presentó un modelo para el proceso cognitivo de la tarea de resolución problemas de Física. En rigor, para comprender la situación que permite avanzar en el resolución del problema. Para el *Modelo para la Comprensión y Resolución de Problemas en Física* la resolución de problemas es un proceso de modelado. La comprensión de un problema implica habilidades que involucran la construcción de las distintas representaciones propuestas, el manejo con fluidez y la coordinación entre las mismas. Al trabajar con procesos cognitivos, inaccesibles a la observación directa, se vuelve de central importancia la definición teórica del modelo propuesto y sus indicadores. En términos generales, todos los resultados obtenidos se constituyen en pruebas indirectas de la factibilidad del modelo propuesto. Sin embargo algunos son considerados centrales.

Por un lado, el hecho de que con distintos tipos de enunciados se generen distintos patrones de resolución en los sujetos es un hecho que aporta a la consistencia del modelo. Los distintos tipos de enunciados fueron definidos teóricamente a partir de los componentes ontológicos propuestos para cada uno de los niveles de representación de la situación propuestos por el modelo. De acuerdo a lo previsto, las resoluciones originadas con estos enunciados mostraron evidencias claras de la intervención de distinto tipo de habilidades. Las distintas variables empleadas para dar cuenta de las acciones efectuadas por los sujetos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de enunciados.

Por otro lado, fue posible derivar del modelo indicadores que permitieron obtener medidas sobre la calidad de las representaciones construidas. Era de esperar que estas medidas de desempeño en términos de habilidades de modelado fueran capaces de reflejar el desempeño del sujeto en la tarea de resolución medido en la forma tradicional de acreditación. Distintos niveles en la construcción de las distintas representaciones debían corresponderse con distintos niveles de desempeño. En efecto, a mayor calidad en las representaciones construidas y en la articulación entre ellas, mejor puntaje obtuvieron las resoluciones de los estudiantes. En este sentido, las asociaciones lineales obtenidas entre las variables definidas a partir del modelo teórico y las variables que dan cuenta del desempeño de la manera tradicional, es una muestra inteligible de la consistencia de la propuesta.

Finalmente, este modelo propuesto permite describir y explicar el comportamiento de sujetos ante la actividad de resolver problemas, cualquiera sea su nivel de instrucción en Física. Este hecho es probablemente uno de los aspectos más valiosos con implicación instruccional, ya que hasta el momento la bibliografía da cuenta de modelos *tipo experto*. En estos trabajos el modelo *tipo novato* se caracteriza por las carencias con respecto al *tipo experto*.

¿Son los enunciados de problemas que se utilizan en Física Básica diferentes a los enunciados de problemas que se utilizan en Física Superior en relación a sus componentes ontológicos?

El estudio realizado sobre una muestra aleatoria de problemas pertenecientes a Física Básica (Física General I y Física General III) y a Física Superior (Electromagnetismo I), presentado en la sección 6.2, permite concluir que los enunciados presentan diferencias estadísticamente significativas en relación a sus componentes ontológicos. Un análisis detallado, permitió determinar que las diferencias principales se encontraron entre los problemas pertenecientes a Física General I y los pertenecientes al grupo conformado por Física General III y Electromagnetismo I. Ciertamente los enunciados de problemas utilizados en Física General I son presentados mediante objetos y eventos no modelados, en un porcentaje superior al utilizado tanto en Física General III como en Electromagnetismo I. Sin embargo, como se discutió en la sección correspondiente, a los efectos del modelado eso queda opacado por el hecho de que las propiedades de esos objetos y eventos se presentan en más de un 70% ya modeladas. Las propiedades modeladas se encargan de fijar con suficiente certeza el modelo físico que deberá ser utilizado en la resolución.

Si la resolución de problemas es una actividad que puede ser utilizada para elaborar significados profundos que permitan la construcción de una estructura disciplinar coherente y organizada es necesario crear las condiciones para que esto suceda. Los problemas analizados, rara vez presentan actividades en las que explícitamente se intente discutir bajo qué condiciones la situación puede, o no, ser representada por un determinado modelo físico. Por este motivo, y en relación al *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propuesto, estos problemas no generarían condiciones sustancialmente diferentes en cuanto a las habilidades necesarias para resolverlos. En este sentido se considera que, a pesar de estar presentados en términos de objetos y eventos cotidianos, los enunciados son en todos los casos *Problemas Definidos*.

¿Son distintas las habilidades puestas en juego para la resolución de distintos tipos de enunciados de problemas?

Los resultados obtenidos en los estudios de validación permiten sostener que existen diferencias. Las habilidades involucradas en procesos de resolución de *Problemas Definidos* son distintas a las involucradas en los procesos de resolución de *Problemas Indefinidos*. Más precisamente, el conjunto de habilidades necesarias para resolver *Problemas Indefinidos* es más amplio. Estas habilidades son las necesarias para modelar la situación planteada a distintos niveles.

Concretando estas diferencias, en la resolución de *Problemas Indefinidos*, el foco de la resolución parece encontrarse en el trabajo con el *Modelo Físico Conceptual*. La necesidad de buscar el modelo físico que permita dar una respuesta al problema, implica la toma de decisiones sobre qué objetos y eventos serán considerados relevantes, qué características y propiedades de los mismos los van a representar, dentro de qué límites se pretende dar respuesta, etc. Estas decisiones, ponen en juego conocimientos sobre la situación, sobre los modelos físicos disponibles y sobre la formalización matemática de dichos modelos físicos. De esta forma, se hace necesario articular las representaciones *Modelo de la Situación*, el *Modelo Físico Conceptual* y el *Modelo Físico Formalizado*. Y esta articulación pasa por conocer cada uno de estos modelos e integrarlos entre sí mediante lo que se ha denominado habilidades de modelado.

Su contraparte, los *Problemas Definidos*, generan procesos de resolución en los cuales el centro de la actividad está orientado a trabajar con el *Modelo Físico Formalizado*. Dado que el modelo físico necesario para resolver el problema está prácticamente predeterminado, resolver el problema se reduce a formalizar matemáticamente y calcular. En este tipo de

procesos solamente se ven involucradas las habilidades de *modelado formal* y, en el mejor de los casos, la de *interpretación física*.

¿Cómo es el desarrollo de las habilidades puestas en juego en la resolución de problemas en sujetos de distinto nivel de instrucción?

Con el objetivo de indagar sobre las habilidades empleadas por los estudiantes de distinto nivel de instrucción fue construida una prueba de resolución de problemas. Tal instrumento se presentó a estudiantes luego de haber sido instruidos en los tópicos considerados. Los resultados obtenidos a partir de la implementación de las mismas mostraron que, a pesar de alcanzar muy buenos desempeños en la resolución de los *Problemas Definidos*, los estudiantes no son igualmente hábiles para resolver los *Problemas Indefinidos*. Siendo que los problemas que componían las pruebas eran ambos del mismo tópico (mecánica o electricidad) y que eran muy similares en cuanto a su complejidad, no es posible suponer que la diferencia en el desempeño se debe a diferencias en conocimiento conceptual.

Los enunciados de problemas utilizados fueron los diseñados en las etapas previas de la investigación. Fue posible comprobar que dichos enunciados activan distintos patrones de resolución que involucran distintas habilidades. Es viable suponer entonces que las diferencias de desempeño de los estudiantes estén relacionadas con las habilidades necesarias para resolver uno u otro tipo de problema. Los resultados indican que los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos* no presentaron diferencias significativas entre los distintos niveles de instrucción formal considerados. El avance en los niveles alcanzados en la resolución de *Problemas Indefinidos*, caracterizado por la moda que representó a cada grupo según su nivel de instrucción, se debió sólo a la adquisición de habilidades de formalización matemática de un modelo físico determinado y realización de cálculos.

Estos resultados fueron consistentes con lo esperado. Las habilidades de modelado no son innatas y forman parte de un conjunto de habilidades para las cuales es necesaria la instrucción formal. Sumado a este hecho, hay que tener en cuenta que, para el caso de los estudiantes que componen la muestra, los problemas a los cuales se enfrentaron en la instrucción son del tipo *Problemas Definidos*. Por consiguiente, resulta razonable que ante la falta de oportunidades para desarrollar las habilidades de modelado, sólo se hayan desarrollado las habilidades de modelado relacionadas con la formalización matemática y el cálculo.

¿Las dificultades en el desempeño de los estudiantes se relacionan con problemas en la construcción de representaciones de distinta ontología?

Una de las cuestiones planteadas al inicio de esta investigación estuvo relacionada con la posibilidad de que los problemas de desempeño de los estudiantes estuvieran ligados con dificultades en la construcción de representaciones de distinta ontología. A este punto, se hace indispensable reconocer lo amplio de la pregunta y la dificultad que esto conlleva para dar una respuesta precisa. Más allá de poder responder por sí o por no, sería necesario poder dar algunas explicaciones sobre esa relación. En un primer intento, es posible mencionar que los resultados obtenidos permiten afirmar que esto es efectivamente así. El desempeño de los estudiantes guarda relación con el nivel alcanzado en las representaciones construidas. Incluso los estudiantes más avanzados mostraron inconvenientes en dar respuesta a los *Problemas Indefinidos*. Esta dificultad pareciera estar centrada en el hecho de reconocer el papel de los objetos y eventos cotidianos de manera de poder seleccionar un modelo físico apropiado.

El *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propone la construcción de significados para cada una de las representaciones construidas como mecanismo de interrelación entre ellas y como base de la comprensión. En particular, la construcción de estos significados se propone ligada a la percepción e interacción con distintas situaciones. De esta manera, como se mencionó oportunamente, es posible construir significados, no solo en relación a la estructura de la propia representación sino en relación a las situaciones que la misma puede representar. Considerando la construcción del *Modelo Físico Conceptual* es posible cuestionar el nivel de comprensión alcanzado realmente por los estudiantes cuando presentan dificultad para reconocer apropiadamente las situaciones que son susceptibles de ser representadas con determinado modelo físico. Esto no es sino una muestra más de la problemática de disociación entre el conocimiento conceptual y las situaciones a las que el mismo hace referencia.

Este hecho sin dudas guarda un estrecho vínculo con la posibilidad de dar respuesta a la siguiente pregunta.

¿Es posible explicar el fracaso de los estudiantes en el pasaje entre las Físicas Básicas y las Físicas Superiores en términos de comprensión?

Corresponde destacar inicialmente que lo presentado a continuación son conjeturas que es posible realizar desde los estudios realizados con problemas de Física Básica y a partir del modelo teórico. A nivel de Física Superior sólo fueron realizadas unas entrevistas de resolución cuyos primeros análisis permiten orientar la respuesta a esta pregunta.

Al nivel de las teorías *fenomenológicas* tratadas en los primeros años de la instrucción universitaria, las situaciones cotidianas son las encargadas de dar significado a los modelos físicos. Estas situaciones son las encargadas de proveer un escenario que posibilite la construcción de significados de las representaciones abstractas.

Para el caso de las llamadas teorías *constructivas*, abarcadas en el ciclo superior de la carrera, la situación en la construcción de las representaciones no debiera ser muy diferente. Las mismas se refieren a objetos y eventos abstractos. Para construir el conocimiento conceptual en este tipo de teorías, sería necesario recurrir a situaciones en las cuales entraran en juego los referentes de estos conceptos. Surgen a este punto algunas preguntas que se hace necesario responder. Por ejemplo, ¿qué tipo de situaciones son esas? ; ¿cómo acceden a ellas los estudiantes?

Resulta evidente que si las situaciones involucran entidades abstractas, no pueden ser más que situaciones construidas a nivel mental sobre la base de ciertas reglas (o teorías). Así como en las físicas fenomenológicas se recurría a las situaciones concretas para dar significado y comprender la representación conceptual, en las físicas constructivas es necesario recurrir a estas situaciones abstractas con el mismo fin. Es factible entonces pensar que los conocimientos adquiridos en las Físicas Básicas debieran ser el soporte para las situaciones que dan significado al conocimiento que se construye en las Físicas Superiores.

Dicho de esa manera puede resultar poco importante y para nada novedoso. Incluso la distribución de las asignaturas de Física Básica antes que las de Física Superior pareciera tener en cuenta este hecho. Sin embargo, lo que se intenta aportar va en un sentido más específico. Se considera que la posibilidad de construcción de una estructura conceptual en las Físicas Superiores es dependiente de cuán significativa, organizada y flexible haya sido la construcción de la estructura conceptual en las Físicas Básicas.

Los resultados obtenidos en la investigación realizada permiten sostener que mediante la instrucción tradicional los estudiantes han podido desarrollar efectivamente habilidades

relacionadas con la formalización matemática y el cálculo. Los que tienen posibilidad de alcanzar mejores desempeños son aquellos que han sido capaces de dotar a las representaciones formales matemáticas de la semántica de la Física. Sin embargo, en función del desempeño alcanzado en la resolución de *Problemas Definidos*, se considera posible que la estructura del conocimiento conceptual adquirido no sea lo suficientemente significativa y flexible. Es posible que este hecho sea una de las causas que afecte el desempeño posterior de los estudiantes en las Físicas Superiores. Esta consideración no ha sido testada experimentalmente y deja una posibilidad abierta para futuras investigaciones.

8.2 Implicaciones para la instrucción

Con los trabajos de esta investigación se han obtenido resultados que se consideran de alto valor en relación a sus posibles aplicaciones instruccionales. Desde esta visión instruccional, es posible resumir los resultados de la siguiente manera:

- Se ha propuesto un modelo cognitivo para la resolución de problemas en física y se han obtenido muestras de su coherencia y viabilidad.
- Se han caracterizados los problemas utilizados habitualmente en la instrucción.
- Se ha generado una tipología para la clasificación de enunciados de problemas y se la ha vinculado con las distintas habilidades que los distintos tipos de enunciados activan en el proceso de resolución.
- Se ha evaluado el desempeño de los estudiantes en términos de habilidades efectivamente desarrolladas.

Uno de los pilares sobre lo que se basa esta investigación es considerar a la resolución de problemas como una actividad que puede, y debe, ser enseñada. Un lugar importante también se le ha destinado a los enunciados de problemas como una herramienta de gran potencial en los procesos de instrucción. Los profesores pueden elaborar enunciados de problemas para atender el desarrollo de distintas habilidades cognitivas. Tienen la posibilidad de diseñar y llevar a cabo la implementación de sus clases de resolución de problemas.

La necesidad de modificar de las prácticas instruccionales se hace evidente en el desempeño alcanzado por los estudiantes. Esto es al comprobar que algunas de las habilidades altamente valoradas y requeridas en un profesional en la actualidad, presentadas en la sección 2.2.2, no están siendo desarrolladas en todo su potencial.

Es posible realizar algunas recomendaciones que ayuden a los profesores a seleccionar y secuenciar los problemas de forma tal de atiendan al desarrollo de habilidades de modelado y a mejorar el proceso de aprendizaje.

- *Explicitar la tarea de resolución de problemas como un proceso de comprensión y modelado.* Se han determinado acciones que resultan significativas y dan cuenta de las habilidades cognitivas necesarias para resolver un problema. La enseñanza debe estar orientada a favorecer de manera explícita el desarrollo de estas habilidades cognitivas. Fundamentalmente, trabajar en la importancia que presenta para el proceso la existencia de representaciones de distinto tipo interrelacionadas entre sí y cuya coordinación es de suma importancia.

- *Partir de situaciones accesibles al estudiante y construir vínculos explícitos entre ellas y los conceptos, leyes o principios involucrados.* Para favorecer la comprensión en los estudiantes es imprescindible partir desde situaciones conocidas. A pesar de ello, la dificultad que tienen para integrar ese conocimiento de las situaciones con conocimientos conceptuales o algorítmicos propios de una disciplina no es menor. Sin embargo, de la incorporación significativa de estas relaciones depende la flexibilidad de la construcción conceptual. Se recuerda que es necesario desarrollar tanto la habilidad de *modelado formal* como la de *instanciación*.
- *Seleccionar enunciados de problemas en función a las habilidades cognitivas que se desean desarrollar.* A la luz de lo observado, resulta plausible manipular los enunciados para atender los conocimientos y características de la estructura cognitiva de quien aprende. El tipo de objetos involucrados en la situación que narra el enunciado del problema y la pregunta que es posible plantear en términos de estos objetos, orientan fuertemente los objetivos del resolutor. Estos objetivos son los que, finalmente, guían al sujeto en la toma de decisiones y el desarrollo de unas u otras habilidades.
- *Secuenciar las actividades en forma tal de generar una progresiva autonomía.* Esto es lo que se conoce como andamiaje cognitivo (Etkina y Van Heuvelen, 2007). Se entiende que mediante el andamiaje cognitivo se debe inicialmente proveer de ayuda a los estudiantes en el período en el cual se están familiarizando con un tema, que luego se deben comenzar a disminuir esas ayudas para generar autonomía y que, por último se deben generar oportunidades de práctica independiente que favorezcan en los estudiantes un manejo flexible de los contenidos involucrados, inclusive con aplicaciones en otros contextos.
- *Incorporar en la evaluación/acreditación las nuevas acciones incorporadas.* Si bien no ha sido objeto de esta investigación indagar sobre el rol de la evaluación en los procesos de aprendizaje, se propone esta acción desde la convicción de que la evaluación debe tener un carácter formativo e informativo. Si esto es así, deberá proveer a los estudiantes y profesores información sobre el progreso en relación a las habilidades que se desea desarrollar.

A partir de la tipología para clasificación de enunciados propuesta en este trabajo, se pudo demostrar que los *Problemas Indefinidos* son capaces de poner en juego todas las habilidades a las que hace referencia el *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas*. Se señaló oportunamente, sección 5.2, que las categorías propuestas constituyen extremos de un continuo. Es justamente este continuo el que permitiría trabajar en relación a las habilidades que se desean desarrollar. Por ello se considera viable que una primera acción por parte de los profesores sea la de analizar críticamente los enunciados con los que trabaja. Simples modificaciones a los problemas habituales puede ser un buen punto de partida. Eliminar algunas de las restricciones o suposiciones hechas en los problemas tradicionales pueden brindar la posibilidad de trabajar de forma explícita las acciones de modelado. De acuerdo a qué tipo de restricciones o suposiciones sean eliminadas, serán las acciones de modelado que podrán ser trabajadas.

En el marco de las posiciones que han dado fundamento a este estudio, se considera que el conocimiento se construye sobre lo que el alumno sabe. Por ello sería necesario organizar con ese criterio el desarrollo de habilidades cognitivas. Las habilidades pueden ser secuenciadas. Comenzando por aquellas que son más básicas y fundamentales, como representar de diversas maneras los distintos elementos involucrados en la situación. Luego adquirir aquellas de nivel superior, como analizar las condiciones de aplicación de los modelos que permiten instanciarlos las situaciones particulares consideradas.

8.3 Perspectivas

La investigación realizada permite concebir perspectivas futuras en dos líneas diferentes pero integradas entre sí. Por un lado el diseño y la implementación de una secuencia instruccional que tenga en cuenta los resultados de la investigación realizada para las Físicas Básicas. Por otro, iniciar la investigación en cuanto a las dificultades en la construcción del conocimiento en Física Superior y el lugar que ocupa la resolución de problemas en ese proceso.

El diseño e implementación de una propuesta instruccional es la dirección lógica a seguir luego de haber obtenido una importante cantidad de conocimiento sobre características de las habilidades desarrolladas en la resolución de problemas. Es necesario resignificar la instrucción en resolución de problemas atendiendo los conocimientos y características de la estructura cognitiva de quien aprende y las necesidades de formación, en un marco de enseñanza para la comprensión (Perkins y Blythe, 2006). Se considera posible en este marco diseñar y evaluar una intervención curricular, asumiendo como hilo conductor la resolución de problemas, a partir de la secuenciación de actividades en relación a tres pilares: las metas, el andamiaje cognitivo como orientador de la secuenciación (cognitive apprenticeship) y la evaluación formativa (Etkina et al., 2008).

En la actualidad, la bibliografía muestra la existencia de distintas propuestas instruccionales, desarrolladas en el marco de diversas líneas de investigación. Una revisión de las mismas ha permitido comenzar a estudiar la compatibilidad entre los fundamentos teóricos de algunas propuestas curriculares y el constructo *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*. El objetivo de este estudio es analizar la posibilidad de integrar una secuencia de resolución de problemas que atienda a los resultados obtenidos en esta tesis en una propuesta curricular que abarca múltiples actividades. Se han realizado contactos con distintos investigadores del área a partir de la presentación en reuniones internacionales de resultados parciales de esta investigación que permiten suponer amplias posibilidades de colaboración en este sentido.

En cuanto a la investigación en relación a las dificultades en la construcción del conocimiento en Física Superior, es necesario mencionar que desde hace algunos años hay grupos de investigación que se encuentran abordando desde distintas líneas estos tópicos. Principalmente en temas de Física Moderna y Teoría Cuántica. Se considera factible insertar la investigación en Física Superior, que complementa la realizada en este trabajo, en proyectos en desarrollo como los que se encuentran estudiando los tipos de dificultades presentes en el proceso de construcción y desarrollo del conocimiento científico. Algunas de estas investigaciones buscan asociar las dificultades en el proceso de aprendizaje con los denominados obstáculos epistemológicos. Estos son los que tienen que ver con los fenómenos a los que hace referencia la teoría involucrada, el nivel de formalización necesario para abordar dicha teoría, el tipo de conceptos involucrados y el tipo de entidades involucradas. Se reconoce una similitud con distintas cuestiones tenidas en cuenta para la definición del Modelo y para la definición de los distintos tipos de problemas. Sin embargo, es posible que un análisis de tipo epistemológico en mayor profundidad pueda aportar mayor comprensión en los procesos de adquisición de los conocimientos.

Es posible reafirmar que se considera que una estrategia que puede resultar efectiva para incrementar la comprensión y mejorar la formación en la universidad consiste en modificar los enunciados de los problemas utilizados. Esto implica resignificar la instrucción en resolución de problemas para atender al desarrollo de habilidades en los estudiantes. Es necesario que estas habilidades les permitan por un lado construir distintas representaciones

del problema y por otro manejarse flexiblemente entre esas distintas representaciones. Se está convencido de que una mayor comprensión en cuanto a las habilidades involucradas en la resolución de distintos tipos de problemas, como la aportada en este trabajo, podrá dar lugar a diferentes maneras de intervención en la instrucción que puedan contribuir al desarrollo de habilidades de razonamiento.

A modo de cierre, se desea destacar el convencimiento sobre el papel de enorme relevancia que tiene el docente en toda intervención instruccional. La convicción del docente sobre que es necesario enseñar a resolver problemas y sobre que él puede hacerlo es una condición necesaria para originar cambios. Se espera haber podido contribuir a generar algunas herramientas que sirvan de guía en ese camino.

Capítulo 9: Anexos

- 9.1 Enunciados experimentales**
 - 9.1.1 Mecánica
 - 9.1.2 Electricidad
- 9.2 Ejemplo de registro unificado de entrevistas**
- 9.3 Ejemplo de cuadernillo**

9.1 Enunciados experimentales

9.1.1 Mecánica

PI[Mec,1]: Un albañil lanza un ladrillo desde la calle hasta su compañero, situado en el techo de una casa de una planta. Determine las condiciones para que el ladrillo llegue a su destino.

PD[Mec,1]: Una masa puntual $m = 0,5$ kg se mueve verticalmente partiendo desde una altura $h_1=1,5$ m debiendo alcanzar una altura $h_2=4$ m. Teniendo en cuenta que el movimiento se realiza exclusivamente bajo la acción de la gravedad, determinar la mínima velocidad inicial necesaria.

PI[Mec,2]: Un VW Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado, el VW sale despedido hacia el Este con una velocidad de 10 veces menor que la que tenía antes del choque, y la camioneta Ford sale despedido hacia el Oeste con una velocidad de 5 veces menor que la que tenía antes del choque. El conductor del VW Gol declara ante el juez que él circulaba en todo momento a velocidad permitida, pero que la Ford Ecosport circulaba a más velocidad que la permitida, y por eso calculó mal el tiempo disponible y ocurrió el accidente. El juez lo condena por mentir. ¿Cómo pudo averiguarlo?

PD[Mec,2]: Sobre una superficie horizontal sin rozamiento, una masa puntual $m_1= 3$ kg se mueve en línea recta y colisiona con otra masa puntual $m_2= 6$ kg, que se mueve en la misma recta pero en sentido contrario con una velocidad $v_2= 2$ m/s. Tras el choque, ambas masas salen despedidas sobre la misma recta pero en sentidos opuestos a los iniciales; la primera masa sale con una velocidad de magnitud 3 veces menor a la inicial y la segunda masa sale con una velocidad de magnitud 2 veces menor a la inicial. ¿Cuál era la velocidad de la primera masa antes de la colisión?

9.1.2 Electricidad

PI[Elec,1]: El consumo doméstico de electricidad es muy variable: puede haber una lámpara encendida, o varias; puede haber un electrodoméstico enchufado y de pronto enchufar otro más. ¿Cómo se puede proteger las instalaciones de posibles sobrecargas ante un consumo excesivo? Realiza un estudio físico.

PD[Elec,1]: Un circuito eléctrico cuenta con un fusible que soporta una intensidad máxima $I = 25$ A, ubicado a la salida de una fuente de tensión constante de 220 V y en serie con una resistencia $R = 240 \Omega$. Considerando despreciables la resistencia del fusible y de los cables ¿cuántas resistencias iguales a R se pueden conectar en paralelo al circuito antes de que el fusible corte la corriente?

PI[Elec,2]: Según sus especificaciones técnicas, una plancha de viaje está preparada para funcionar correctamente en una red eléctrica domiciliar a 110 V. ¿Qué modificaciones podrías pensar en realizar para que funcione en una red eléctrica de 220V si no tienes disponible un transformador pero sí algunos otros elementos?

PD[Elec,2]: Un aparato eléctrico contiene una resistencia interna de $R = 3 \Omega$ que funciona correctamente conectada en serie con una batería $V_1 = 9$ V. Considerando despreciable la resistencia de los cables ¿qué resistencia se debe conectar en serie con la R para que el aparato siga funcionando correctamente cuando se conecta a una batería de $V_2 = 19$ V?

9.2 Ejemplo de registro unificado de entrevistas

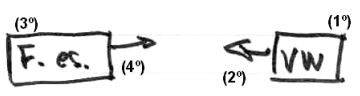
Archivo de video: entr_02_P2.vwm

Archivo de transcripción y análisis: TESIS_truyol_FINAL BIBLIOTECA

Duración de la entrevista: 12 minutos 34 segundos

Un VW Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado, el VW sale despedido hacia el Este con una velocidad 10 veces menor que la que tenía antes del choque, y la camioneta Ford sale despedida hacia el Oeste con una velocidad 5 veces menor que la que tenía antes del choque.

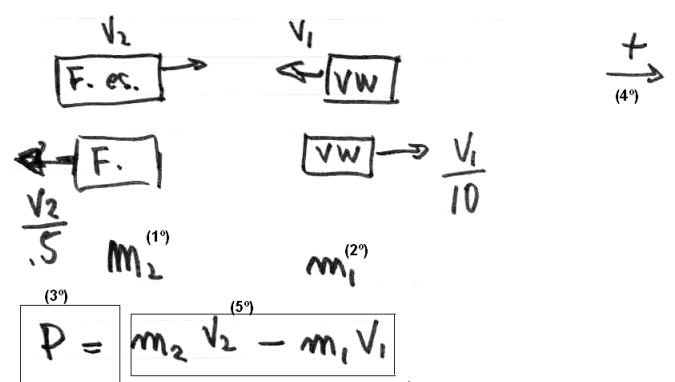
El conductor del VW Gol declara ante el juez que él circulaba en todo momento a velocidad permitida, pero que la Ford Ecosport circulaba a más velocidad que la permitida, y por eso calculó mal el tiempo disponible y ocurrió el accidente. El juez lo condena por mentir. ¿Cómo pudo averiguarlo?

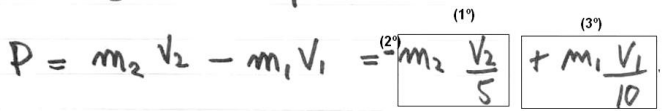
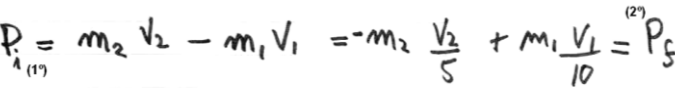
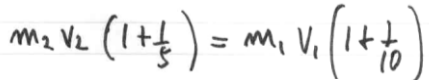
Transcripción		Comentario	Acción	t	
E_02: Un VW... Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford ... Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado, el VW sale despedido...hacia el <i>Este</i> con una velocidad 10 veces menor que la que tenía antes del choque...	0 29,983	Lectura pausada del enunciado. Pausa	Lectura del enunciado.	0 29,983	L
E_02: Oh... ya me están complicado la existencia. Bueno, vamos a empezar a hacer dibujitos para no perdernos de vista de qué se trata esto.	30,044 38,242	Realiza comentarios		30,044 38,242	
E_02: Entonces... tenemos inicialmente un VW que viaja en esta dirección... y que colisiona con un...Ford Escort que viaja en esta otra dirección...  <p style="text-align: center;">Figura 1</p>	39,05 59,713	Dibuja según el orden de Figura 1.	Representa el VW Gol con un rectángulo.	39,05 41,396	S
			Denota con "VW" al Gol.	41,396 43,961	S
			Representa el "Oeste" con una flecha que indica dirección.	43,961 47,43	S
			Representa el Ford "Escort" con un rectángulo mayor.	50,385 54,782	S
			Denota con "F.es." al Ford "Escort"	54,782 56,102	S

			Representa el "Este" con una flecha en dirección opuesta.	56,102 59,713	S
<p>E_02: Entonces luego... lo que me están diciendo es que ... en una instancia posterior... lo que quedó del Escort, porque acá no me lo aclara, viaja en esta dirección ...con una velocidad que si esta era v1... es v1 sobre 10 ...que es la que tenía antes del choque. Y la camioneta Ford sale despedida hacia el oeste con velocidad 5 veces menor, entonces si a esta la llamamos v2 ... a posteriori...el Ford tiene una velocidad que es v2 sobre 5, cinco veces menor que la que tenía antes del choque.</p> <p style="text-align: center;">Figura 2</p>	<p>62,705 109,108</p> <p>Dibuja según el orden de Figura 2.</p> <p>Completa el gráfico de Figura 2 con información sobre las velocidades.</p>	Identifica una instancia posterior.	62,705 67,211	S	
		Representa el VW Gol con un rectángulo.	67,211 71,168	S	
		Representa con una flecha la nueva dirección de movimiento.	75,223 78,447	S	
		Identifica la velocidad del VW Gol como relevante	78,447 80,133	FI	
		Denota la velocidad inicial del VW Gol como v1.	80,133 82,673	FO	
		Escribe datos de la velocidad final del VW Gol.	82,673 85,287	FF	
		Identifica la velocidad inicial del Ford como relevante.	87,461 92,2	FC	
		Denota la velocidad inicial del Ford v2	92,2 95,204	FO	
		Representa el Ford "Escort" con un rectángulo mayor.	95,204 97,429	S	
		Representa la dirección "Oeste" con una flecha.	97,429 102,484	S	
Identifica datos de la velocidad final de Ford.	102,484 106,172	FF			
Relectura del enunciado.	106,172 109,108	L			

E_02: El conductor del VW ... me agrada mucho que todavía sobrevive...este...declara ante el juez que él circulaba ... en todo momento a velocidad permitida, pero que la Ford Ecosport circulaba a más velocidad que la permitida, y por ... eso calculó mal ... el tiempo disponible y ocurrió el accidente. El juez lo condena por mentir.... ¿Cómo pudo averiguarlo?	109,993 138,159		Lectura del enunciado	109,993 112,328	L
			Referencia a la vida del conductor.	112,328 115,381	S
			Lectura del enunciado	115,381 138,159	L
E_02: Este... bueno. A mi juicio acá falta información... Este... lo primero que...	140,803 152,577	Piensa. Juega con las manos.		140,803 147,345	NC
				147,345 152,577	NC
MET: Puede suponer todo lo que le haga falta	153,448 155,359				E
E_02: Lo que pasa que si lo supongo... eh...va a ser irreal, digamos. La primera... lo que no está dicho en el problema...este...es si el choque fue elástico o no...pero dado que se habla de autos...eh...en realidad el sentido común indica que no puede ser elástico...Entonces el sentido común indicaría que parte de...de la energía que tienen los dos vehículos es usada para deformar los vehículos...este...Esa sería la... E_02: Y obviamente la cuenta que uno haga no va a ser lo mismo si uno tiene que...si supone de que se conserva la energía cinética o no. En el caso de que se usa para deformación entonces no podemos usar eso.	156,647 199,344 200,364 213,393		Señala que el enunciado no indica si el choque es elástico.	161,866 171,515	FI
			Hace referencia a lo que ocurre en la realidad con los autos.	171,515 180,309	S
			El choque no puede ser elástico porque parte de la energía que tienen los vehículos es utilizada para deformarlos.	180,309 199,344	FC
			Señala que la cuenta no sería igual si se plantea conservación de energía.	200,364 208,18	IF
			Señala que en el caso en que se usa energía para deformación, no se puede usar conservación de energía.	208,18 213,393	FC
E_02: Lo que si podemos usar...es la conservación del momento... si no hay transferencia de masa, no es cierto, si el paragolpe del VW no pasó para el otro lado y quedó incrustado en el otro, por ejemplo...entonces...este...podríamos usar la conservación del momento...entonces...tendríamos que ver...eh...si encontramos alguna	214,149 243,759	Señala en el dibujo.	Señala la conservación del momento en el caso de que no haya transferencia de masa.	214,149 221,64	FC
			Hace referencia a partes específicas de los vehículos.	221,64 227,551	S

<p>información que le permita... usando la conservación del momento que le permita al juez decir algo.</p> <p>E_02: Pero nos encontramos con que no hay información de la masa...solamente tenemos información de los modelos. Tampoco sabemos cuál es la masa de los conductores. No es lo mismo un conductor de 150 kilos que un conductor de 60 kilos...</p> <p>E_02: Por lo tanto...eh... no queda claro...qué hacer, que se yo. Un Gol parece que tuviese a primera vista menos masa que un Ford Escort por lo tanto asumir que tienen la misma masa ...</p>	<p>244,375 260,211</p> <p>261,31 276,667</p>	<p>Señala en el enunciado.</p>	<p>Señala la factibilidad de utilizar la conservación del momento para resolver el problema.</p>	<p>227,551 243,759</p>	<p>FC</p>
			<p>Identifica la masa de los vehículos como relevante.</p>	<p>244,375 248,412</p>	<p>FI</p>
			<p>Hace referencia a los modelos de los vehículos.</p>	<p>248,412 252,907</p>	<p>S</p>
			<p>Identifica la masa de los conductores como relevantes.</p>	<p>252,907 255,789</p>	<p>FI</p>
			<p>Realiza una comparación entre masas de conductores.</p>	<p>255,789 260,211</p>	<p>S</p>
			<p>Compara las masas de los modelos de vehículos.</p>	<p>268,883 274,452</p>	<p>S</p>
			<p>Señala que no puede asumir que tienen la misma masa.</p>	<p>274,452 276,667</p>	<p>FI</p>
<p>MET: Es una Ford Ecosport. Es una camioneta considerablemente más grande que el...</p>	<p>277,372 282,8</p>				<p>E</p>
<p>E_02: Por eso... entonces...tampoco parece de que podamos asumir nada específico acerca de las masas, o sea, a no ser que vayamos a alguna...busquemos en alguna tabla, no cierto, en algún lugar cuáles son las masas de esos autos para tener una aproximación obviando la masa que tengan los conductores.</p>	<p>282,935 304,039</p>		<p>Propone consultar tablas para conocer las masas de los vehículos involucrados.</p>	<p>289,572 300,589</p>	<p>FO</p>
			<p>Propone obviar la masa del conductor.</p>	<p>300,589 304,039</p>	<p>FO</p>
<p>E_02: O sea, por ejemplo... un Gol tal vez tenga 900 kilogramos...y si el conductor tiene 80 ...bueno...es decir...bueno, con alguna precisión del orden del 10 % uno podría hacer una cuenta....</p>	<p>304,062 315,422</p>		<p>Supone un valor para la masa del VW Gol.</p>	<p>304,062 308,918</p>	<p>FF</p>
			<p>Supone una masa para el conductor.</p>	<p>308,918 310,506</p>	<p>FF</p>
			<p>Señala que podría hacer una cuenta con una precisión del orden del 10%.</p>	<p>310,506 315,422</p>	<p>FF</p>

E_02: eh... ..así que...	316,861 322,063				NC
MET: En ese caso la información que necesitaría es únicamente la masa?. O por qué sería únicamente la masa...	324,093 328,748				E
E_02: Porque con esa... con esa uno podría plantear conservación de momento. E_02: no? Si a mi me diesen...si llamo este...m2... la masa del Ecosport y m1 ... la masa del VW Gol E_02: Entonces este...uno dice que hay un momento ... E_02: este...nuevamente este es un problema en una sola dimensión entonces puedo considerar nada más que un solo numerito, no hace falta hablar de vectores, con un solo numerito me basta. E_02: Entonces uno diría que el momento...este...inicial, suponiendo que elijo positivo para este lado...este...sería de la forma...y donde acá yo lo que escribí fueron módulos...Entonces, como este apunta para el otro lado lo voy a poner con un signo negativo, ese es el...momento inicial.	329,91 334,358 334,913 347,559 348,289 354,155 355,476 365,203 365,533 390,704	Completa con la denominación de las masas en la Figura 3. Coloca la dirección de movimiento (4º) Figura 3. Señala el gráfico. Escribe las expresiones de Figura 3.	Señala que con el dato de la masa podría plantear conservación de momento. Identifica la masa del Ford Ecosport como m2. Identifica la masa del VW Gol como m1. Identifica el momento con P. Reconoce al problema como en una sola dimensión. Señala que no hace falta trabajar con vectores. Comienza a escribir el momento inicial. Elige la dirección positiva. Escribe el momento inicial. Señala que v1 y v2 son módulos. Señala que el cambio de dirección implica un cambio de signo. Reconoce la expresión escrita como momento.	329,91 334,358 334,913 342,973 342,973 347,559 348,289 354,155 355,476 360,659 360,659 365,203 365,533 371,822 371,822 375,51 375,51 378,93 378,93 382,789 382,789 387,773 387,773 390,704	FC FO FO FO FC FF FF FO FF FO FF FO IF
 <p style="text-align: center;">Figura 3</p>					

<p>E_02: Estamos diciendo que en este caso el momento se tiene que conservar... y...tendría que ser igual al momento final que sería $m_2 \dots$ eh...entonces ahora tengo que poner el signo menos acá... v_2 sobre 5...y este es más... $m_1 \dots v_1$ sobre... 10.</p>  <p>Figura 4</p>	<p>391,708 417,903</p>	<p>Completa la expresión como en Figura 4.</p>	<p>Señala que el momento se debe conservar en este caso.</p> <p>Señala que la conservación del momento implica que el momento inicial debe ser igual al momento final.</p> <p>Sustituye según los valores y las direcciones identificadas para las velocidades finales.</p>	<p>391,708 395,516</p> <p>395,516 400,596</p> <p>400,596 417,903</p>	<p>FC</p> <p>FC</p> <p>FF</p>
<p>E_02: Bueno. Entonces...nuevamente tenemos...eh...esta es una igualdad que significa que el momento inicial, si queremos ser más explícitos, es igual al momento final. Pero como solamente me interesa decir algo acerca de las velocidades, y lo que el juez aparentemente hizo fue deducir que cuál era la relación entre las velocidades, lo que tenemos que hacer es poner todas las velocidades de un solo lado y ver si llegamos a algo.</p>  <p>Figura 5</p>	<p>420,071 450,105</p>	<p>Completa la notación y la expresión en Figura 5.</p>	<p>Identifica el momento inicial en la expresión.</p> <p>Identifica el momento inicial con P_i.</p> <p>Identifica el momento final con P_f.</p> <p>Identifica como "incógnitas" a las velocidades.</p> <p>Reflexiona sobre el posible accionar del juez para tomar la decisión.</p> <p>Planifica estrategia de cálculo para resolución.</p>	<p>420,071 429,836</p> <p>429,836 432,646</p> <p>432,646 434,307</p> <p>434,307 438,459</p> <p>438,459 444,224</p> <p>444,224 450,105</p>	<p>IF</p> <p>FO</p> <p>FO</p> <p>IF</p> <p>S</p> <p>IF</p>
<p>E_02: Entonces si por ejemplo pongo esta para allá...tengo luego que m_2 por $v_2 \dots$ 1 mas un quinto...debería ser igual a $m_1 \dots$ tiré esto para allá... $v_1 \dots$ 1 mas un...décimo.</p>  <p>Figura 6</p>	<p>450,234 473,456</p>	<p>Escribe la expresión de Figura 6.</p>	<p>Resuelve.</p>	<p>450,234 473,456</p>	<p>FF</p>
<p>E_02: Entonces...lo que estuvimos deduciendo...es que la masa m_1 tiene que ser...eh...menor...que la masa m_2 por...solamente porque uno los conoce a los autos...así a gran escala.</p>	<p>474,493 497,057</p>	<p>Señala el gráfico.</p>	<p>Compara m_1 con m_2.</p> <p>Justifica la comparación por conocer los autos.</p>	<p>474,493 491,394</p> <p>491,394 497,057</p>	<p>FC</p> <p>I</p>

<p>E_02: Entonces si quisiéramos tener una relación entre v1 y v2 podríamos poner como v1 de un lado y tirar todo del otro lado. Entonces tendríamos...m2 sobre m1...vamos a poner todos los números después vamos a ver...uno más un quinto sobre uno mas un décimo...espero no cometer ningún error...este...v2.</p> $V_1 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{1 + \frac{1}{5}}{1 + \frac{1}{10}} \right) V_2$ <p>Figura 7</p>	<p>498,247 528,61</p>	<p>Escribe la expresión de Figura 7.</p>	<p>Planifica una relación entre las velocidades.</p> <p>Obtiene expresión que relaciona las velocidades.</p>	<p>498,247 507,808</p> <p>507,808 528,61</p>	<p>FF</p> <p>FF</p>
<p>E_02: Entonces...estamos diciendo que esta es mayor...y este también es mayor...por lo tanto todo esto es mayor...que v2.</p> $V_1 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{1 + \frac{1}{5}}{1 + \frac{1}{10}} \right) V_2 > V_2$ <p>Figura 8</p>	<p>529,948 545,555</p>	<p>Señala la expresión de Figura 7. Completa la expresión. Figura 8.</p>	<p>Compara a partir de los datos supuestos y dados.</p> <p>Concluye que v1>v2.</p>	<p>529,948 539,418</p> <p>539,418 545,555</p>	<p>FF</p> <p>FF</p>
<p>E_02: Entonces el juez lo que hizo fue darse cuenta que la velocidad...que si el Ecosport...digamos...yo creo que el juez lo tendría que haber condenado por exceso de velocidad en una de esas, porque si en una de esas el tipo no mintió...en una de esas el Ecosport realmente tenía una velocidad ...este...que era mayor que la velocidad permitida pero él tenía una velocidad todavía superior a la velocidad permitida, así que el juez podría haber optado por haberlo arrestado por exceso de velocidad.</p>	<p>548,151 586</p>		<p>Relaciona el resultado con la situación concreta.</p> <p>Analiza otra posibilidad para las velocidades de los vehículos.</p> <p>Analiza otra posibilidad para el fallo del juez.</p>	<p>548,151 559,938</p> <p>559,938 580,164</p> <p>580,164 586</p>	<p>I</p> <p>I</p> <p>I</p>
<p>MET: Bien. Y en este caso por qué podemos suponer que el momento se conserva?</p>	<p>590,045 594,454</p>				<p>E</p>
<p>E_02: Porque no me dan ninguna información acerca de roce o cosas por el estilo. Entonces como...me dijiste que yo podía suponer todo aquello que me</p>	<p>597,518</p>		<p>Afirma que el enunciado no informa sobre roce.</p>	<p>597,518 601,013</p>	<p>FC</p>

gustas más...asumí que no había roce que interviniese...este...en el rodamiento o en la interacción de...de las ruedas con el pavimento y entonces asumí que se conserva. O sea: bajo esas condiciones el momento se conserva.	621,956		Asume que no hay roce en el rodamiento.	601,013 612,677	FI
			Asume que no hay roce entre las ruedas y el pavimento.	612,677 616,781	FI
			Declara que bajo esas condiciones el momento se conserva.	616,781 621,956	FC
MET: Bien.	622,194 622,607				E
E_02: Pero de todas maneras también en la vida real los momentos involucrados y los...este...o sea, además tampoco se dice nada acerca del frenado, no? Si va...si hubiese dicho acá de que...este...para evitar la colisión uno de ellos frena entonces es otra cuestión, porque ahí si tenemos un montón que ... de momento que se cambia debido al frenado. Pero no había...esa información no estaba, entonces lo único que quedaba era la información de posible pérdida por rodamiento por ejemplo, de los distintos rodamientos, tanto de los rulemanes como del rodamiento de la rueda, pero esas perdidas son mucho menores que los momentos involucrados, por lo tanto, para una primera aproximación uno puede asumir de que se conserva.	627,051 676,405	Señala el enunciado. Señala el gráfico. Señala la expresión.	Hace referencia a los momentos en la vida real.	627,051 635,7	I
			Afirma que el enunciado no hace referencia a una situación de frenado.	635,7 648,67	S
			Analiza la situación de que el momento cambia por frenado	648,67 655,204	I
			Señala que lo único que queda es pérdida por rodamiento.	655,204 664,205	FI
			Señala posibles pérdidas.	664,205 669,323	I
			Señala que aun considerando perdidas por rodamiento los momentos involucrados son mucho mayores que esas pérdidas.	669,323 672,572	I
			Señala que a primera aproximación el momento se conserva.	672,572 676,405	FC
MET: No se si quiere agregar algo más?	680,99 682,56				E
E_02: No se...no se si a vos te queda alguna otra cosa...para que sea claro...	683,35 687,914				NC
MET: El tipo de....de modelo de la materia que se utiliza...o que supuso para poder...	689,986 700,956				E
E_02: Y...no lo usamos porque es lo primero que dije, no? Lo primero que dije es que no había información acerca de si se podía o no hacer uso de que el choque era plástico. Si uno hubiese pensado que estos eran cuerpos	701,326 754,359		Señala que no hay información sobre el tipo de choque.	701,326 712,815	FC
			Señala que podría haber pensado que eran	712,815	FI

<p>rígidos que lo único que hacían era...este...transmitirse energía digamos, es una cuestión. Pero...como para lo de momento no hace falta o sea...esta cuenta...este... es cierta incluso en el caso en el cual se abollaron los coches...este...y ha habido pérdida de energía en las deformaciones, en el calentamiento de las chapas, etc. Entonces no hemos supuesto nada...ni rigidez, ni ninguna propiedad específica, digamos...de los cuerpos involucrados.</p>		Señala los cuerpos en el gráfico.	cuerpos rígidos que solo se transmitían energía.	722,94	
		Señala la expresión.	Señala que la expresión escrita para el momento es válida aún cuando los autos se abollan y hay pérdida de energía en las deformaciones, en el calentamiento de las chapas, etc.	722,94 742,397	IF
			Señala que no supone ninguna propiedad específica de los cuerpos involucrados.	742,397 754,359	FI

9.3 Ejemplo de cuadernillo

La presente actividad es solicitada como colaboración para la realización de una investigación sobre resolución de problemas, en el marco de un doctorado en Física.

Sus respuestas son de carácter anónimo y no repercutirán de ningún modo en la calificación de ninguna materia. Solamente serán analizadas a los fines de la investigación. Mantendremos en todo momento la confidencialidad de estos datos.

Indique con una cruz su situación frente a Física General III.

a.	Cursada.	
b.	Regularizada.	
c.	Aprobada.	

Resuelva los problemas como lo haría en un examen.

Recuerde que el único registro que tenemos para analizar es lo que usted escribe.

Por eso, para un mejor procesamiento de la información contenida en las resoluciones, le pedimos a usted que tenga en cuenta las siguientes indicaciones:

- Escribir de manera ordenada y secuencial la resolución. Intente, dentro de lo posible, no volver a renglones escritos anteriormente para completar o sobrescribir.
- No borrar nada de lo escrito. De ser necesario alguna corrección, solo tachar con una cruz lo que no corresponda.
- Anotar claramente todas aquellas suposiciones realizadas para avanzar en la resolución.
- Responder la encuesta al final.

Gracias por su colaboración!

PROBLEMA 1

Según sus especificaciones técnicas, una plancha de viaje está preparada para funcionar correctamente en una red eléctrica domiciliaria a 110 V. ¿Qué modificaciones podrías pensar en realizar para que funcione en una red eléctrica de 220V si no tienes disponible un transformador pero sí algunos otros elementos?

PROBLEMA 2

Un circuito eléctrico cuenta con un fusible que soporta una intensidad máxima $I = 25 \text{ A}$, ubicado a la salida de una fuente de tensión constante de 220 V y en serie con una resistencia $R = 240 \Omega$. Considerando despreciables la resistencia del fusible y de los cables ¿cuántas resistencias iguales a R se pueden conectar en paralelo al circuito antes de que el fusible corte la corriente?

ENCUESTA

1. ¿Se enfrentó usted con anterioridad a problemas similares al PROBLEMA 1?

a.	SI	
b.	NO	

2. ¿Considera usted que posee los conocimientos necesarios para resolver el PROBLEMA 1?

a.	SI	
b.	NO	

3. ¿Considera usted haber dado una respuesta al PROBLEMA 1?

a.	SI	
b.	NO	

4. Si usted considera que no dio una respuesta al PROBLEMA 1, indique la razón marcando con una cruz

a.	El PROBLEMA 1 no es claro.	
b.	El PROBLEMA 1 es claro pero difícil.	
c.	No sé cómo dar respuesta al PROBLEMA 1.	
d.	No quiero responder el PROBLEMA 1.	
e.	No me alcanzó el tiempo para responder el PROBLEMA 1.	

5. ¿Se enfrentó usted con anterioridad a problemas similares al PROBLEMA 2?

a.	SI	
b.	NO	

6. ¿Considera usted que posee los conocimientos necesarios para resolver el PROBLEMA 2?

a.	SI	
b.	NO	

7. ¿Considera usted haber dado una respuesta al PROBLEMA 2?

a.	SI	
b.	NO	

8. Si usted considera que no dio una respuesta al PROBLEMA 2, indique la razón marcando con una cruz

a.	El PROBLEMA 2 no es claro.	
b.	El PROBLEMA 2 es claro pero difícil.	
c.	No sé cómo dar respuesta al PROBLEMA 2.	
d.	No quiero responder el PROBLEMA 2.	
e.	No me alcanzó el tiempo para responder el PROBLEMA 2.	

9. Indique brevemente qué diferencias encuentra entre el PROBLEMA 1 y el PROBLEMA 2.

Capítulo 10: Referencias Bibliográficas

Ambroggio, G.; Gangoso Z., (1991). Graduación y abandono en la universidad: un estudio exploratorio en la FaMAF. Informe Consejo de Investigaciones de la Provincia de Córdoba.

Anuario de Estadísticas Universitarias . Argentina 2009. (2009). Departamento de Información Universitaria, de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), del Ministerio de Educación de la Nación. ISSN 1850-7514. Consulta online <http://www.mcye.gov.ar/spu/documentos/Anuario-2009.pdf>

Ausubel, D.; Novak, J; Hanesian, H. (1993). Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. Ed. Trillas. Sexta reimpresión.

Barojas, J. (2007) Problem solving and writing I: The point or view of physics. Latin American Journal of Physics Education, 1 (1), 4-12.

- Barsalou, L. (2009) Situating Concepts. En Robbins, P.; Aidede, M. (Ed.) *The Cambridge Handbook of Situated Cognition*. Cambridge University Press.
- Bransford, J.; Brown, A.; Cocking, R. (2000). How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School. Committee on Developments in the Science of Learning. National Academy Press.
- Benegas, J. (Coordinación) (2010) Proyecto de Mejora para la formación inicial de profesores para el nivel secundario – Área: Física. Consulta online <http://www.me.gov.ar/infod/documentos/fisica.rar>
- Berg, R. (2012). Resource Letter PhD-2: Physics Demonstrations. *American Journal of Physics*, 80 (3), 181-191.
- Brewe, E. (2008). Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. *American Journal of Physics*, 76 (12), 1155-1160.
- Brookes, D.; Etkina, E. (2007) "Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning" *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 3, 010105.
- Brunner, J.J. (Cordinador) (2007). Educación Superior en Iberoamérica - Informe 2007. Centro Interuniversitario de Desarrollo, Santiago – Chile. Consulta online http://www.cinda.cl/download/informe_educacion_superior_iberoamericana_2007.pdf
- Bunge, M. (2002). Ser, saber, hacer. Ediciones Paidós. Buenos Aires
- Bunge, M. (1982) Filosofía de la Física. Ariel. Barcelona.
- Buteler, L.; Gangoso, Z. (2008) Aspectos metodológicos de la resolución de problemas en física: una revisión. *Ciência & Educação*. (1) 14, 1-14.
- Buteler, L.; Gangoso, Z. (2007). El conocimiento situacional y su relación con el proceso de solución: un estudio en electromagnetismo. *Infancia y Aprendizaje*, 30 (2), 215-226.
- Buteler, L.; Gangoso, Z. (2003). La representación externa en la resolución de un problema de Física: ¿Una cuestión de forma o una cuestión de fondo?". *Buteler, L & Gangoso, Z. Cognitiva*. 15 (1), 51-66.
- Buteler, L.; Gangoso, Z. (2001). La resolución de problemas en Física y su representación: un estudio en la escuela media" *Enseñanza de las Ciencias, España*, 19(2), 285-295.
- Buteler, L.; Gangoso, Z. (2001). Diferentes enunciados del mismo problema: problemas diferentes?. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), 269-283.
- Cabral da Costa, S.; Moreira, Marco A (2006). Atualização da pesquisa em resolução de problemas : informações relevantes para o ensino de física Encontro Estadual de Ensino de Física. Atas . Porto Alegre : Instituto de Física - UFRGS, 2006
- Cabral da Costa, S.; Moreira, M. A. (2002). O Papel da Modelagem Mental dos Enunciados na Resolução de Problemas em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (1), 61-74.

- Cabral da Costa, S.; Moreira, M. (1996). Resolução de Problemas I: Diferenças Entre Novatos e Especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (2), 176-192
- Cabrera, L.; Tomás, J.; Álvarez, P.; González, M. (2006). El problema del abandono de los estudios universitarios. *RELIEVE*, 12 (2), 171-203. Consulta online http://www.uv.es/RELIEVE/v12n2/RELIEVEv12n2_1eng.htm
- Chi, M. T. H.; Slotta, J. D.; de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4 (1), 27-43.
- Chi, M.; Feltovich, P.J.; Glaser, R. (1981) Categorization and representation of physics problems by novices and experts. *Cognitive Science*, 5 (2), 121-152
- Coleoni, E.; Otero, J.; Gangoso, Z.; Hamity, V. (2001). La construcción de la representación en la resolución de problemas en física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3), 285-298.
- Coll, R.; France, B.; Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27 (2), 183-198.
- Competency Model Clearinghouse (2012). CareerOneStop U. S. Department of Labor, Employment and Training Administration. Consulta online <http://www.careeronestop.org/CompetencyModel/default.aspx>
- CONEAU Estándares de competencias profesionales para la acreditación de títulos declarados de interés público. Resoluciones. Disponibles online <http://www.coneau.gov.ar/coneauhtml/grado.html>
- Dufresne, R. J.; Gerace, W. J.; Mestre, J. P.; Leonard, W. J. (2000). ASK-IT/A2L: Assessing student knowledge with instructional technology. SRRRI Technical Report. Consulta online <http://arxiv.org/abs/physics/0508144>
- Drudi, S.; Gangoso, Z.; Ferreras, M.; Gattoni, A.; Litvack, F.; Truyol, M.E. (2008). Sistemas de representación externos y comprensión en ingresantes a ingenierías en la UNC. Jornadas de Difusión e Intercambio de la Investigación sobre la UNC – 22 y 23 de Septiembre del 2008 – Córdoba. Consulta online <http://www.famaf.unc.edu.ar/~scout/gef/publicaciones/sistema%20de%20representaciones%20-%20unc.pdf>
- Escudero, C.; Moreira, M.A. (1999). La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 61-68.
- Etkina, E.; Karelina, A.; Ruibal-Villasenor, M. (2008) How long does it take? A study of student acquisition of scientific abilities. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4, 020108_2008_
- Etkina, E.; Karelina, A.; Ruibal-Villasenor, M.; Rosengrant, D.; Jordan, R.; Hmelo-Silver, C. (2008). Transfer of Scientific Abilities: Building Habits of Mind. Consulta online <http://paer.rutgers.edu/ScientificAbilities/Downloads/Papers/ISLE-Transfer.pdf>
- Etkina, E.; Van Heuvelen, A. (2007). Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics. In *Research Based Reform of University Physics*, E. F. Redish and P. Cooney, (Eds.)

- Etkina, E.; Van Heuvelen, A.; White-Brahmia, S.; Brookes, D.; Gentile, M.; Murthy, S.; David Rosengrant, D.; Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, **2**, 020103 _2006_
- Etkina, E.; Warren, A.; Gentile, M. (2006). The role of models in physics instruction. *The Physics Teacher*. 43, 15-20
- Fávero, M. H.; Gomes de Sousa, C (2001). A Resolução de Problemas em Física: Revisão de Pesquisa, Análise e Proposta Metodológica. *Investigações em Ensino de Ciências* , 6(2), 143-196.
- Fortus, D. (2005). Restructuring school Physics around Real-world Problems: a cognitive justification. En Annual meeting of the American Educational Research Association. Montreal, Canada. Recuperado Abril 16, 2009, a partir de http://www.sciencematerialscenter.org/documents/Restructuring_School_Physics.pdf
- Fortus, D. (2009). The importance of learning to make assumptions. *Science Education*, 93 (1), 86-108.
- Gaigher, E.; Rogan, J.M.; Braun, M.W.H. (2007). Exploring the development of conceptual understanding through structured problem solving in Physics. *International Journal of Science Education*. 29 (9), 1089-1110.
- Gangoso, Z.; Truyol, M.E.; Gattoni, A. y Brincones Calvo, I. (2008). Resolución de problemas, comprensión, modelización y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería. *Latin American Journal of Physics Education*. 2 (3), 233-240.
- Gangoso, Z.; Gattoni, A.; Buteler, L.; Coleoni, E. (2005). Informe Técnico Final – Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).
- Gangoso Z.; Coleoni E; Buteler L.; Gattoni A. (2004). El proceso de resolución de problemas en física. *Actas II Jornadas de Investigación en Resolución de Problemas en Física*. Jesús María, Córdoba.
- Gangoso, Z. (1999) Investigaciones en resolución de problemas en ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*. 4(1), 7-50.
- Gangoso, Z.; Buteler, L. (1998). Modelos mentales en el proceso de cambio conceptual. *Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Brasil*.
- Gangoso, Z. (1997). Tesis doctoral, Facultad de Matemática Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.
- Gerace, W; Dufresne, R; Leonard, B. (1997). A framework for the storage of knowledge and its implication for problem solving. University of Massachusetts Physics Education Research Group. Technical Report PERG-1997
- Gilbert, J.; Reiner, M.; Nakhleh, M. (2008). *Visualization: Theory and Practice in Science Education (Models and Modeling in Science Education)*. Springer.
- Gilbert, J.; (2005). Visualization: a metacognitive skill in science and science education. En Gilbert, J. (Ed.). *Visualization in Science Education*. Springer.

- Gilbert, J. K. (1999). On the Explanation of Change in Science and Cognition. *Science & Education*, 8(5), 543-557.
- Gilbert, J.; Boulter, C.; Rutherford, M.; (1998a). Models in explanations, Part 1: Horses for courses. *International Journal of Science Education*. 20 (1), 83-97.
- Gilbert, J.; Boulter, C.; Rutherford, M.; (1998b). Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears. *International Journal of Science Education*. 20 (2), 187-203.
- Gilbert, S. (1998). The model as a vehicle for understanding the nature and processes of science— Report. ERIC # ED 443 657. (<http://www.eric.ed.gov/>).
- Graesser, A., Singer, M.; Trabasso, T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review*, 101 (3), 371-395.
- Greeno, J. S. (1989). Situation, mental models and generative knowledge. En Klar, D. Y Kotovsky, K. (Eds). *Complex Information Processing: The impact of Herbert A. Simon*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Hillsdale, New Jersey.
- Gutierrez, R.; Pinto, R., (2006). Teachers' conceptions of scientific models II: Comparison between two groups with different backgrounds. Paper presented at GIREP 2006 International Conference on "Modeling in Physics and Physics Education". Amsterdam, 20-26 August.
- Gutierrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto modelo mental. Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), 209-226.
- Gutierrez, R.; Pinto, R. (2004) Models and Simulations. Construction of a Theoretically Grounded Analytic Instrument. In: E. Mechlová (ed), *Proceedings: Teaching and Learning Physics in New Contexts. Selected Papers. GIREP 2004 International Conference*. (University of Ostrava. Ostrava, Czech Republic), p 157-158.
- Halloun, I. (1995). Modeling Theory in Physics Instruction: A Draft. ERIC #ED381399. (<http://www.eric.ed.gov/>) .
- Halloun, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*. 33 (9), 1019-1041.
- Harper, K.A.; Freuler, R.; Demel, J. (2006) Cultivating Problem Solving Skills via a New Problem Categorization Scheme. 2006 Physics Education Research (Syracuse, New York, 26-27 July 2006), 883, 141-144.
- Harrison, A. G.; Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.
- Heller, P.; Hollabaugh, M. (1992). Teaching Problem Solving Through Cooperative Grouping. Part 2: Designing Problems and Structuring Groups. *American Journal of Physics*. 60 (7), 637-644.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55 (5), 440-454.

- Horn, R. (a) Educational Psychology 625 – Intermediate Statistics – Kruskal-Wallis Test. Northern Arizona University. Consulta online, <http://oak.ucc.nau.edu/rh232/courses/EPS625/Handouts/Nonparametric/The%20Kruskal-Wallis%20Test.pdf>
- Horn, R. (b) Educational Psychology 625 – Intermediate Statistics – Mann-Whitney Test. Northern Arizona University. Consulta online, <http://teorionline.files.wordpress.com/2010/03/the-mann-whitney-u-test.pdf>
- Horn, R. (b) Educational Psychology 625 – Intermediate Statistics – Wilcoxon Test. Northern Arizona University. Consulta online, <http://oak.ucc.nau.edu/rh232/courses/EPS625/Handouts/Nonparametric/The%20Wilcoxon%20Test.pdf>
- Hsu, L.; Brewster, E.; Foster, T.; Harper, K. (2004). Resource Letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics*, 72 (9), 1147-1156.
- Islas, S. M.; Pesa, M. A. (2002). ¿Qué ideas tienen los profesores de Física de nivel medio respecto al modelado? *Ciência & Educação*, 8(1), 13-26.
- Islas, S.M.; Pesa, M. (2004). Estudio comparativo sobre concepciones de modelo científico detectadas en Física. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. Nº 29, Año XV, 117-144
- Itza-Ortiz, S. F.; Rebello, S.; Zollman, D. (2004). Students' models of Newton's second law in mechanics and electromagnetism. *European Journal of Physics*, 25(1), 81-89.
- Justi, R. S.; Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Kintsch, W.; Greeno, J. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92 (1), 109-129.
- Kohl, P.; Finkelstein, N. (2006). Effect of instructional environment on physics students' representational skills. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 2, 010102(8).
- Kohl, P.; Finkelstein, N. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 1, 010104(11).
- Kook, H.J.; Novak, G. (1991). Representation of models for expert problem solving in physics. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*. 3 (1), 48-54.
- Larking, J. (1981). Cognition of Learning Physics. *American Journal of Physics*. 49 (6), 534-41.
- Larking, J.; McDermott; L.; Simon, H. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208 (4450), 1335-1342.
- Lemeignan, G.; Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 99-120.

- Lemke, J. (2004) Teaching all the languages of science: words, symbols and actions. Conferencia – Barcelona. Consulta online, septiembre del 2007. URL: <http://www-personal.umich.edu/~jaylemke/papers/barcelon.htm>
- Leonard, W. J.; Gerace, W. J.; Dufresne, R. J.; Mestre, J. P. (1999) Concept-Based Problem Solving. Combining educational research results and practical experience to create a framework for learning physics and to derive effective classroom practices. Teacher's Guide to accompany Minds On Physics: Motion. Kendall Hunt Publishing Company, Dubuque, IA.
- Leonard, W.; Dufresne, R.; Mestre, J. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64 (12), 1495-1503.
- Lopes, J. B.; Costa, N. (2007). The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and Potentials for the Learning of the Sciences. *International Journal of Science Education*, (29)7, 811-851.
- Madrugá, J.A. (1988). Entrevista a Philip Johnson-Laird. *Cognitiva*, 1 (3), 311-333.
- Malone, K. (2007). The convergence of knowledge organization, problem-solving behavior, and metacognition research with the Modeling Method of physics instruction – Part II J. Phys. Tchr. Educ. Online, 4 (2), 3-15.
- McDermott, L.; Schaffer, P. (2002). Tutorials in Introductory Physics. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ
- McDermott, L.; Redish, E. F. (1999). Resource Letter PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- Meltzer, D.; Thornton, R. (2012). Resource Letter ALIP-1: Active-Learning Instruction in Physics *American Journal of Physics*. 80(6), 478-496
- Moreira, M.A. (1999). Modelos Mentales. Texto de Apoyo N° 8. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Moreira, M. A.; Greca, I. M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, (16) 2, 289.
- Mulcahy, A (Redacción) (2007) Mejorar la enseñanza de las Ciencias y la Matemática: Una prioridad nacional. Informes y Recomendaciones de la Comisión Nacional para el mejoramiento de la enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática. Disponible online <http://portal.educacion.gov.ar/files/2009/12/Mejoramiento-de-la-ense%C3%B1anza.pdf>
- Murthy, S.; Etkina, E. (2004). Development of scientific abilities in a large class. 2004 Physics Education Research Conference, Heron, J.M., Franklin, S. (Eds). American Institute of Physics – 0-7354-0281-7/05/\$22.50
- Nathan, M.; Kintsch, W.; Young, E. (1992). A theory of Algebra-Word-Problem comprehension and its implication for the design or learning environments. *Cognition and Instruction*. 9 (4), 329-389.

- Nersessian, N. (1995). Should physicists preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning Physics. *Science & Education*, 4 (3), 203- 226.
- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. En D. Gentner, D. y A. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 7-14). Londres. Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak, G. (1982). Model formulation for physics problem solving – Draft. ERIC # ED232859. (<http://www.eric.ed.gov/>).
- Novak, J. (1990). A theory of education. Second edition, Draft of chapters 1-4,
- OCDE (2006). Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura - Marco de la Evaluación PISA 2006. Santillana Educación, España. Consulta online <http://www.oecd.org/pisa/39732471.pdf>
- Perkins, D.; Blythe, T. (2006). Ante todo la comprensión. Traducción al español de Perkins, D. y Blythe, T. (1994) "Putting Understanding up-front". *Educational Leadership* 51 (5), 4-7. Disponible en <http://www.eduteka.org/AnteTodoComprension.php>
- Plan de Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias "2008 Año de Enseñanza de las Ciencias" (2007) Disponible en <http://portal.educacion.gov.ar/files/2009/12/Plan-de-Mejoramiento-de-la-Ense%C3%B1anza-de-las-Ciencias.pdf>
- Pretz, J.E; Naples, A.J. ; Sternberg, R.J. (2004) Recognizing, defining and representing problems. En Davidson, J.E. y Sternberg, R.J. (Eds.). *The psychology of problem solving*. Cambridge University Press. New York.
- Redish, E. (2003) *Teaching Physics with the Physics Suite*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Reid, N.; Yang, M. (2002). The Solving of Problems in Chemistry: the more open-ended problems. *Research in Science & Technological Education*, 20 (1), 83-98.
- Reingenberg, M.; VanLehn, K. (2008). Does solving ill-defined physics problems elicit more learning than conventional problem solving? En B. P. Woolf, E. Aimeur, R. Nkambou & S. Lajoie (Eds) *Doctoral Consortium, Intelligent Tutoring Systems: 9th International Conference*. http://www.pitt.edu/~vanlehn/Stringent/PDF/08ITSMR_KVL.pdf
- Roschelle, J.; Greeno, J. G. (1987). *Mental Models in Expert Physics Reasoning*. ERIC #ED285736. (<http://www.eric.ed.gov/>).
- Schraw, G.; Dunkle, M.; Bendixen, L. (1995) *Cognitive Processes in Well-Defined and Ill-Defined Problem Solving*. *Applied Cognitive Psychology*, 9 (6), 523-538.
- Sensevy, G.; Tiberghien, A.; Santini, J.; Laubé, S.; Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92 (3), 424-446.
- Shekoyan, V. (2009). Using multiple-possibility physics problems in introductory physics courses. Dissertation. Graduate Program in Physics and Astronomy. Rutgers, The State University of New Jersey. Comunicación personal.

- Shekoyan, V.; Etkina, E. (2007). Introducing Ill-Structured Problems in Introductory Physics Recitations. Physics Education Research Conference 2007. Part of the PER Conference series, 951, 192-195, August 1-2, 2007, Greensboro, NC.
- Smit, J.J.A. ; Finegold, M. (1995). Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, 17 (5), 621-634.
- Simon, H.A.; Chase, W. (1973). Skill in chess. *American Scientist*, 61(4), 394-403.
- Simon, H.A. (1973). The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4 (4-3), 181-202.
- Simon, H. A. (1978). Information-processing theory of human problem solving. En Estes, W. K. (Ed). *Handbook of learning & cognitive processes: V. Human information.*(pp. 271-295). Oxford, England: Lawrence Erlbaum, , pp.
- Solaz-Portolés, J.; Sanjosé López, V. (2007). Cognitive variables in science problema solving: A review of research *J. Phys. Tchr. Educ. Online*, 4(2), 25-32
- Sokoloff , D.; Thornton, R. (2006) *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Sokoloff , D.; Thornton, R. y Laws, P. (2004) *RealTime Physics Active Learning Laboratories Module 1: Mechanics, 2nd Edition*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M.G.M.; Broekkamp, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *J. Res. Sci. Teach.*, 38(4), 442-468.
- Tapiero, I.; Otero, J. (2002). Situation Models as retrieval structures: Effects on the global coherence of science texts. En Otero, J. y Graesser, A. (Eds.), *The psychology of science text comprehension* (pp. 179-198). Londres. Lawrence Erlbaum Associates.
- The Occupational Information Network (O*NET) Summary Report for: 19-2012.00 – Physicists. US Department of Labor/Employment and Training Administration. Consulta online <http://www.onetonline.org/link/details/19-2012.00>
- Truyol, M.E.; Gangoso, Z. ; Sanjosé López, V. (2012). Modeling in physics: a matter of experience?. *Latin - American Journal of Physics Education*. (6)SI, pp. 260-265, 2012.
- Truyol, M.E.; Gangoso, Z. (2010) La selección de diferentes tipos de problemas de Física como herramienta para orientar procesos cognitivos. *Investigações em Ensino de Ciências*, (15)3, 463-484.
- Truyol, M.E.; Brincones Calvo, I. ; Gangoso, Z. ; Gattoni, A. (2008). Modelado de situaciones físicas, instrucción y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería. V Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias - X Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física. La Habana, Cuba. Publicación en CD ISBN 978-959-18-0349-8. Disponible en <http://www.famaf.unc.edu.ar/~scout/gef/publicaciones/FIS-27.pdf>
- Truyol, M.E. (2006). Resolución de Problemas en Física Básica: algunos factores explicativos de desempeño. Trabajo Especial de Licenciatura en Física. FaMAF – UNC. T.E.F TRUr – Inventario nº 18198 – Biblioteca FaMAF.

Van Dijk, T.; Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Academic Press, New York

Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*. 59 (10), 891–897.

Vasconcelos C., Lopes B., Costa N., Marques L.; Carrasquinho S. (2007). Estado da arte na resolução de problemas em Educação em Ciência *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2) 235-245.

Williams, T. (1999) Semantics in teaching introductory physics. *American Journal of Physics*, 67 (8), 670-738.