

Influencia del texto y del contexto en la Resolución de Problemas de Física



Julio Benegas y Myriam Villegas

*Departamento de Física- Instituto de Matemática Aplicada San Luis
Universidad Nacional de San Luis/CONICET, San Luis, Argentina.*

E-mail: jbenegas@unsl.edul.ar

(Recibido el 22 de Diciembre de 2010; aceptado el 16 de Marzo de 2011)

Resumen

La investigación educativa en física ha demostrado la importancia del contexto en el aprendizaje de los conceptos fundamentales de la disciplina, así como en la aplicación de los principios físicos a problemas de la vida cotidiana y de otras disciplinas. Sin embargo el problema de la incidencia del contexto y del tipo de enunciado en el desempeño estudiantil, medido generalmente a través de la resolución de problemas, no parece haber sido estudiado con la misma profundidad. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio exploratorio en el cual se analiza la resolución de dos situaciones problemáticas distintas, una bastante tradicional de los libros de texto y la otra más conectada con la realidad cotidiana, presuntamente familiar al estudiante. Cada situación problemática fue además expresada en dos formatos diferentes: como problema rico en contexto y el tradicional de “fin de capítulo” de los libros de texto. La muestra estudiantil analizada, correspondiente a alumnos de primer año de una universidad pública de Argentina, ha sido entrenada en la resolución de ambos tipos de problemas. Los resultados muestran que estos alumnos tienen un satisfactorio rendimiento en ambos tipos de enunciado en la situación instruccional, mientras que en la situación cotidiana, de menor complejidad física, muestran un rendimiento notablemente menor en ambos tipos de texto. Se encuentran además indicios de que en situaciones cotidianas tienden a responder de manera ingenua, abandonando los conceptos y estrategias con que fueron instruidos. Algunas sugerencias para la instrucción son elaboradas a partir de estos resultados.

Palabras clave: Resolución de problemas, evaluación, problema rico en contexto, texto

Abstract

The research in Physics Education has shown the relevance of the context in the conceptual learning of Physics. The context has been shown also relevant for the transfer of knowledge and for the development of problem solving abilities. But the importance of context in student performance, usually assessed in Physics through problem solving has received less attention. In this work are presented the preliminary results of an exploratory study in which problems of identical physics, but written in different formats, classical end-of-the-chapter or Context Rich, are solved by introductory physics students majoring in physics and mathematics in an Argentinean public university. The physical situation has also been changed: one regards applying physics to the every day experience of moving a heavy box on a horizontal floor, while the other is closer to the kind of instructional situations found in most introductory physics books. The preliminary results show that these students, trained in solving problems with both types of texts, perform clearly better in problems corresponding to the instructional situation than in everyday situations, with little effect regarding the type of text. There is also some evidence that in solving the everyday situation student tend to apply rather naïve knowledge, postponing or ignoring their instruction regarding physics concepts and problem solving strategies. A few recommendations for the teaching of introductory physics courses are presented and discussed.

Keywords: Problem solving, evaluation, context rich problem, text.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.50.Kw.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La investigación en aprendizaje y enseñanza de la Física desde fines de los 70 a la fecha ha demostrado, reafirmando y apoyándose en resultados más generales de Psicología Cognitiva, que el estudiante debe estar activamente involucrado en el proceso de construcción de su propio

conocimiento [1]. Sobre esta base y a partir de una variedad de resultados experimentales se ha desarrollado, particularmente en la última década, una importante cantidad de metodologías de enseñanza diseñadas para potenciar el aprendizaje conceptual. En general se llaman estrategias de enseñanza para el aprendizaje activo y cada una de ellas abarca una o varias de las actividades

tradicionales de instrucción, incluyendo las clases “teóricas” numerosas, que han pasado de ser las clásicas “magistrales” a unas con gran participación estudiantil [2,3]. Esta aproximación didáctica también se ha extendido a las otras actividades tradicionales, como el trabajo de laboratorio [4,5] y de resolución de problemas [6]. (Para un listado más completo ver referencias [1] y [7]).

En este encuadre la resolución de problemas (al igual que las actividades de laboratorio) han dejado de tener un rol esencialmente de verificación de leyes y práctica de habilidades ya adquiridas para convertirse en una herramienta muy valiosa para el aprendizaje conceptual. Se entiende actualmente que los procesos utilizados para adquirir y/o desarrollar conceptos y procedimientos en situaciones nuevas, se corresponden con los de desarrollo de las capacidades de resolución de problemas. La resolución de problemas se basa en dos tipos de conocimientos: el conocimiento conceptual y el de estrategias de resolución de problemas. En este esquema el desarrollo de la capacidad de resolución de problemas puede apoyar el desarrollo del conocimiento conceptual. Pero para que ello sea posible, los problemas deben representar un salto entre lo que el alumno sabe y aquello que debe lograr. Problemas que simplemente exigen la aplicación de datos dados en ecuaciones conocidas o inclusive dadas o sugeridas, son simples tareas o ejercicios y no cumplen la función de aprendizaje indicada más arriba. Los problemas sirven además para modificar el contexto de aplicación del conocimiento, una condición básica para que los aprendizajes se consoliden y puedan ser transferidos eficientemente a nuevos contextos, es decir sean significativos y relevantes para aprender a aprender.

Siguiendo esta línea de pensamiento, y siempre basado en amplios y confirmados resultados de la investigación educativa en Física, Redish [8] propone cinco principios sobre los cuales debería asentarse la Física educativa como ciencia. De particular relevancia para este trabajo es el principio contextual, que enfatiza que la construcción del aprendizaje individual depende del contexto, incluyendo los estados mentales del individuo.

En este marco conceptual nos preguntamos como debe ser la evaluación de la instrucción, tradicionalmente realizada en Física a través de la resolución de problemas, para que represente fielmente el grado de conocimiento conceptual y procedimental de los estudiantes. Algunos resultados de la investigación en aprendizaje de la Física alertan que la evaluación (al igual que el aprendizaje) es dependiente del contexto. Por ejemplo Steimberg y Sabella [9] han mostrado como cambia el rendimiento estudiantil si el mismo concepto es evaluado mediante una pregunta conceptual referida a una realidad cotidiana, como las preguntas del Force Concept Inventory (FCI) [10], o por un problema instruccional típico, como la mayoría de los que tienen los libros de texto al final de capítulo. Ellos encontraron que para un movimiento vertical con velocidad constante, 90% de los alumnos evaluados contestan correctamente el problema clásico (descontextualizado), mientras que sólo el 55% contestó correctamente la pregunta del FCI. Un resultado similar es referido por

Mazur [2] cuando se interroga a los estudiantes respecto de la corriente en circuitos eléctricos resistivos simples de batería y resistencias o sobre la intensidad de iluminación de lamparillas en un circuito similar. Otros resultados alertan sobre los diferentes rendimientos estudiantiles al resolver problemas presentados en distintas representaciones [11,12].

En esta línea de trabajo el problema que proponemos estudiar se relaciona con el rendimiento estudiantil frente a diversas situaciones problemáticas que se plantean en las prácticas de resolución de problemas y en la evaluación del curso introductorio de Física universitaria. La pregunta que guía este trabajo es si el rendimiento estudiantil en resolución de problemas depende del tipo situación problemática y de las características del texto del enunciado del problema.

La descripción de nuestra aproximación didáctica se realiza en la sección siguiente. Luego describiremos el experimento, y en particular el instrumento de medición, el cual fue utilizado en el proceso de evaluación normal de la asignatura. Finalmente se describen y discuten los principales resultados, elaborando algunas recomendaciones para la instrucción.

II. UNA APROXIMACIÓN AL APRENDIZAJE ACTIVO

Los principales resultados de la investigación en aprendizaje de la Física desde la década de los 80s han sido resumidos por McDermott [13] en seis generalizaciones relacionadas con los procesos de enseñanza y de aprendizaje. De particular relevancia para nuestra discusión son las dos primeras generalizaciones: a) la facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento práctico y b) las conexiones entre conceptos, representaciones formales y el mundo real son inexistentes después de la instrucción tradicional.

Nuestra aproximación didáctica se nutre de estos principios y generalizaciones, que además enfatizan que la instrucción debe ejercitar la descripción de situaciones problemáticas mediante diversos tipos de representaciones. La variedad de contextos de aplicación de los principios físicos, y de las correspondientes representaciones son un paso fundamental para lograr un aprendizaje sólido y significativo, que pueda ser transferido eficientemente a sus diferentes dominios de aplicación. La resolución de problemas, objeto de este estudio, también debería colaborar para facilitar y consolidar el aprendizaje conceptual. Para ello los problemas deberían fomentar el razonamiento cualitativo y la integración de conocimientos, utilizando diferentes representaciones, en contextos tan familiares como sea posible a la realidad del sujeto que resuelve o “resolveror”.

La asignatura de aplicación, Introducción a la Física, corresponde al primer cuatrimestre de primer año de las carreras de Física y de Matemáticas de una universidad estatal de Argentina. Los contenidos de la instrucción son cinemática en una y dos dimensiones, fuerzas y cinemática

de rotación. La instrucción estimula el aprendizaje activo mediante la utilización de estrategias de enseñanza como Interactive Lecture Demonstrations [3] y Peer's Instruction [2]. En las clases de problemas se utilizó la metodología Cooperative Problem Solving [6], cuya estrategia de Problemas Ricos en Contexto (PRC) también fue implementada en las prácticas de laboratorio. Estas metodologías fueron completadas con la utilización de Tutoriales para Física Introdutoria [14], destinados al desarrollo de la comprensión conceptual. Tutoriales fueron realizados en el horario de laboratorio, en las semanas en que no se realizaba actividad experimental. En la práctica semanal de resolución de problemas los alumnos debían trabajar en grupos cooperativos de 3 o 4 estudiantes, bajo la supervisión de un docente facilitador. Cada semana cada grupo cooperativo debía realizar, además de los problemas de práctica, un Problema Rico en Contexto que era entregado para su evaluación.

A. Características de expertos y novatos

Uno de los objetivos fundamentales de la asignatura de aplicación fue el desarrollo de las habilidades profesionales (comunicación oral y escrita, manejo de distintas representaciones, uso de software de representación y resolución de problemas, entre otras), que deberían ayudar al alumno no solo a través de su carrera, sino también en su futura vida profesional. En lo concerniente a resolución de problemas, siguiendo los resultados de diversas investigaciones [15,16], decidimos aplicar una estrategia prescriptiva elaborada siguiendo los pasos de resolución que efectúan los expertos. Estos comienzan su resolución con un análisis cualitativo del problema, que generalmente incluye una representación pictórica de la situación, luego una representación física, que puede incluir gráficas y/o diagramas apropiados que faciliten la comprensión de la situación problemática y de los conceptos físicos relevantes para su resolución. Luego de la comprensión cualitativa, realizan la representación algebraica y proceden a la manipulación matemática de las ecuaciones para poner la variable incógnita en función de aquellas conocidas. Finalmente realizan los cálculos necesarios y evalúan la razonabilidad y plausibilidad de la solución encontrada. Por el contrario el resolvidor novicio lee superficialmente el enunciado y busca en su "banco" de ecuaciones cual es aquella donde puede meter toda la información brindada por el texto, resolviendo numéricamente para la variable incógnita.

Como se observa, para transformar un novicio en experto, se lo debería entrenar en la realización de todos los pasos intermedios que normalmente no hace. Esto es lo que proponen las llamadas metodologías prescriptivas, donde la resolución de problemas es guiada por una serie de pasos y preguntas que corresponden a las diversas etapas de la resolución de un experto. Basado en los resultados de la investigación en resolución de problemas de física Heller y Heller [6] proponen que los alumnos sigan una especie de protocolo de resolución bastante detallado. Si bien los alumnos en general resisten esta metodología porque

implica escribir varios resultados intermedios, resulta importante resaltar que la investigación educativa [16] reafirma con claridad que a mayor grado de detalle en el procedimiento (más pasos y labor del estudiante) estos resultan mejores resolvidores. En la aplicación local se ha seguido el esquema de 5 pasos propuesto para la resolución de los Problemas Ricos en Contexto (PRC), metodología desarrollada y aplicada exitosamente en la Universidad de Minnesota en Minneapolis.

El enunciado de un Problema Rico en Contexto describe una situación aproximadamente real, familiar al alumno en lo posible, o que pueda ser imaginada fácilmente (un viaje espacial u otras acciones que comunes en películas, libros, etc.). Un PRC puede no contener toda la información necesaria (dejando al estudiante que busque dicha información) y sobre todo la pregunta no esta a veces realizada de manera directa. Estos problemas son usualmente difíciles de resolver por un solo alumno, de manera que estimulan la labor cooperativa del grupo. Heller y Heller [6] proponen 21 elementos que sirven para categorizar el grado de dificultad de un problema, de manera que el instructor pueda graduar la utilización de los mismos de acuerdo al grado de avance de la instrucción, para resolución grupal o individual, de práctica o para examen.

III. EL EXPERIMENTO

El experimento consistió en analizar la resolución de dos situaciones problemáticas distintas, expresada cada una de ellas en dos formatos de enunciado diferente: en el tradicional de los problemas de fin de capítulo de los libros de texto o como Problema Rico en Contexto. En el formato clásico el texto del problema estaba acompañado de un dibujo esquemático de la situación, de manera de minimizar el trabajo de interpretación del texto y formación del modelo de la situación, como a menudo se hace en los problemas de final de capítulo de los textos de Física universitaria. Un problema de cada tipo fue resuelto individualmente por alumnos de dos grupos de alumnos, formados de forma aleatoria ($N_A = 17$ y $N_B = 15$), en el último examen parcial de la asignatura de aplicación. El problema en formato de Problema Rico en Contexto debía ser resuelto siguiendo el protocolo de resolución de 5 pasos propuestos por Heller y Heller [6]: representación pictórica, representación física (que incluía diagrama de cuerpo libre (DCL) y/o de movimiento (DM), según correspondiera), planificación (que utilizaba la representación algebraica), solución y control de la solución. En el de texto clásico los alumnos no estaban obligados a seguir un dado formato de resolución. La equivalencia de tareas de cada grupo se daba porque las dos situaciones físicas eran idénticas para cada grupo, solo que se alternaba el formato, es decir cambiaba el tipo de enunciado: texto clásico o de PRC.

Cada problema fue evaluado con dos calificaciones: a) siguiendo la asignación de puntajes recomendada para los PRC, es decir evaluando cada uno de los 5 pasos del esquema y b) según una forma más tradicional, de acuerdo a

si el alumno logró la solución requerida o no, con una mínima asignación de puntaje por el proceso de resolución. La asignación de puntaje según PRC fue: $\text{Nota s/PRC} = [0, 5 * \text{Rep. Pict.} + 0, 7 * (\text{Rep. Fís} + \text{Plan} + \text{Sol.}) + 0, 4 * \text{CTRL}] / 3$.

IV. RESULTADOS

Los resultados se presentan según el tipo de situación problemática: Una que denominamos instruccional y otra considerada cotidiana. En cada caso idéntica situación física se presenta con formato de enunciado de problema Rico en Contexto o tradicional de libro de texto. Las tablas de resultados expresan el desempeño estudiantil como rendimiento medio de todo el grupo y también el rendimiento de los alumnos de alto rendimiento (AR) y de bajo rendimiento (BR), definidos como aquellos que realizaron satisfactoriamente o no la tarea. El objetivo de esta categorización es ayudar a identificar en qué paso(s) de la resolución se producen las dificultades estudiantiles. En cada caso se adjunta el Grado de Dificultad (GD) del problema, elaborado según la escala de dificultades propuesta por Heller y Heller para los PRC.

A. Situación instruccional

Esta situación problemática considera una Máquina de Atwood modificada, donde uno de los cuerpos se mueve horizontal y el otro verticalmente.

TABLA I. Resultados por dimensión para los problemas de Máquina de Atwood Modificada. Las dimensiones evaluadas son: Representación pictórica (R Pict), Diagrama de Cuerpo Libre (DCL), Representación algebraica (R Alg), Planificación de la solución (Plan), cálculo de la misma (Sol) y Control de la Solución (CTRL). Las dos últimas columnas indican la Nota que se le asignaría según fuera evaluado siguiendo las normas de PRC o tradicional (TRD). Se agregan Coherencia entre aceleración (a) y las tensiones (T) y los sistemas de Coordenadas de ambos cuerpos. La tabla expresa el rendimiento (en %) de los siguientes grupos: Media: Toda la muestra, Alto R: Alto rendimiento, Bajo R: Bajo rendimiento.

a) Problema A2: Versión PRC, resuelto por el Grupo A. $N_{AR}=11$ y $N_{BR}=6$. Grado de dificultad: 5.

Dimensión/ población	R Pict	DCL	R Alg.	Coher a- Sist Coord	Coher T- Sist Coord	Plan	Sol	CTRL	s/PRC	s/TRD
Media	88	69	74	59	82	86	80	0	70	71
Alto R	92	70	79	73	91	100	94	0	78	93
Bajo R	79	68	65	33	67	61	56	0	56	29

b) Problema B2: Versión enunciado tradicional de libro de texto, resuelto por el Grupo B. $N_{AR} = 11$ y $N_{BR} = 4$. Grado de dificultad: 4.

Dimensión/ población	R. Pict	DCL	R Alg	Coher a- Sist Coord	Coher T- Sist Coord	Plan	Sol	CTRL	s/PRC	s/TRD
Media	Dada	78	94	73	90	93	93	0	80	82
Alto R	Dada	82	95	93	97	95	98	0	83	97
Bajo R	Dada	50	91	25	75	81	83	0	68	41

Nótese el elevado nivel de rendimiento en todos los pasos de la resolución del problema, excepto en el control de la solución. En particular las representaciones pictóricas, físicas y algebraicas son muy satisfactorias para todo el grupo. Un solo alumno de este grupo tuvo un error conceptual ($a = g$). Todo el grupo demostró una excelente

A.1 Enunciado de Problema Rico en Contexto (resuelto por el Grupo A).

Problema A2: “Ud. está trabajando como investigador de accidentes y se lo designa para estudiar uno ocurrido en un edificio en construcción. Según el informe policial, en el piso 10° de dicho edificio funcionaba un aparato para acarrear material que consistía de un cajón que era arrastrado horizontalmente sobre el piso en construcción por un cable fino. El cable pasaba por una polea ubicada en el borde del edificio y luego caía verticalmente hacia abajo sosteniendo un contrapeso, colgado al costado del edificio. El encargado del aparato declaró que el cajón tenía una masa de alrededor de 60kg, mientras que el contrapeso que colgaba verticalmente del otro extremo del cable era de unos 40kg de masa. Sostuvo además que el cajón partió de reposo y recorrió unos 10 metros antes del accidente. El supervisor de seguros piensa que hay dos hipótesis del accidente para estudiar: se rompió el cable porque la tensión era demasiado grande o el cajón alcanzó demasiada velocidad y se desarmó, con lo cual el contrapeso cayó prácticamente en caída libre y produjo el accidente. Para evaluar ambas hipótesis le encarga calcular el valor de la tensión de la cuerda y de la velocidad del cajón al cabo de los primeros 10 metros de recorrido. En un experimento anterior Ud. recuerda haber determinado que el coeficiente de rozamiento entre un cajón y el piso es de 0, 25”.

Los resultados por dimensión se informan en la Tabla I, a).

coherencia entre los signos de la tensión en la cuerda y los sistemas de coordenadas (82%). La coherencia entre la aceleración y los sistemas de coordenadas es el principal problema del grupo (7/17). La coherencia entre la tensión y/o la aceleración con los sistemas de coordenadas es el factor determinante en el rendimiento estudiantil

(correlación Nota- coherencia entre a y/o T con los sistemas de coordenadas es $\sigma = 0,72$, mientras que la correlación con la Nota s/PRC es aún mayor ($\sigma = 0,84$). Observamos finalmente que aproximadamente la mitad de la muestra realizó una resolución completamente correcta (8/17).

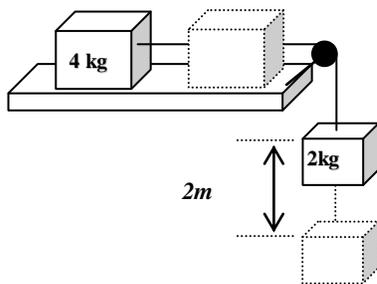
A.2 Enunciado de problema tradicional o de libro de texto (versión resuelta por el Grupo B).

La misma situación física se propuso como problema de enunciado clásico (tomada de los problemas de final del Capítulo 4 del libro de Giancoli [17]), y fue resuelta por el grupo B de alumnos:

Problema B2: *En la siguiente figura el coeficiente de fricción cinética entre el bloque de 4kg y la repisa es de $\mu = 0,35$.*

a- ¿Cuánto vale la tensión en la cuerda?

b- ¿Cuánto vale la velocidad del cajón de 2kg cuando bajó una distancia $y = 2m$, suponiendo que partió de reposo en el instante inicial.



Los resultados por dimensión se muestran en la Tabla I, b).

Vemos que hay una buena representación física (DCL), con una diferencia importante a favor de los alumnos de AR, sin embargo las representaciones algebraicas son excelentes en ambos grupos. El rendimiento global del grupo es bueno. La diferencia en rendimiento entre los alumnos de AR y de BR está determinada de nuevo por la coherencia entre los signos de la aceleración con los sistemas de coordenadas de los dos cuerpos, y en menor medida por la coherencia entre el signo de la tensión y de los sistemas de coordenadas, la cual es excelente en general. Si componemos un factor de rendimiento formado por el producto de la coherencia aceleración-sistema de coordenadas y de la coherencia de las tensiones con los sistemas de coordenadas, se encuentra una alta correlación entre ese factor y la calificación obtenida según la evaluación tradicional ($\sigma = 0,70$), pero solo modesta con la nota asignada según criterios de PRC ($\sigma = 0,27$). Si consideramos simultáneamente AMBAS coherencias (de la aceleración a y de la tensión T con los sistemas de coordenadas, se encuentra que el 93% de los buenos resolutores mantienen esa coherencia, mientras que NINGUNO de los pobres resolutores las tiene, o sea, todos ellos fallan al menos en una de las asignaciones de signos a las aceleraciones o tensiones.

Dos puntos principales surgen de la comparación del desempeño de ambos grupos: los dos tienen un excelente

Influencia del texto y del contexto en la Resolución de Problemas de Física. desempeño medio, apenas superior en el grupo que resolvió el formato tradicional que el que resolvió en formato PRC (aproximadamente 80% vs 70%) y b) la diferencia en la evaluación de los subgrupos de AR y BR es más acentuada según la nota tradicional. Esto se debe a que en la evaluación según PRC se da peso a la realización de los cinco pasos del proceso, relativizando el valor de obtener la respuesta correcta.

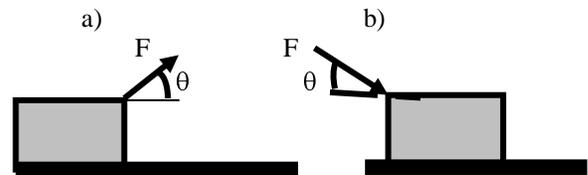
B. Situación cotidiana

La situación problemática denominada cotidiana correspondió a la experiencia bastante común de tener que arrastrar una caja sobre un piso plano. La pregunta del problema es si conviene tirar o empujar del cajón, en ambos casos aplicando una fuerza inclinada el mismo ángulo respecto del eje horizontal, pero que al tirar se aplica hacia arriba mientras que al empujar es hacia abajo.

B.1 Enunciado Tradicional.

Al Grupo A se le asignó resolver el siguiente problema:

Problema A1: *Luis y Juan tienen que desplazar un cajón a velocidad constante en el patio de su casa. Luis cree que empujando hará la menor fuerza, mientras que Juan afirma que hace menor fuerza si tira del cajón. En ambos casos la fuerza se realiza a un ángulo con la horizontal, pero al tirar es hacia arriba y al empujar es hacia abajo, tal como muestra la figura. ¿Cuál tiene razón?. Explica en detalle tu razonamiento.*



Juan tira con una fuerza F a un ángulo θ . b) Luis empuja con una fuerza F a un ángulo θ .

Como se observa, nuevamente un dibujo esquematiza la situación planteada, de manera de minimizar los problemas de interpretación del texto.

La Tabla II. a), presenta los principales resultados de la resolución. Vemos que solo alrededor de un tercio del total de alumnos realiza un diagrama de cuerpo libre (DCL), que menos del 20% traslada dichos DCL en ecuaciones de 2da. Ley de Newton por componentes y que solo una muy pequeña fracción (10%) realiza correctamente la correspondiente representación algebraica. No existe planificación, cálculo ni control de la solución. Todos los alumnos de alto rendimiento realizan sin embargo una justificación textual y correcta, mientras que el 73% de los alumnos de bajo rendimiento hacen una justificación textual pero incorrecta. De los 6 alumnos de AR, sólo la mitad realiza un DCL. Si se compara con el rendimiento del mismo grupo en el Problema A1, notamos que se ha invertido la relación entre la cantidad de buenos y malos resolutores, a pesar de ser este el problema de menor

grado de dificultad del examen, aparentemente bastante menos dificultoso que el problema A2.

Un análisis de la producción de todo el grupo demuestra que no existe correlación entre la Nota tradicional y las representaciones de DCL y algebraica. Tampoco hay correlación con la planificación, mientras que la correlación entre la Nota s/PRC y estas representaciones son altas ($\sigma = 0,98$), similar a la correlación entre la argumentación de la respuesta y Nota. De los alumnos de BR, solo uno responde guiado por un análisis científico. Los otros 10 no usan sus conocimientos científicos estructuradamente para responder.

B.1 Enunciado versión Problema Rico en Contexto

Al grupo B de alumnos correspondió un problema físicamente idéntico, pero enunciado como Problema Rico en Contexto, referido a la situación hipotética, pero fácilmente imaginable, de acarrear en la forma más

eficiente bloques de piedra para construir las pirámides egipcias.

Problema B1: *Para construir las pirámides, los habitantes del antiguo Egipto (antes de que se inventara la rueda) tuvieron que decidir cual método de acarrear los bloques de piedra era más eficiente: tirarlos mediante una cuerda o empujarlos. Los bloques eran cubos de aproximadamente 1 metro de lado, de manera que para arrastrarlos los esclavos tenían que tirar de cuerdas que formaban un ángulo θ con la horizontal (hacia arriba), mientras que al empujarlos lo hacían aplicando una fuerza con sus manos, que formaban aproximadamente el mismo ángulo θ con la horizontal, pero dirigido hacia abajo ($-\theta$). Si usted hubiera sido el Asesor Científico del Faraón, ¿cuál método hubiera recomendado en su informe técnico?*

Los resultados por dimensión están representados en la Tabla II. b).

TABLA II. Resultados por dimensión para el problema de situación cotidiana (nomenclatura como en Tabla I): a) versión de enunciado tradicional de libro de texto (problema A1). $N_{AR} = 6, N_{BR} = 11$. Grado de dificultad: 3, b) versión PRC (problema B1). $N_{AR} = 7, N_{BR} = 8$. Grado de dificultad: 4.

a) enunciado tradicional, resuelto por el Grupo A.

Dimensión / población	R. Pict.	DCL	R. Alg	Plan	Sol	CTRL	s/PRC	s/TRD
Media	Dada	35	7	0	0	0	9	36
Alto R	Dada	30	19	0	0	0	10	98
Bajo R	Dada	38	1	0	0	0	7	3

b) enunciado como Problema Rico en Contexto, resuelto por el Grupo B.

Dimensión/ población	R Pict	DCL	R Alg	Plan	Sol	CTRL	S/PRC	s/TRD
Media	35	43	30	25	22	0	25	49
Alto R	36	69	49	54	46	0	53	98
Bajo R	35	21	14	0	0	0	10	6

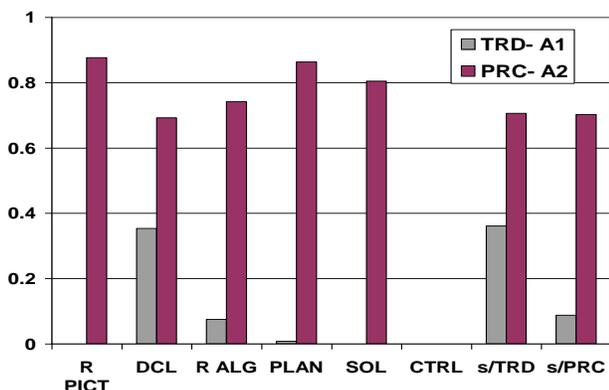


FIGURA 1. Rendimiento por dimensión del Grupo A. TRD problema texto tradicional, PRC Problema Rico en Contexto.

Las características más importantes son: las representaciones pictóricas, físicas (DCL) y algebraicas son mediocres (un promedio del 35% correctas). La planificación decrece a un 25% correcta y está estrechamente correlacionada con la Nota TRD ($\sigma = 0,77$) y más aún con la Nota s/PRC ($\sigma = 0,86$). También existe correlación razonable entre la Nota TRD y la composición de las representaciones física y algebraica ($\sigma = 0,56$). El rendimiento estudiantil es regular según la calificación tradicional y más pobre aún según los criterios de evaluación de los PRC, esto último afectado por la falta de control de la solución y de las pobres representaciones realizadas por los alumnos. Casi todos los alumnos de AR realizan representaciones físicas y/o algebraicas adecuadas, mientras más del 60% de los alumnos de BR no ensaya representación física o algebraica alguna.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran con claridad la enorme diferencia en rendimiento de un mismo grupo de alumnos frente a situaciones problemáticas de tipo instruccional o directamente relacionadas con la vida cotidiana y que esta diferencia no se correlaciona con el grado de dificultad del problema. Si bien algunos de estas conclusiones han sido reportadas en la literatura [1,2], el presente trabajo resalta que el rendimiento estudiantil varía notablemente frente a una situación cercana a la realidad (persona arrastrando un cajón), en lo que se considera una situación física simple (movimiento rectilíneo a velocidad constante de un solo cuerpo) y una situación imaginaria aparentemente mucho más compleja desde el punto de vista físico (dos cuerpos moviéndose con aceleración constante en direcciones ortogonales y unidos por una cuerda). La Figura 1 muestra con claridad la enorme diferencia en rendimiento de los mismos alumnos frente a estos dos problemas. Totalmente contrario a lo esperado el desempeño estudiantil en el problema más simple es el de una población prácticamente sin instrucción, respondiendo de manera ingenua a la pregunta explícita del problema. A pesar de que el texto del problema provee un dibujo que facilita la formación de un robusto modelo de la situación, sólo alrededor de un tercio de los alumnos plantea el DCL necesario para comenzar la resolución y casi no existe la representación algebraica. Por el contrario, de la Figura 1 y de los datos de la Tabla I, se observa que en el problema de la Máquina de Atwood modificada en formato PRC (problema A2) casi todos los alumnos, tanto de AR como de BR, realizan una muy buena representación pictórica, física y algebraica del problema, lo cual conduce a una correcta planificación y cálculo de la solución. Resumiendo vemos que el aparentemente simple problema A1 es resuelto solo por un tercio de los alumnos, mientras que el problema A2, claramente más complejo, es correctamente resuelto por alrededor de dos tercios de la muestra (Tabla III).

Similar situación se observa en el rendimiento del Grupo B, aunque aquí la diferencia entre uno y otro problema disminuye, en parte seguramente porque al tener los alumnos que resolver la situación “cotidiana” de construir las pirámides en formato PRC, debían seguir el esquema de 5 pasos, o sea realizar las representaciones pictóricas, física y algebraica. Es notable sin embargo que lo haya hecho un porcentaje solo alrededor de la mitad del que realizó tan buenas representaciones en la situación (físicamente) mucho más elaborada de la Máquina de

Atwood. Parecería que situaciones definitivamente más complejas, inclusive algo artificiosas, son percibidas por los alumnos como de clara aplicación de los conceptos y procedimientos desarrollados por la instrucción, mientras que aquellas situaciones cercanas a la vida diaria, lejos del aula, les induce a contestar de manera ingenua, sin hacer uso de sus conocimientos conceptuales y procedimentales. Parecerían separar la Física del aula de los principios y leyes que rigen su vida diaria.

El rendimiento estudiantil, resumido en la Tabla III, muestra la dramática diferencia en la fracción de alumnos de alto y bajo rendimiento según el tipo de situación problemática analizada. Por ello, y en respuesta a la pregunta original, este trabajo alerta que el rendimiento estudiantil puede ser manifiestamente diferente (desde excelente hasta completamente deficiente) según el tipo de situación problemática. Sin embargo un estudio más profundo debería tener en cuenta otros factores, como la presencia de modelos o concepciones alternativas, que podrían condicionar el rendimiento estudiantil. Al respecto corresponde señalar que esta muestra estudiantil respondió casi al mismo tiempo el test FCI, en cual en sus preguntas 25 a 27 propone una situación cotidiana similar a la del problema A1. En particular las pregunta 25 se refiere a la fuerza que debe ejercer una mujer que empuja un cajón a velocidad constante en un piso horizontal. Esta pregunta fue respondida correctamente por el 56% de esta muestra estudiantil, mientras que alrededor del 30% sostuvo que la fuerza hacia delante debía ser mayor que la fuerza de fricción. La Pregunta 26, donde la mujer incrementa su fuerza, un 40% respondió que se aumentaría el valor (constante) de la velocidad y solo 33% respondió correctamente que el movimiento sería acelerado. Este tipo de modelos alternativos pueden seguramente condicionar fuertemente la respuesta estudiantil frente a problemas directamente relacionados con la vida cotidiana, y tener poca influencia sobre los más clásicos, de tipo instruccional.

Respecto del efecto del tipo de enunciado (para estos alumnos entrenados en la resolución de Problemas Ricos en Contexto), no parece que el enunciado más complejo de los PRC afecte negativamente el rendimiento estudiantil, ya que las pequeñas diferencias observadas en las dos situaciones planteadas no son sistemáticas ni relevantes. Estos puntos deberían ser tenidos en cuenta por la instrucción, de manera que la evaluación represente el real grado de conocimiento conceptual y procedimental de los estudiantes.

TABLA III. Fracción de estudiantes de AR y BR y rendimiento estudiantil medio (en %) según la evaluación sea TRD o PRC, para los dos tipos de situaciones (cotidiana/instruccional) y de texto (TRD/PRC) de esta experiencia. GD es grado de dificultad [6].

Situación	Cotidiana						Instruccional					
	Grupo	Texto	GD	AR	BR	s/TRD	s/PRC	Texto	GD	AR	BR	s/TRD
A	TRD	3	35	65	36	9	PRC	5	65	35	71	70
B	PRC	4	47	53	49	25	TRD	4	73	27	82	80

En aspectos más generales, es notorio que los alumnos de ambos grupos en ningún caso realizaron un control de la solución, ni aún en los problemas con formato PRC donde expresamente se les pide sobre la razonabilidad de la misma. Tampoco se apreciaron indicios de una predicción que ayude en el proceso de control de los pasos intermedios de la resolución.

Este proceder es una clara indicación de que los alumnos con solo un trimestre de instrucción en una metodología de resolución de problemas no adquieren la cultura del experto que se buscaba. En un entorno educativo diferente, (estudiantes de ingeniería en una universidad americana, K. Heller, comunicación personal) se ha observado que los alumnos recién al final del segundo o aun durante el tercer curso de física básica comienzan a utilizar sistemáticamente la estrategia de resolución de los expertos. La instrucción debería contemplar por lo tanto la continuidad del trabajo en grupos cooperativos para resolver problemas en diferentes contextos por un período de tiempo mayor al de esta experiencia.

VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el auspicio del Proyecto PROICO-3-2-0102, "El rol del aprendizaje conceptual de la Matemática y la Física en el rendimiento de los alumnos de carreras de ciencias e ingeniería de la UNSL" de la Universidad Nacional de San Luis, Benegas, J., es miembro de la "Carrera del Investigador Científico", CONICET, Argentina.

VII. REFERENCIAS

- [1] Redish, E., *Teaching Physics with the Physics Suite*, (Wiley, New York, 2004).
- [2] Mazur, E., *Peer's Instruction*, (Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 1997).

- [3] Thornton, R., & Sokoloff, D., *Interactive Lecture Demonstrations*, (John Wiley & So. Hoboken, N.J., 2004).
- [4] Laws, P., *Workshop Physics*, (Wiley, New York 2004).
- [5] Sokoloff, D., Thornton, R., & Laws, P., *Real Time Physics*, (John Wiley & So., Hoboken, N.J., 2004).
- [6] Heller, P., y Heller, K., *Cooperative Group Problem Solving in Physics*, (University of Minnesota, Minneapolis, 1999).
- [7] McDermott, L. C., and Redish, E. F., *Resource Letter: PER-1: Physics Education Research*, Am. J. Phys. **67**, 755-767 (1999).
- [8] Redish, E., *Millikan Award Lecture "Building a Science of Teaching Physics"*, Am. J. Phys. **67**, 562-573 (1999).
- [9] Steimberg, y Sabella, *Performance on multiple choice diagnostics and complementary exam problems*, Phys. Tech. **35**, 150-156 (1997).
- [10] Hestenes, D., Wells, M., and Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, Phys. Teach. **30**, 141-58 (1992).
- [11] Buteler, L., y Gangoso, Z., *Diferentes enunciados del mismo problema: problemas diferentes?*, Investigações em Ensino de Ciências **6**, 148-162 (2002).
- [12] Yerushalmi, E., and Magen, E., *Same old problem, new name? Alerting students to the nature of the problem-solving process*, Physics Education **41**, 161-167, (2006)
- [13] McDermott, L. C., *Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research: The key to student learning*, Am. J. Phys. **69**, 1127-1137 (2001).
- [14] McDermott, L. C., Shaffer, P. S., *Tutoriales para Física Introductoria*, (Prentice Hall, Buenos Aires, 2001).
- [15] Heller, P., and Hollbaugh, M., *Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups*, Am. J. of Phys. **60**, 637-645 (1992).
- [16] Van Domelen, D., *Problem solving strategies: Mapping and Prescriptive methods*, Ph. D. Thesis, Ohio State University, (1998)
- [17] Giancoli, D., *Física*, 4ta. Ed, (Prentice-Hall Hispoamericana, México, 1997).