

## Primeras apropiaciones de la matemática en la física: Resolviendo problemas de cinemática en el primer año de la universidad<sup>1</sup>

Silvia M. Pérez<sup>1</sup> - M. Celia Dibar Ure<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IDH - Universidad Nacional de General Sarmiento  
sperez@ungs.edu.ar

<sup>2</sup> ICI - Universidad Nacional de General Sarmiento  
celiadibar@yahoo.com

*El interés de nuestra investigación está puesto en entender la forma en que los alumnos se apropian del entramado de física y matemática que es necesario para resolver problemas. En este trabajo se presenta el análisis de 50 resoluciones de un problema de cinemática elemental por parte de alumnos universitarios. Utilizando una metodología exploratoria y cualitativa, se analizan las categorías surgidas de los propios datos. Las primeras conclusiones muestran que los alumnos trabajan de manera diferenciada con las distintas representaciones semióticas, según sea el concepto que lidera su comprensión de la situación presentada.*

**Palabras clave:** resolución de problemas, física, matemática, representaciones, nivel universitario.

*In our research, we are interested in studying the way in which students master the mathematics as used in physics that is necessary to solve problems. In this work we present the analysis of 50 problems in elementary kinematics as had been solved by university freshmen. Using a qualitative and exploratory methodology, we analyze the categories that came out of the data. Our first conclusions show that students work in different ways with the various semiotics representations, depending on which concept is leading their understanding of the situation that is presented by the problem.*

**Keywords:** problem solving, physics, mathematics, representations, university freshmen. 120

### Introducción

Este trabajo se enmarca en una serie de investigaciones que venimos realizando en torno al uso de la matemática en la física. Las preguntas más generales que guían nuestras investigaciones son: ¿cómo construyen y re-construyen los alumnos las distintas representaciones matemáticas de los conceptos de la física? ¿Cómo aprenden a manipularlas y a darles sentido?

Redish (2005) sostiene que el lenguaje matemático en física no es más que un dialecto de dicho lenguaje. Puede pensarse

que en el camino de la apropiación de es dialecto, no son suficientes ni los contenidos de Matemática ni los contenidos conceptuales de la Física por separado. El entramado de los conceptos y sus representaciones tiene particularidades que deben ser objeto de enseñanza. Los alumnos deberán adquirir estas nuevas habilidades, no sólo para la resolución de problemas, sino para poder avanzar en representaciones y conceptos cada vez más complejos dado que los modelos físicos están nece-

<sup>1</sup> Trabajo realizado con la financiación parcial del PICTO UNGS 0084.

Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el XI SIEF realizado en octubre de 2012 en Esquel.

sariamente asociados a modelos matemáticos (Lombardi, 1998).

Debido a nuestro interés en indagar acerca de los primeros pasos de las apropiaciones del lenguaje matemático en Física, hemos decidido trabajar con el primer modelo que se suele presentar en la enseñanza universitaria: la descripción de los movimientos de trayectoria lineal. Intentamos describir y comprender cómo es que los alumnos resuelven los problemas usuales que se les presentan. Estos alumnos tienen poca experiencia en el trabajo matemático y en física y casi ninguna experiencia en realizar el trabajo conjunto que la resolución de situaciones o problemas requiere.

En nuestros trabajos previos hemos indagado sobre la conceptualización de la velocidad media y la resolución de problemas asociados (Pérez y Dibar, 2009), la resolución de problemas con aceleración constante sobre un plano inclinado con experiencia de laboratorio previa (Pérez y Dibar, 2010) y de problemas sobre el mismo tema con tabla de datos al estilo de las obtenidas en el laboratorio.

En el presente trabajo, indagamos acerca de la resolución de un problema de movimiento rectilíneo con aceleración constante, diseñado de manera tal que los alumnos deben interpretar, producir y trabajar con diferentes representaciones semióticas de la posición, la velocidad y la aceleración.

### **Discusión teórica**

El problema presentado a los alumnos fue diseñado en base a nuestras anteriores investigaciones y al marco teórico de Duval (1995). Este autor sostiene que las personas demuestran haberse apropiado de un objeto de conocimiento y lo diferencian

de sus múltiples representaciones posibles, si pueden realizar todas las conversiones entre esas representaciones. Por ejemplo, si el objeto de conocimiento es el modelo cinemático, haberse apropiado de ese objeto implica poder realizar las transformaciones de una representación lingüística a una representación algebraica, a una representación en forma de tabla de valores, a una representación gráfica en todas las distintas combinaciones posibles. Asimismo, dice Duval (1995), el trabajo de realizar las múltiples conversiones posibles es lo que produce el conocimiento sobre ese objeto de estudio, marcando una paradoja en el momento del aprendizaje, cuando se debe aprender a realizar las conversiones sin aún dominar el objeto.

El marco teórico de Duval (1995), además de contribuir al diseño del problema, ha sido tomado como marco de comparación al momento de interpretar las categorías.

Dado que estamos en un recorrido de indagación, todos los resultados previos dan pie a la generación de teoría a través de las categorías que surgen de los datos en el proceso de buscar la teoría enraizada (Glaser y Strauss, 1999) que describa e interprete nuestro objeto de estudio. Los resultados previos más salientes (Pérez y Dibar Ure, 2009 y 2010) indican que los alumnos, en la instancia de apropiación del modelo matemático y físico del movimiento, son muy hábiles resolviendo con números, con datos presentados en forma de tablas y reemplazando esos valores numéricos en las funciones de posición y velocidad que dependen del tiempo. Sin embargo, no usan espontáneamente ambas funciones a la vez. También es de destacar que las funciones son en general interpretadas únicamente como ecuaciones. Además, si bien la velocidad media es un concepto intuitivo para todos los alumnos,

la velocidad instantánea dista mucho de ser un concepto bien diferenciado de la velocidad media. Los alumnos son hábiles imaginando las situaciones a las que aluden los enunciados y asociándolas al modelo correcto, aún con presentaciones lingüísticas no triviales.

### Metodología e instrumentos

El análisis de los datos fue realizado con una metodología exploratoria y cualitativa, basada en la teoría enraizada y las categorías fueron armadas de acuerdo a las similitudes entre las resoluciones. (Glaser y Strauss, 1999; Hopkins et. al., 1989; Taylor, S. y Bogdan, R., 1987; Turner, 1981).

Para la interpretación de los datos, una vez obtenidas las categorías, se han tomado en cuenta los resultados previos de

nuestras investigaciones, siempre guiadas por el reconocimiento del particular entramado que forman la matemática y la física, especialmente en el momento del aprendizaje de los primeros modelos físicos, y la comparación con el modelo teórico de Duval (1995) que influenció el diseño del problema presentado a los alumnos.

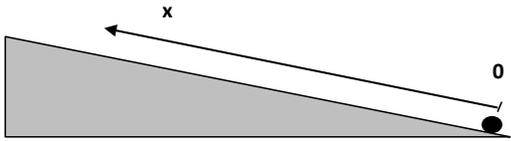
Para la realización del presente trabajo se seleccionó un curso de la materia Física General de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Esta es la primera materia de física que cursan los alumnos de las carreras de los profesorado de Física y de Matemática, ingenierías y ecología. Los alumnos han cursado una materia de matemática con contenidos de cálculo.

Se observaron las seis clases referidas a cinemática, con el objetivo de conocer los contenidos que se dictan y las estrategias sugeridas por los docentes para la resolución de problemas.

Figura 1. Problema presentado a los alumnos

Se impulsa una pelotita de manera que comienza a subir sola por el plano inclinado de la figura con  $v_0 = 1,8$  m/s y aceleración constante. A medida que transcurre el tiempo la pelotita pasa por los siguientes puntos:

t (s)	x (m)
0	0
0,8	1,18
1,2	1,58
1,8	1,94
2	2
2,8	1,90
3	1,80



1. Describí con tus palabras el movimiento de la pelotita.
2. ¿Cuánto vale la aceleración de la pelotita?
3. ¿Cuál es el valor de la posición de la pelotita sobre la pendiente, justo cuando se detiene antes de comenzar a descender? ¿Dónde estaría ubicado ese valor en la tabla de datos?
4. ¿Cuánto vale la velocidad de la pelotita a los 2,8 segundos desde que comenzó el movimiento? ¿Cambió el signo respecto del de la velocidad inicial? ¿Por qué?
5. Hacé el gráfico de la velocidad de la pelotita en función del tiempo.

El curso contaba con aproximadamente 60 alumnos. Las clases teóricas son dictadas de manera tradicional, con exposición de los temas por parte del profesor y las clases prácticas se desarrollan con los alumnos trabajando en grupo en la resolución de problemas.

Se decidió presentar el problema elegido para la toma de datos en la clase anterior a que se comenzara con el tema de dinámica. De esa forma se dio tiempo a los alumnos a que hubieran resuelto los problemas de cinemática de la guía de la materia. Se indicó a los alumnos que resolvieran el problema en forma individual. Algunos consultaron sus cuadernos de apuntes durante la resolución.

El problema que se presentó a los alumnos es el de la Figura 1. Como puede observarse, para resolver el problema es necesario utilizar las ecuaciones de posición y velocidad en función del tiempo, los alumnos tienen que leer una tabla de datos, graficar e interpretar con sus palabras algunos de los resultados obtenidos. También se procuró que la propuesta no resultara demasiado alejada del tipo de problemas que contiene la guía de la materia, de manera que no se produjera el desconcierto que suelen generar los formatos desconocidos en el momento de la toma de datos.

La complejidad de las tareas pedidas es alta desde el punto de vista del aprendizaje, si bien desde el punto de vista de la enseñanza no es un problema que suela ser considerado complejo.

### **Análisis de datos**

En la Figura 2 se presenta una tabla que resume la cantidad de resoluciones, sobre un total de 50, agrupadas en las categorías elaboradas en el proceso de análisis de los datos.

<b>Categoría</b>	<b>Número de resoluciones</b>
INCOHERENTE o NO CONTESTA	9
CORRECTO	7
TABLA	5
ECUACIONES	6
POSICIÓN	9
VELOCIDAD	14

*Figura 2. Tabla de número de resoluciones por categoría.*

De las 50 resoluciones del problema realizadas por los alumnos, 2 no contienen nada y 7 presentan resoluciones incoherentes. Por lo tanto, sobre un total de 9 de las resoluciones entregadas no es posible hacer ninguna interpretación. De hecho, nos resistimos a tomar siquiera alguna de las respuestas, ya que por ser en general incoherentes entre sí, se corre el riesgo de sobreinterpretar los indicios de comienzo de resolución que aparecen.

Por otra parte, 7 de los 50 alumnos presentan resoluciones coherentes y casi completamente correctas. Se puede observar un uso variado de las representaciones semióticas, tanto en la interpretación y trabajo con las representaciones proporcionadas como en la producción de las necesarias para resolver el problema. En cuanto a la utilización de los conceptos cinemáticos básicos de posición, velocidad y aceleración, en estas resoluciones de los alumnos no se encuentra ningún concepto prevaleciendo sobre el otro en las descripciones del movimiento. Es decir, la resolución correcta en estos alumnos, no permite ver sino la combinación de lo conceptual con lo representado y flexibilidad en la elección de las representaciones semióticas y en la interpretación de los resultados en función de la situación presentada.

Restan entonces 34 resoluciones parciales, con mayor o menor grado de acierto en las respuestas. Estos son los casos que nos permiten vislumbrar los procesos que lideran la toma de decisiones: elección de la representación semiótica adecuada, selección de la variable que pueden describir para comenzar a resolver el problema, etc. En este grupo intermedio, en el que todos “hacen” algo pero ninguno presenta la resolución completa, se pudo realizar una categorización que dio como resultado cuatro categorías totalmente excluyentes.

Se definieron cuatro categorías que pueden agruparse en dos tipos: el primer tipo agrupa las resoluciones en las que los alumnos hacen uso casi exclusivo de una sola representación semiótica y está integrado por las categorías TABLA y ECUACIONES, y el segundo tipo, agrupa las resoluciones que muestran un concepto guía que lidera la toma de decisiones, integrado por las categorías POSICIÓN y VELOCIDAD.

#### *Las resoluciones centradas en una representación semiótica*

La categoría TABLA, integrada por 5 de las resoluciones, agrupa respuestas que hacen reiterado uso de los datos de la tabla proporcionada. Pueden usar representaciones gráficas o ecuaciones, pero el punto de partida para contestar cada pregunta son los datos numéricos de la tabla.

Por ejemplo, el Alumno 39, para hallar la aceleración, afirma que el máximo está en (2s, 2m) usando la tabla, le asigna  $v=0$  a ese punto y calcula la aceleración despejándola de la ecuación de la velocidad. El Alumno 41, para hallar la velocidad en 2,8 s, busca la velocidad media entre 2s y 3s usando para calcularla los valores correspondientes de la posición en la tabla provista. Por último, el Alumno 30 para hallar la velocidad a los 2,8s, calcula la  $v$  media entre los puntos (0 s; 0 m) y (2,8s;

1,90m) sin plantear la ecuación de la velocidad en función del tiempo.

Todos consiguen describir el movimiento y la mayoría llega a expresar una idea clara de lo que hay que hacer para resolver, aunque no puedan hacerlo. Cuatro de los cinco asignan al punto de mayor valor de la posición en la tabla el máximo de la posición en el movimiento.

La categoría ECUACIONES, integrada por 6 de las resoluciones, agrupa las respuestas que sólo hacen uso de las ecuaciones, sin graficar, ni utilizar la tabla más que para seleccionar un par de datos para reemplazar en ellas. No aparecen referencias lingüísticas al movimiento y la mitad no plantea la condición para hallar el máximo de la posición ni tampoco lo asigna al máximo valor de la posición en la tabla.

Por ejemplo, en la descripción del movimiento que se pide en el punto 1 todos dicen “MRUV porque la aceleración es constante” mostrando que parten de una definición formal a partir de la cual se obtienen las ecuaciones.

#### *Las resoluciones centradas en los aspectos conceptuales*

Veintitrés de las resoluciones pueden caracterizarse por una clara línea conceptual, una descripción del movimiento que parece reflejar una imagen mental bien formada de lo que sucede cuando se impulsa una pelotita a subir por un plano inclinado. Los alumnos describen con sus palabras los cambios en la posición o en la velocidad, calculan esas magnitudes o las representan gráficamente y trabajan con ellas en distintas representaciones semióticas, con diferentes grados de flexibilidad.

En la categoría POSICIÓN, formado por 9 de las resoluciones, los alumnos utilizan la posición en función del tiempo en las distintas representaciones semióticas como concepto que guía la descripción. La mayoría realiza el gráfico de posición en fun-

ción del tiempo a partir de la tabla de valores, aunque no se pide explícitamente. A partir de ese gráfico o de relatos como “la pelota asciende por la rampa... luego vuelve por la rampa en sentido opuesto...” (Alumno 32), resuelven parte de lo pedido. Por ejemplo, el cambio de signo en la velocidad, lo explican en términos de “va cuesta abajo” (Alumno 44), porque la pelotita va en sentido contrario al sentido positivo del eje  $x$ . Siete de los alumnos, a pesar de graficar espontáneamente la posición, no pueden graficar la velocidad. Casi todos producen el gráfico de la posición en función del tiempo al comenzar a resolver, y utilizan esa representación como guía para contestar las preguntas. Por ejemplo, el Alumno 50 marca el máximo de la parábola con una flecha y escribe “ $v=0$ ” y el Alumno 15 dibuja la tangente en el máximo de la parábola y también escribe “ $v=0$ ”. Los Alumnos 21 y 5 describen el movimiento de la pelotita luego de hacer el gráfico de la posición, y asignan el máximo haciendo alusión al gráfico. Asimismo, el Alumno 25 señala con una flecha el máximo de la parábola y escribe allí “distancia máxima”. En 7 de las resoluciones los alumnos asignan la máxima posición del movimiento al mayor valor de la posición en la tabla y dos alumnos (Al 17 y Al 50) dicen, correctamente, que el máximo está “entre 2 y el siguiente valor” (haciendo referencia a los valores marcados en su gráfico de posición).

En la categoría VELOCIDAD, formada por 14 de las resoluciones, los alumnos utilizan como concepto guía la velocidad. Asignan correctamente el máximo de la posición al punto donde se hace cero la velocidad. En varias de las resoluciones los alumnos calculan velocidades medias, utilizando la tabla de valores de posición en función del tiempo, confundiendo las velocidades medias en los intervalos elegidos con las velocidades instantáneas en cada punto. También asignan velocidad cero al punto de la tabla con mayor valor

en la posición o al punto ubicado al final de la tabla proporcionada, así 6 de los alumnos utilizan ese valor para calcular la aceleración, planteada como diferencia de velocidades inicial y final sobre el intervalo de tiempo correspondiente.

La representación, más o menos explícita, de la velocidad en función del tiempo como una magnitud que primero disminuye, luego se hace cero y luego empieza a aumentar nuevamente resulta, por ejemplo, en dos de los casos en gráficos cualitativos con un mínimo en pico (ver Figura 3).

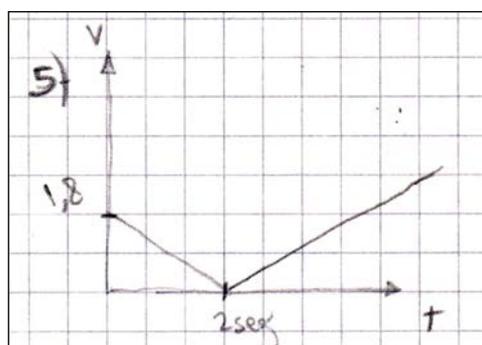
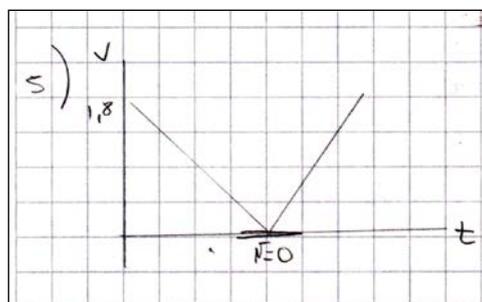


Figura 3. Gráficos presentados en dos de las resoluciones analizadas (Al.24 y Al. 13).

En esta categoría ningún alumno puede hacer un gráfico correcto de la velocidad. Sin embargo, algunos hacen gráficos de la posición en función del tiempo respondiendo al pedido de gráfico de velocidad, pero a diferencia del grupo categorizado como POSICIÓN, no los usan ni hacen acotaciones sobre ellos. Ocho de las 14 resoluciones asignan el máximo de la posición en el punto (2,2), dos dicen que es

“más adelante” de 2 y dos en el último punto de la tabla.

Un resultado llamativo, que atraviesa las categorías recientemente analizadas, es que ante la pregunta que pide hallar el máximo en la posición ninguno lo calcula usando las ecuaciones, 20 alumnos la asignan al punto (2,2), 5 no saben o no contestan, 5 lo asignan al último par de la tabla y sólo 4 señalan el intervalo correcto sin precisar el valor exacto.

### **Discusión de los resultados y algunas conclusiones**

Los datos que fueron categorizados como TABLA, presentan un hábil uso de los pares de posición y tiempo presentados en el enunciado. Con el uso reiterado de los datos de la tabla los alumnos muestran cercanía con la descripción del movimiento. Esa habilidad observada coincide con los resultados de nuestras investigaciones anteriores, en las cuales hemos observado la ductilidad con que los alumnos se manejan con los datos numéricos, tanto para corroborar sus afirmaciones como para sacar conclusiones respecto del movimiento presentado. Sin embargo, el uso de la tabla también da pie a que los alumnos calculen velocidades medias sin distinguir las de las instantáneas. Proporcionar una tabla de puntos discretos puede inducir a una idea incompleta de función y probablemente por eso es que la mayoría, y no solamente en esta categoría, asigna el máximo en la posición al máximo valor de  $x$  que parece en la tabla. Nuevamente podemos decir con Duval (1995) que una sola representación no proporciona una imagen suficiente del objeto de conocimiento.

En la categoría ECUACIONES, el uso exclusivo de la representación algebraica no permite avanzar demasiado en la resolución ya que, llamativamente, renuncian a las explicaciones en lenguaje común que

les son solicitadas y tampoco realizan ningún gráfico. Esta elección parece ser el reflejo de una enseñanza que tradicionalmente se centra casi exclusivamente en las ecuaciones y pierden la posibilidad de contrastar o complementar sus resultados con los datos numéricos proporcionados, con la imagen mental del movimiento o, como lo hacen otros, con la información que puede proporcionar un gráfico.

La característica general de los datos reunidos en las categorías TABLA y ECUACIONES es que las respuestas muestran pocos ejemplos de conversión entre representaciones. Podría decirse que estos alumnos están más lejos que todos los otros de dominar el objeto de conocimiento en términos de Duval (1995).

Respecto de los datos categorizados como POSICIÓN es llamativo que, sin que se les pida, la mayoría comienza el problema haciendo el gráfico de la posición en función del tiempo y varios lo utilizan como referencia para explicar, por ejemplo, cuál es el máximo y que allí la velocidad es cero. Sin embargo sólo uno puede hacer correctamente el gráfico de la velocidad. El uso de la representación gráfica de la posición sumada a la imagen del movimiento en esos términos no parece favorecer pensar con el mismo nivel de complejidad en términos de velocidad. Es decir que la posibilidad de producir un gráfico a partir de la tabla, no indica que puedan producir un gráfico lineal de la velocidad desde los datos obtenidos por ellos mismos. Cabe destacar que en la enseñanza de la matemática la función lineal es una de las más analizadas y su gráfico uno de los más ejercitados, aún así y demostrando que saben graficar la función de la posición y leer adecuadamente ese gráfico, no pueden producir el gráfico de la velocidad.

Las características más salientes de los datos agrupados en la categoría VELOCIDAD son que se confirma la natu-

ralidad con que los alumnos piensan en términos de velocidad media en vez de velocidad instantánea y la imposibilidad de plasmar su descripción bastante aproximada de lo que sucede con la velocidad en la situación planteada, en un gráfico siquiera aproximadamente correcto.

La velocidad media resulta tan natural que lidera las resoluciones, aunque el punto donde la velocidad instantánea es cero es casi siempre reconocido sin dificultad. También la idea del cambio de signo en la velocidad puede estar bien reflejada en la explicación redactada, y aún así o no realiza el gráfico o no es correcto.

Los dos gráficos en forma de “v” presentados en la Figura 3 parecen indicar que los cambios que sufre la velocidad en el movimiento planteado en el enunciado no estarían suficientemente reflejados por una recta que atraviesa el eje de los tiempos. La idea de cambio perceptible no parece tener correlato con la imagen de una recta.

Si bien las resoluciones exitosas pueden servir de argumento para la tesis de Duval, acerca de que la apropiación del objeto de conocimiento depende de la flexibilidad de las conversiones entre las distintas representaciones, las resoluciones parciales reflejan más bien la idea de que, en el camino a la apropiación del objeto complejo del modelo cinemático, las diferentes representaciones semióticas no son accesibles por igual si pertenecen a distintos conceptos de la cinemática. El caso de los alumnos que guían su resolución por la posición muestra que la habilidad para la realización y posterior utilización del gráfico  $x(t)$  no es en absoluto similar para realizar el mismo trabajo con la velocidad. Tampoco las representaciones son equivalentes para la interpretación y resolución del problema: los datos muestran que la tabla permite un acercamiento al movimiento más certero que las ecuaciones.

Tras el análisis de los resultados, podemos decir que, en nuestros datos, las habilidades matemáticas no se muestran independientes del concepto de las distintas variables cinemáticas.

### Recomendaciones didácticas

El análisis de lo que los alumnos hacen cuando están aprendiendo a resolver problemas puede darnos algunas pistas acerca de lo que les es más familiar y lo que los ayuda en el camino de apropiarse del modelo físico en conjunto con el lenguaje matemático. Proponemos la construcción de esa transferencia partiendo de las habilidades que efectivamente poseen. Nuestros resultados muestran que el uso de tablas de datos en los problemas proporciona un punto de apoyo importante que los alumnos utilizan con soltura para avanzar en la resolución. Los gráficos de posición, no necesariamente de movimientos con aceleración constante, y la construcción a partir de ellos de la idea de las variaciones de velocidad parece un camino a explorar con más asiduidad. Los problemas del pasaje del concepto de velocidad media a instantánea y de ecuaciones a funciones deben ser trabajados ya que no son más que otro ejemplo en física de conceptos intuitivos que no colaboran para la adquisición de conceptos más complejos.

Proponemos aprovechar las múltiples representaciones posibles, presentando problemas variados en cuanto al trabajo de conversión que se pide. Es necesario afrontar la enseñanza desnaturalizando la supuesta facilidad de transferencia entre lo que se aprende en matemática y su uso en la construcción de modelos en el ámbito de la física.

## Referencias

- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Suisse: Peter Lang.
- Glaser, B. y Strauss, A. L. (1999). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine Pub. Co. (Primera edición, 1967, NY: Aldine)
- Hopkins, D.; Bollington, R. & Hewett, D. (1989). Growing up with qualitative research and evaluation. *Evaluation and Research in Education*, 3(2), pp. 61-80.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educ. en Ciencias*, 2(4), 5-13.
- Pérez, S.M. y Dibar Ure, M.C. (2009). Cinemática: de los números a las representaciones algebraicas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona. 145-148.  
<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-145-148.pdf>
- Pérez, S.M. y Dibar Ure, M.C. (2010) Análisis de la resolución de un problema de cinemática desde el punto de vista del uso del lenguaje matemático. *Actas del SIEF 10*. Posadas. Misiones
- Redish, E. F. (2005). Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses, *Procc. of the Conference, World View on Physics Education in 2005: Focusing on Change*. Delhi. <http://umdperg.pbworks.com/JoeRedish%253A-Selected-Publications>
- Turner, B. A. (1981). Some practical aspects of qualitative data analysis: one way of organizing the cognitive processes associated with the generation of grounded theory. *Quality and Quantity*, 15, pp. 225-247.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.