

PROBLEMAS DE CONTEXTO COTIDIANO CON SOLUCIONES ALTERNATIVAS: LAS ACTUACIONES DE ALUMNOS DE FÍSICA I

Patricia Sánchez, Marta Massa, Alejandra Rosolio

psanchez@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo, desarrollado en el seno del Grupo de Conceptualización en Educación en Ciencias, se centra en el análisis de los procesos de razonamiento desarrollados por los estudiantes al abordar la resolución de problemas, una de las mayores fuentes de fracaso en los procesos de evaluación. Para ello se analizan las resoluciones de dos problemas de Dinámica de la partícula efectuadas por estudiantes de Física I, a fin de caracterizar las modelizaciones desarrolladas en el proceso de resolución.

Los problemas presentados involucran dos cuerpos en contacto en diferentes estados de movimiento, que permiten derivar soluciones alternativas. Las mismas dependen del tipo de las superficies de contacto entre los cuerpos, condición que no se explicita en el enunciado. Los estudiantes deben inferir las características de ese contacto para decidir acerca de la fuerza de roce que incluirán. Si bien los dos problemas son isomórficos y corresponden al contexto cotidiano, uno de ellos presenta una situación con un correlato perceptivo más directo.

Se presenta el análisis de las actuaciones de 100 estudiantes, identificando diferentes tipos de modelos mentales elaborados a partir de sus representaciones externas, organizando una tipología de actuaciones. En las resoluciones y entrevistas se detecta que los estudiantes analizan superficialmente la situación, sin indagar acerca de soluciones alternativas. Se muestra además que el conocimiento cotidiano, reconocido como causa de muchos errores, en uno de los problemas presentados ayuda a la identificación del sentido correcto de la fuerza de roce.

PALABRAS CLAVES:

Enunciado - comprensión - soluciones alternativas - modelos mentales

INTRODUCCIÓN

Para investigar acerca de la resolución de problemas resulta de suma importancia el proceso de construcción de las representaciones, el significado atribuido a la información que las mismas codifican, así como también la dinámica de su transformación durante los procesos de búsqueda, contrastación y validación de los resultados.

Los sujetos, al razonar para resolver un problema, generan modelos situacionales que evolucionan en forma sucesiva. En algún punto, el proceso se detiene, configurándose el modelo desde el cual se encara la resolución. Tal modelo inicial quedará caracterizado por la manera en que cada sujeto incorpore la situación, los objetos, procesos o causas descritas en el mismo por interacción con sus conocimientos previos. La capacidad de construir ese modelo mental inicial será un factor determinante en el éxito o fracaso en la solución, ya que de él depende el proceso activo de búsqueda constructiva en la memoria a largo plazo. Se relaciona, pues, con la estructura conceptual del alumno y su capacidad para acceder y recuperar la información relevante para resolver el problema. Pero antes de acceder y recuperar, debe ser capaz de detectar cuál es esa información relevante en función de la

situación presentada. Por lo tanto, es fundamental que el sujeto pueda representarse, en su espacio del problema, las características relevantes del ambiente de la tarea (García Madruga y otros, en Gutiérrez Martínez y col., 2002).

Cada sujeto elabora el modelo inicial a partir del procesamiento semántico del enunciado, en función del cual organiza su razonamiento para la derivación de conclusiones y estrategias de resolución. Los estudiantes de los cursos de física frecuentemente se enfrentan a diferentes situaciones problemáticas que pueden modelizarse en forma similar, pero ellos no reconocen tales similitudes, es decir, el procesamiento semántico de tales enunciados no les permite captar su isomorfismo. Los profesores observan, además, las dificultades de los alumnos para reconocer diferentes interpretaciones de una situación de acuerdo a las condiciones supuestas, tales como superficies suaves o rugosas, cuerpos rígidos o deformables. Este hecho nos lleva a las preguntas centrales de esta investigación: *¿qué tipo de modelos elabora un sujeto ante situaciones que pueden admitir interpretaciones alternativas? y ¿cómo influye en las resoluciones la presencia de sujetos, remitiendo a experiencias previas, como parte del sistema?*

Como respuesta tentativa a las cuestiones anteriores, se puede hipotetizar que, independientemente del tipo de elemento del sistema, *“una vez elaborado un modelo mental plausible de una situación problemática dada, se abandona la búsqueda de modelos alternativos, sin revisión recursiva”*.

Para poner a prueba esta hipótesis se utilizaron dos enunciados con referentes diferentes de un mismo problema de Dinámica. Uno de ellos se refiere a una mesa y un bloque, con un dibujo esquemático, similar a los desarrollados en clase y el otro corresponde a una situación donde los elementos relevantes son “Santiago” y una colchoneta. En ambos casos, la resolución puede dar lugar a modelos alternativos, según el tipo de superficies de contacto involucradas. La fuerza de roce constituye la interacción responsable de las distintas alternativas, siendo el eje del proceso reflexivo sobre el cual se asienta la comprensión del enunciado, definiendo además el sentido del posterior proceso de búsqueda.

REFERENCIALES TEÓRICOS

La teoría cognitiva fundacional acerca de la actuación de los sujetos en la resolución de problemas (Newell y Simon, 1972) aborda un análisis detallado del proceso de resolución, en el cual se reconocen tres componentes básicos: el *sistema de procesamiento de la información*, referido a las características cognitivas básicas del ser humano que resuelve, el *ambiente de la tarea*, correspondiente a la estructura del problema tal como es presentado al sujeto y el *espacio del problema*, referido a la representación interna con la cual el sujeto va a resolver. Desde esta perspectiva, el *espacio del problema*, es decir su representación interna, está constituido por un conjunto de estados y operadores dependientes de un dominio determinado, que tienen una función común: la construcción de nuevos estados. De este modo, la resolución de un problema consiste en un estado inicial, un estado final y un número de estados intermedios, todos ellos relacionados por operadores que los modifican.

Newell y Simon consideran además que el proceso completo de resolución de problemas está compuesto por dos subprocesos que interactúan entre sí: *comprensión* y *búsqueda*. El *proceso de comprensión* implica la asimilación de estímulos y la producción de estructuras de información que permiten que el sujeto comprenda el problema. El *proceso de búsqueda* corresponde al proceso de solución en sentido estricto y puede caracterizarse por un conjunto de aserciones que expresa quien resuelve, a través de las cuales da cuenta de sus creencias acerca del problema. En este proceso el sujeto explora el espacio del problema, aplicando estrategias que le permitan acercarse a la meta. Si bien podría suponerse que el proceso de comprensión ocurre en primer lugar, y luego comienza la búsqueda a partir de los productos de la comprensión, el desarrollo no es lineal; ambos procesos ocurren a menudo alternativamente y aún simultáneamente, dependiendo del problema a resolver.

En el marco de la psicología cognitiva, la Teoría de los modelos mentales (MM) de Johnson-Laird (1983) permite interpretar los procesos de construcción de representaciones internas que acompañan la

resolución de problemas a partir de la comprensión del enunciado. Según esta teoría, el proceso de resolución consiste en la construcción y manipulación de modelos mentales. Esto es particularmente adecuado para explicar la resolución de problemas en ciencias, ya que la naturaleza flexible de los modelos mentales los hace especialmente útiles para comprender los fenómenos naturales. Justamente, comprender un fenómeno natural es poder explicar y predecir a partir de él, y ello requiere la construcción de modelos mentales que actúen como análogos estructurales de ese fenómeno, como intermediarios a la luz de los cuales adquieran significado los conceptos científicos y las relaciones entre los conceptos para alcanzar esa comprensión (Moreira, 1998). El *principio de economía* enunciado en esta teoría caracteriza la dinámica de los modelos mentales estableciendo que si bien un único estado de cosas es representado por un único modelo mental (aún cuando surja de una descripción incompleta o indeterminada), un único modelo mental puede representar un número infinito de posibles estados de cosas ya que ese modelo puede ser revisado recursivamente. Este principio es relevante cuando se desea analizar la construcción de modelos asociada a la resolución de problemas compatibles con muchos estados de cosas diferentes. En su teoría, Johnson-Laird propone una tipología como intento de categorización de los modelos mentales. Define así a los *modelos físicos* como aquéllos generados por la percepción y contruidos por entidades físicas, que representan situaciones perceptibles y los *modelos conceptuales*, no derivados de la percepción y contruidos para entidades abstractas. Desde esta perspectiva, se han venido desarrollado investigaciones sobre las representaciones mentales de sujetos en resolución de problemas en ciencias (Greca y Moreira, 1996, 1997; Halloun, 1996; Harrison y Treagust, 1996; Lagreca y Moreira, 1999; Bodner y Domin, 2000; Sánchez et al, 2001; Llonch et al, 2001; Escudero et al, 2001; Buteler et al., 2001; Coleoni et al., 2001; Solaz-Portolés y Sanjosé, 2006a, 2006b y 2007; Massa et al, 2006). En estos trabajos, se considera que los modelos mentales pueden explorarse indirectamente, a través de los modelos conceptuales que la persona externaliza de manera verbal, simbólica o pictórica al comunicarse con otra persona.

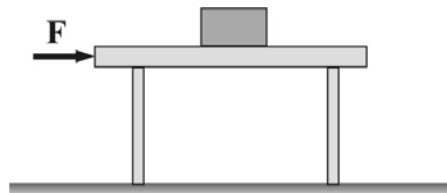
En esta investigación se integra la teoría de Newell y Simon (1972) sobre resolución de problemas como un proceso de *comprensión y búsqueda* en el *espacio del problema*, con la teoría de Johnson Laird, al identificar cada *estado* en tal espacio con un *modelo mental* (Galotti, 1989).

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Siguiendo un enfoque cualitativo, la investigación se efectuó sobre una muestra de 100 estudiantes de un primer curso universitario de Física en carreras de Ingeniería, con calificaciones entre 5 y 6 (en una escala del 1 al 10) en el examen parcial de Dinámica. La mitad de estos alumnos (50) resolvieron el enunciado 1 (E_1) correspondiente a la mesa y el bloque, presentado en formato literal, con una gráfica bidimensional y figurativa, como se muestra a continuación.

E_1 : *Un bloque se encuentra apoyado sobre una mesa. Sobre la misma se ejerce una fuerza F que la desplaza. Analizar las fuerzas que actúan sobre el bloque y realizar el diagrama de cuerpo libre del mismo. Considere dos situaciones:*

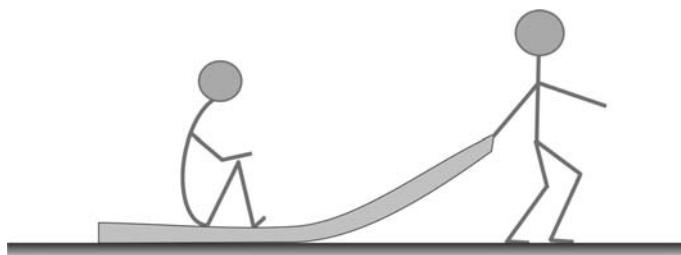
- a) *el bloque permanece siempre a la misma distancia de los bordes de la mesa,*
- b) *la distancia de los bordes al bloque cambia.*



El resto de los estudiantes (50) resolvieron la versión correspondiente al enunciado 2 (E_2) que involucraba a Santiago, una colchoneta y un amigo diligente.

E₂: Santiago se sienta sobre una colchoneta y su amigo Pedro, tirando de un borde, lo pasea por el patio. Analizar las fuerzas que actúan sobre Santiago, considerando dos situaciones:

- a) Santiago permanece siempre a la misma distancia de los bordes de la colchoneta,
 b) la distancia de los bordes a Santiago cambia.



Los alumnos no tuvieron limitaciones de tiempo para resolver las consignas. Se les indicó que explicaran y fundamentaran con detalle los pasos seguidos. En los casos en que las producciones escritas no eran suficientemente explícitas, se complementó con una entrevista individual.

Inferencias básicas para la interpretación y modelización del enunciado

Para interpretar los enunciados los estudiantes necesitan hacer las inferencias mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Inferencias necesarias para la interpretación de los enunciados

<i>Expresión de E₁</i>	<i>Expresión de E₂</i>	<i>Inferencias necesarias para la comprensión del enunciado</i>
“se ejerce una fuerza”	“... Pedro, tirando de un borde...”	E₁: Existe algún elemento del medio ambiente que aplica la fuerza F . E₂: “Tirar” implica que una persona (Pedro) ejerce esa fuerza.
“apoyado”	“se sienta sobre”	Existe una interacción de contacto con una componente normal.
“desplaza”	“lo pasea por el patio”	E₁: La mesa está en movimiento E₂: Santiago está en movimiento
“apoyado”+ “desplaza”	“se sienta” + “lo pasea”	Existe una interacción de contacto con una componente normal y una eventual componente horizontal si se considera roce entre: E₁: el bloque y la mesa, E₂: Santiago y la colchoneta
Consigna (a) “permanece siempre a la misma distancia de los bordes”.		E₁: El bloque se mueve con la misma velocidad que la mesa, entonces E₂: Santiago se mueve con la misma velocidad que la colchoneta, entonces existe una fuerza de roce estática entre ellos.
Consigna (b) “la distancia de los bordes cambia”		Existe desplazamiento relativo entre el bloque y la mesa (E₁) o entre Santiago y la colchoneta (E₂). Entonces existen dos posibilidades: (a) fuerza de roce dinámica entre ellos o (b) ausencia de roce.

Desde el punto de vista de la Física los dos problemas involucran el mismo tipo de fuerzas (**N**, **f_r**, **F**) y las mismas condiciones de movimiento. Por lo tanto pueden considerarse isomórficos, ya que refieren al mismo modelo para representar las características dinámicas de situación.

Dado que ambos enunciados se refieren a situaciones en las cuales se reconocen las mismas fuerzas y condiciones de movimiento relativo se presentan a continuación los posibles diagramas de cuerpo libre

(DCL) correspondientes a uno de los casos. Los diagramas de las figuras 1 a 4 barren todas las posibles combinaciones de rozamiento bloque - mesa y mesa - piso.

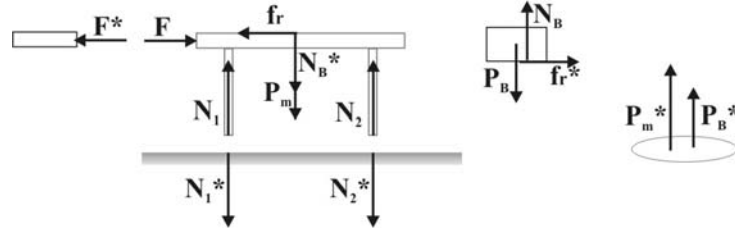


Figura 1. DCL suponiendo que no existe roce entre la mesa y el piso.

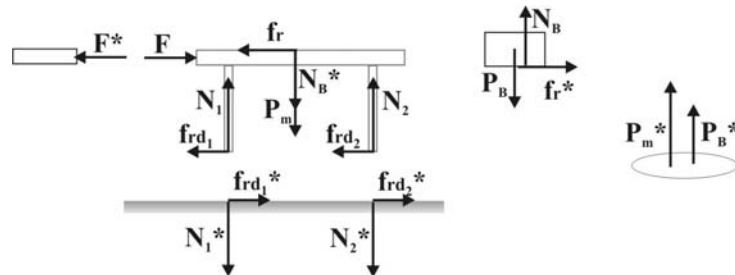


Figura 2. DCL suponiendo roce dinámico entre la mesa y el piso.

Las fuerzas de roce entre la mesa y el bloque (f_r) de las Figuras 1 y 2 serán estáticas para la consigna (a) y dinámicas para la consigna (b).

Las siguientes figuras constituyen los posibles DCL coherentes sólo con las condiciones impuestas en la consigna (b) del enunciado.

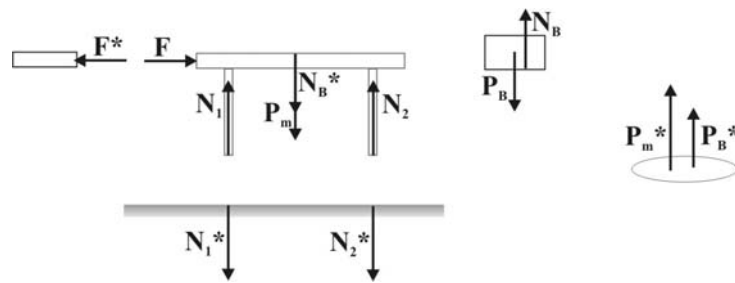


Figura 3. DCL suponiendo ausencia de roce entre las superficies en contacto

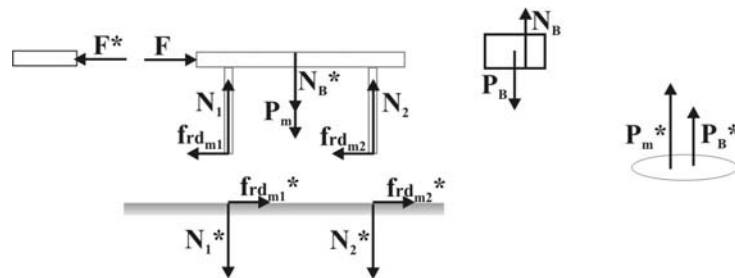


Figura 4. DCL suponiendo existencia de roce entre la mesa y el piso y ausencia de roce entre el bloque y la mesa.

Las Figuras 3 y 4 no corresponden a situaciones posibles para la consigna (a), ya que la ausencia de roce entre la mesa y el bloque implica que sobre la mesa actúa la fuerza F que lo pone en movimiento, mientras que no existe ninguna fuerza en la dirección horizontal que mueva al bloque. Para la consigna (b), en cambio, el hecho de que la mesa se desplace aceleradamente mientras que el bloque permanece en la misma posición respecto al piso, implica la existencia de movimiento relativo entre ambos.

En las Tablas 2 y 3 se presentan las diferentes alternativas en la interpretación de las situaciones correspondientes a ambas consignas.

Tabla 2. Condiciones de las interpretaciones alternativas A_1 y A_2 a la consigna (a)

<i>Alternativas Rozamiento mesa-bloque</i>	<i>Alternativas Rozamiento mesa-piso</i>	<i>Análisis de las fuerzas en el sentido de movimiento</i>	<i>Alternativas en la relación entre las aceleraciones de ambos cuerpos</i>	<i>Justificación de la condición impuesta en el ítem (a)</i>
Roce estático	Roce nulo A_1	bloque: resultante hacia la derecha $\Rightarrow a_b \neq 0$	Es posible considerar que tales resultantes producirán la misma aceleración de la mesa y el bloque $a_b = a_m$	Mesa y bloque se mueven simultáneamente sin movimiento relativo
	Roce dinámico A_2	mesa: resultante hacia la derecha $\Rightarrow a_m \neq 0$		

Tabla 3. Condiciones de las interpretaciones alternativas B_1 , B_2 , B_3 y B_4 a la consigna (b)

<i>Alternativas Rozamiento mesa-bloque</i>	<i>Alternativas Rozamiento mesa-piso</i>	<i>Análisis de las fuerzas en el sentido de movimiento</i>	<i>Alternativas en la relación entre las aceleraciones de ambos cuerpos</i>	<i>Justificación de la condición impuesta en el ítem (b) del enunciado</i>
Roce dinámico $\mu_{d12} \neq 0$	Roce nulo B_1	bloque: resultante hacia la derecha $\Rightarrow a_b \neq 0$ mesa: resultante hacia la derecha $\Rightarrow a_m \neq 0$	$F - fr_d > fr_d \Rightarrow a_m > a_b, B_{11}$	La mesa se moverá más rápidamente que el bloque
			$F - fr_d < fr_d \Rightarrow a_m < a_b, B_{12}$	La mesa se moverá más lentamente que el bloque.
	Roce dinámico B_2		$F - fr_d - fr_{dp} > fr_d \Rightarrow a_m > a_b, B_{21}$	La mesa se moverá más rápidamente que el bloque.
			$F - fr_d - fr_{dp} < fr_d \Rightarrow a_m < a_b, B_{22}$	La mesa se moverá más lentamente que el bloque
$\mu_{d12} = 0$	Roce nulo B_3	bloque: resultante nula $\Rightarrow a_b = 0$	En ambos casos se cumple: $a_m > a_b$	El bloque permanece en reposo respecto al piso, mientras que la mesa se mueve con una aceleración a_m hacia la derecha.
	Roce dinámico B_4	mesa: resultante hacia la derecha $\Rightarrow a_m \neq 0$		

De esta forma, la consigna (a) puede dar lugar a dos situaciones posibles (A_1 y A_2) y la consigna (b) puede derivar en las seis situaciones B_{11} , B_{12} , B_{21} , B_{22} , B_3 y B_4 , correspondientes a modelos diferentes de la situación que son coherentes con las condiciones establecidas.

Frente a esta diversidad de alternativas posibles en la interpretación de los dos enunciados presentados, era esperable que en el conjunto de las 50 respuestas a cada uno, se presentaran diferentes modos de comprensión de la situación, siendo posible identificar las alternativas de mayor probabilidad de ocurrencia.

RESULTADOS

Todos los estudiantes incluyen en sus DCL los pesos, las normales y la fuerza externa F, siendo las fuerzas de roce las interacciones relevantes que determinan el modelo mental desde el cual resuelven.

En las tablas 4 y 5 se presenta un análisis de las características asignadas a las fuerzas de roce y de su relación con los estados de reposo y movimiento relativos que deben ser modelados para responder a las consignas del problema. En las dos últimas columnas se presenta un análisis de la coherencia de las respuestas en relación con el modelo construido. Las celdas sombreadas corresponden a alternativas no válidas para las condiciones de movimiento indicadas en las consignas. En la primera columna se caracterizan los tipos de soluciones, incluyendo los porcentajes de cada opción para los dos enunciados (E_1 y E_2).

Tabla 4. Análisis de las respuestas relacionadas con el estado de reposo relativo (a)

Tipo de resolución	Rozamiento	Fuerza de roce en el bloque (o Santiago)	Justificación del estado de movimiento	Modelo inferido
I E₁: 46% E₂: 16%	- con roce estático entre los cuerpos - sin roce con el piso	estática hacia atrás	No justifican el reposo relativo . El DCL del bloque (o Santiago) incluye una fuerza neta hacia atrás, implicando su movimiento en ese sentido.	Modelo de fuerza extendida simple (MFESI): Consideran que la fuerza F determina el sentido de movimiento de los dos elementos. Utilizando una opción de mínima complejidad, resuelven activando un esquema: <i>la fuerza de roce se opone al movimiento</i> . No detectan que la fuerza de roce hacia atrás en el bloque (Santiago) es incompatible con el movimiento de la mesa (colchoneta) hacia delante. Seleccionan el sentido de la fuerza de roce en el bloque (Santiago) en oposición a F aplicada a la mesa (colchoneta).
		estática hacia adelante	Justifican el reposo relativo del sistema	Modelo completo simple (MCS): Consideran que la mesa y el bloque (Santiago y la colchoneta) se mueven hacia delante.
III E₁: 9% E₂: 10%	- con roce estático entre los cuerpos - con roce dinámico con el piso	estática hacia atrás	No justifican el reposo relativo	Modelo de fuerza extendida complejo (MFEC): Idem al MFES, considerando el roce dinámico con el piso.
IV E₁: 16% E₂: 30%		estática hacia adelante	Justifican el estado de reposo relativo del sistema.	Modelo completo complejo (MCC): Idem al MCS sin considerar roce con el piso.
V E₁: 5% E₂: 9%	- sin roce entre los cuerpos - con roce dinámico con el piso	ausente	No justifican el reposo relativo	Modelo de reposo absoluto (MRA): Estos estudiantes confunden reposo relativo del bloque con reposo absoluto respecto a Tierra

Tabla 5. Análisis de las respuestas relacionadas con el estado de movimiento relativo (b)

Tipo de resolución ¹	Rozamiento	Fuerza de roce en el bloque (o Santiago)	Justificación del estado de movimiento	Modelo inferido
VI E ₁ : 25% E ₂ : 16%	- con roce dinámico entre los cuerpos - sin roce con el piso	dinámica hacia atrás	No justifican el estado de movimiento del sistema.	Modelo de fuerza extendida simple (MFESI): Trasladan el efecto de la fuerza al bloque (Santiago); Suponen que el mismo se moverá hacia adelante, por lo que dibujan la fuerza de roce en sentido contrario. No son capaces de “leer” el DCL del bloque (Santiago). Justifican sólo el movimiento de la mesa (colchoneta).
VII E ₁ : 25% E ₂ : 27%		dinámica hacia adelante	Justifican el movimiento del sistema	Modelo completo simple (MCS): Consideran que el bloque (Santiago) se mueve hacia la derecha con una aceleración diferente a la mesa. Pueden justificar así el movimiento de ambos cuerpos, de acuerdo a las condiciones impuestas en el enunciado.
VIII E ₁ : 30% E ₂ : 12%	- con roce dinámico entre los cuerpos	dinámica hacia atrás	No justifican el estado de movimiento del sistema.	Modelo de fuerza extendida complejo (MFEC): Idem al MFES, considerando el roce dinámico con el piso.
IX E ₁ : 20% E ₂ : 21%	- con roce dinámico con el piso	dinámica hacia adelante	Justifican el movimiento del sistema.	Modelo completo complejo (MCC): Idem al MCS considerando existencia de roce con mesa-piso.
X E ₂ : 10%	- sin roce entre los cuerpos	ausente	Justifican el movimiento del sistema.	Modelo reposo absoluto (MRA): Consideran que Santiago se mantiene en reposo y la colchoneta se acelera hacia adelante.

DISCUSIÓN

Análisis de las alternativas de solución para la consigna (a) detectadas en las resoluciones

En ambos problemas todos los estudiantes plantean sólo una de las alternativas de resolución

Problema E₁: Si bien el 95% de los alumnos considera la existencia de la fuerza de roce entre el bloque y la mesa, sólo el 40% le asignan el sentido correcto logrando justificar el estado de reposo relativo. Estos alumnos responden a los denominados *modelos completos* que implican que el bloque y la mesa se mueven juntos hacia adelante. Entre ellos, el 24% (caso II) utiliza la alternativa A₁, respondiendo al *Modelo completo simple*, que implica ausencia de roce entre la mesa y el piso (Figura 1). En el 16% restante (caso IV) se identifica el *Modelo completo complejo*, ya que incluyen una fuerza de roce dinámico con el piso, correspondiendo a la alternativa A₂. Finalmente, los estudiantes del caso V (5%) consideran que **no** existe roce entre los cuerpos. De este modo, no logran resolver satisfactoriamente la situación al confundir reposo relativo con reposo respecto a tierra, correspondiéndoles el denominado *Modelo de reposo absoluto*.

¹ El 14% de los estudiantes que resolvieron el problema E₂ no respondieron a la consigna (b)

Los estudiantes que conforman los casos I y III (55%) resuelven la situación extendiendo el efecto de la fuerza F al bloque, determinando su movimiento hacia adelante. Activan luego una definición sesgada: *la fr se opone siempre al movimiento*, respondiendo al denominado *Modelo de fuerza extendida simple* (caso I), y al *Modelo de fuerza extendida complejo* (caso III). La designación de *fuerza extendida* hace referencia a la idea de los estudiantes que la fuerza F también actúa sobre el bloque. Suponen que el bloque se moverá hacia adelante y, aplicando la definición, dibujan la fuerza de roce hacia atrás. Incluyen su par de acción y reacción sobre la mesa hacia adelante, sin detectar la contradicción que implica que el bloque “ayudaría” a la mesa en su desplazamiento, dando muestras de no revisar el modelo inicial.

Problema E₂: En este caso el 91% de los alumnos considera la existencia de la fuerza de roce entre el Santiago y la colchoneta y el 65% le asignan el sentido correcto, justificando el estado de reposo relativo. Estos alumnos responden a los denominados *modelos completos* que implican que el Santiago y la colchoneta se mueven juntos hacia adelante. Entre ellos, el 35% (caso II) utiliza la alternativa A₁, respondiendo al *Modelo completo simple*, que implica ausencia de roce entre la colchoneta y el piso (Figura 1). En el 30% restante (caso IV) se identifica el *Modelo completo complejo*, ya que incluyen una fuerza de roce dinámico con el piso, correspondiendo a la alternativa A₂. Al igual que en el E1, los estudiantes del caso V (9%) consideran que no existe roce entre los cuerpos, confundiendo reposo relativo con reposo respecto a tierra, correspondiéndoles el denominado *Modelo de reposo absoluto*.

En este problema el porcentaje de quienes asignan mal el sentido de la fuerza de roce, respondiendo al *Modelo de fuerza extendida* es mucho menor que en el E1, ya que representa el 26% de la muestra.

Análisis de las alternativas de solución para la consigna (b) detectadas en las resoluciones

Aquí también se encontró que los estudiantes plantean sólo una de las soluciones alternativas. En el caso del problema E₂ el 14% de los alumnos no responde a la consigna planteada.

Problema E₁: Si bien todos los estudiantes consideraron la existencia de la fuerza de roce entre el bloque y la mesa, sólo el 45% le asigna el sentido correcto, respondiendo a los denominados *modelos completos*. Entre ellos, el 25% (caso VII) utiliza la alternativa B₁, respondiendo al *Modelo completo simple*, que implica ausencia de roce entre la mesa y el piso (Figura 1). En el 20% restante (caso IX) se identifica el *Modelo completo complejo*, incluyendo una fuerza de roce dinámico con el piso, correspondiendo a la alternativa B₂ (Figura 2).

Los estudiantes que conforman los casos VI y VIII (55%) resuelven la situación extendiendo el efecto de la fuerza F al bloque, determinando su movimiento hacia adelante, respondiendo al *Modelo de fuerza extendida* explicitado en párrafos anteriores, presentando los mismos errores que los mencionados en los casos I y III. Ninguno de los alumnos que aplicó las soluciones B₁ o B₂ explicitó posibles alternativas en la relación entre las aceleraciones de los cuerpos (B₁₁, B₁₂, B₂₁ y B₂₂). Además, las soluciones B₃ y B₄ no fueron detectadas en ninguno de los protocolos. Estas alternativas implican imaginar un movimiento relativo en el cual el bloque “se queda en el mismo lugar” mientras que la superficie que lo sostiene, en este caso la mesa, se desplaza hacia adelante. Este modelado tiene una fuerte connotación intuitiva que lo limita.

Problema E₂: Un 14% de los alumnos de esta muestra no resuelven esta cuestión. Un 58% logra justificar el movimiento de Santiago y la colchoneta, entre ellos un 27% (caso VII) utiliza la alternativa B₁, respondiendo al *Modelo completo simple*, un 21% (caso IX) se identifica con el *Modelo completo complejo* (B₂) y el 10% restante corresponde a las soluciones B₃ y B₄ que, como se ha mencionado antes, implica que Santiago se queda en su lugar y la colchoneta se acelera hacia adelante, cumpliendo con la condición impuesta en esta consigna.

En este problema sólo un 28% (casos VI y VIII) resuelven la situación extendiendo el efecto de la fuerza F a Santiago, determinando su movimiento hacia adelante, respondiendo al *Modelo de fuerza extendida*. Al igual que en el E1, ninguno de los alumnos que aplicó las soluciones B₁ o B₂ explicitó posibles alternativas en la relación entre las aceleraciones de los cuerpos (B₁₁, B₁₂, B₂₁ y B₂₂).

CONCLUSIONES

En general, este análisis da evidencias de validación de la hipótesis, ya que los estudiantes, aún cuando desarrollan una de las alternativas correctas, no dan muestras de revisar y manipular su modelo inicial elaborado a partir de su comprensión del enunciado para estudiar modelos alternativos también válidos. El espacio del problema se reduce así a un único estado o modelo mental desde el cual responden a las consignas, dando cuenta de un sesgo de economía cognitiva. Además, ninguno de los estudiantes que justificaron el moviendo relativo analizó las posibilidades correspondientes a las distintas relaciones entre las fuerzas que determinan diferentes relaciones entre las aceleraciones de los cuerpos. Es decir, nadie dio muestras de revisar su modelo para indagar acerca de las posibles interpretaciones de la solución alcanzada. De este modo, los estudiantes no profundizan el análisis de la situación, sin indagar acerca de soluciones alternativas. Se reconoce un sesgo de fijación en una solución funcional que les impide una revisión recursiva del modelo mental inicial, ignorando otros estados posibles.

El estudio ha mostrado también que el porcentaje de alumnos que dan muestra de elaborar modelos adecuados es mayor en el problema E₂, en el cual, además, se reduce sensiblemente la presencia de modelos de fuerza extendida. Puede interpretarse que la presencia de un sujeto como parte del sistema (en el caso del problema E₂: Santiago) favorece la conformación de un modelo que remite a experiencias previas. En el caso de reposo relativo, por ejemplo, el hecho de que Santiago sea “paseado por el patio” manteniéndose sobre la colchoneta, les lleva a inferir que debe existir una fuerza que lo permita, identificando sobre él una fuerza de roce hacia adelante. De este modo, en este problema la percepción es determinante en la elaboración del modelo de situación desde el cual resuelven.

En la interacción cotidiana con el mundo de los fenómenos físicos cada individuo fue desarrollando modelos mentales que le resultaron funcionales y pasaron a formar parte de su conocimiento del mundo. Durante la instrucción en Física, ese individuo debe construir modelos que, en general, no sólo no coinciden con los almacenados por su experiencia cotidiana, sino que a menudo son incompatibles. La lucha que se establece entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano es, a veces, fuente de muchos errores, asociados al denominado sesgo de creencias, detectados especialmente en la resolución de problemas. En el caso del problema de Santiago, es tan fuerte el correlato perceptivo que se impone a la definición sesgada de la fuerza de roce² y, en este caso, es la experiencia cotidiana la que ayuda a la identificación del sentido correcto de la fuerza de roce sobre Santiago (“percibe” una fuerza que lo tira hacia la derecha) y, en consecuencia, logra conformar el modelo que le permite resolver correctamente el problema. Esto no ocurre en el problema E₁, en el cual, como se ha mostrado, en general aplican la definición sesgada de fuerza de roce. Puede inferirse que, a pesar de que los estudiantes también han percibido el movimiento de alguna mesa con un objeto, el análisis de este sistema sin la presencia explícita de un agente externo realizando la fuerza **F** les resulta más complejo.

BIBLIOGRAFÍA

Bodner M. G. y Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in Chemistry. *University Chemistry Education*, 4 (1), 24-30.

Buteler, L., Gangoso, Z., Brincones, I., González, M. (2001). La resolución de problemas en Física y su representación. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 285-295.

Coleoni, E. A.; Otero, J. C.; Gangoso, Z. y Hamity, V. (2001). La construcción de la representación en la resolución de un problema de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3).

² La definición sesgada implica considerar que la fuerza de roce se opone siempre al sentido de movimiento

- Escudero, C., García, M., González, S., Massa, M. (2001). "Modelos de situaciones problemáticas propuestos en los textos escolares de Biología", *Revista Brasileira de Pesquisa em Educacao em Ciencias*, 1(1), 31-42.
- Galotti, K. (1989). Approaches to studying formal and everyday reasoning, *Psychological Bulletin*, 105, 331-351.
- Greca, I. & Moreira, M. (1996). Tipos de modelos mentales utilizados por físicos en actividad. *Actas del III Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física (SIEF)*. Córdoba. Argentina.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations -- models, propositions and images -- used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*. London.
- Gutiérrez Martínez, F, García Madruga, J. A. y Carriedo López, N. (2002). *Psicología Evolutiva II. Desarrollo cognitivo y lingüístico. Volumen I y II: Universidad Nacional de Educación a Distancia*. Madrid. España.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (9) : 1019-1041.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules : implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Johnson - Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Harvard University Press, Cambridge.
- Lagreca, M. C. B. y Moreira, M. A. (1999). Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área. *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- Llonch, E, Sánchez, P., Massa, M., D'Amico, H. (2001). "La comprensión de problemas: una cuestión de modelado situacional", VI Congreso internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias, N° Extraordinario Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, España, 305-306.
- Massa, M., Sánchez, P., D'Amico, H., Rosolio, A., Lanás, H. (2006). "Reconocimiento de las interacciones mecánicas: efecto de las percepciones y la enseñanza en la Educación Polimodal", VIII Simposio de Investigación en Educación en Física
- Moreira, M.A. e Lagreca, M.C.B. (1998). Representações mentais dos alunos em Mecânica Clássica: três casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, 3(2).
- Newell, A. y Simon, H. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, P. Hall. N.J.
- Sánchez, N., Escudero, C., Massa, M. (2001). "Modelos de situaciones problemáticas propuestos en los textos escolares de Biología", VI Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias, N° Extraordinario *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, (307-308).
- Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé López, V. (2007). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1).
- Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé, V. (2006a). ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas? *Revista de Educación*, 339, 693-710.
- Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2006b). Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas. Enviado a *Investigações em Ensino de Ciências*.