

Deduciendo movimientos: un estudio del procesamiento de enunciados condicionales por estudiantes universitarios

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Rosana Cassan¹, Marta Massa¹

¹ Grupo de Conceptualización en Educación en Ciencias, Escuela de Formación Básica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario Av. Pellegrini 250 CP 2000, Rosario, Argentina

E-mail: rcassan@eie.fceia.unr.edu.ar

Resumen

Este trabajo analiza la manera en que 93 estudiantes de ingeniería del primer curso de Física Básica realizan inferencias condicionales "si p entonces q". El estudio se realizó a partir de una actividad que relacionaba la fuerza resultante sobre una partícula con los movimientos. Los resultados muestran predominio de razonamientos tipo Modus Ponens para movimientos unidimensionales y Modus Tollens o Afirmación del Consecuente para movimientos en el plano. Los resultados se discuten desde la Teoría de los Modelos Mentales.

Palabras clave: Razonamiento, Inferencias condicionales, Dinámica, Universitario.

Abstract

This article analyzes the way in which 93 engineering students of a first year course of Basic Physics produce inferences dealing with the conditional "if p then q". The study was done from an activity that relates the resultant force with possible movements of a particle. The results show predominance of Modus Ponens reasoning for one-dimensional movements and of Modus Tollens or Affirmation of the Consequent for plane motions. The results are discussed in terms of the Theory of Mental Models.

Keywords: Reasoning, Conditional inferences, Dynamics, University

I. INTRODUCCIÓN

Aprender, comprender, tomar decisiones, resolver problemas son procesos cognitivos que requieren razonar sobre conocimientos y datos disponibles (que se constituyen en premisas) para la obtención de una nueva información o conclusión. Razonar es fundamentalmente inferir (Galotti, 1989; Gutiérrez Martínez, 1995). En situaciones cotidianas e intencionalmente durante su educación formal, el sujeto realiza inferencias lógicas para elegir entre varias alternativas, para decidir un curso de acción, para interpretar una situación o para resolver una cuestión. La escolaridad obligatoria atiende, entre sus finalidades formativas, al progresivo desarrollo de la capacidad de razonar como actividad del pensamiento.

El estudiante que ingresa a carreras de ingeniería se ve comprometido de inmediato al abordaje de diferentes contenidos disciplinares, con lenguajes, formas de trabajo y tareas que le demandan abstraer, hipotetizar, razonar, integrar información, resolver situaciones nuevas. La eficacia en ejecutar estos procesos define el carácter y la significatividad de los aprendizajes de un estudiante y, también, de su éxito o fracaso ante las tareas que se le proponen. En este sentido, es importante proporcionar a los estudiantes, desde el inicio en las diferentes disciplinas, entre ellas la Física, actividades que propicien el desarrollo de habilidades cognitivas indispensables para el logro de un pensamiento racional y reflexivo, que les permita aprender de manera cada vez más autónoma, integrada y significativa.

El razonamiento tiene un rol central en el desarrollo de la Física y en su aprendizaje. En el proceso de construcción de una teoría, se introducen conceptos (formales o fácticos - observacionales o no

observacionales), se asumen algunos enunciados como hipótesis, otros como enunciados basados en derivaciones previas, o bien sugeridos por lo empírico (Bunge, 1980). El valor de “verdad” de tales enunciados está sujeto a la probabilidad de ocurrencia, al soporte de resultados previos o a su expresión hipotética. De ellos se concluyen nuevos conocimientos y se les atribuye validez si se muestra su consecuencia lógica en el razonamiento. Ante un enunciado verdadero en cuanto da cuenta de un hecho ocurrido o factible, la explicación científica intenta dar las razones que justifican su ocurrencia (Klimovsky, 1997).

La organización del conocimiento de la Mecánica Clásica, enseñada en un primer curso de Física en carreras de ingeniería, responde a una estructura de razonamiento lógico-formal que es la que se tiende a conformar, en las situaciones de enseñanza y de aprendizaje, mediante el discurso científico del aula de Física y de los libros de texto. Tal discurso está cargado de inferencias, muchas de ellas condicionales, que se caracterizan por responder a una estructura del tipo “*si p entonces q*”. En la producción de explicaciones científicas durante el aprendizaje, en el proceso de comprensión de enunciados de problemas y en su resolución, el estudiante infiere sobre la base de enunciados establecidos desde un marco teórico y juicios dados como dato o bien como suposiciones. Específicamente, durante la resolución de problemas: razona en base a los principios y leyes del marco teórico que recuerda, articulados con datos provistos por el enunciado de un problema, para establecer una conclusión que definirá el enfoque de interpretación y resolución (Massa, Yanitelli y Cabanellas, 2002). Sin embargo, en el lenguaje cotidiano las frecuentes inferencias condicionales que se formulan resultan ambiguas y suelen interpretarse en forma muy variable. Como Seoane y Valiña (1988) han señalado, las inferencias cotidianas se utilizan para expresar *relaciones causales* (v.g. “*si llueve entonces el jardín se moja*”), *temporales* (v.g. “*si vas a Lugo entonces verás la muralla*”), *promesas* (v.g. “*si votas al partido Z entonces no entraremos en la estructura militar de la OTAN*”), *amenazas* (v.g. “*si no haces los deberes entonces no verás los dibujos animados*”) (p.272). De allí que la influencia que suponen las normas del uso de este lenguaje cotidiano por los estudiantes puede obstaculizar el aprendizaje de contenidos científicos y esquemas de razonamiento lógico.

Estudios acerca de los procesos inferenciales en estudiantes universitarios se han desarrollado vinculados con la demostración matemática y los argumentos lógicos utilizados o bien reconocidos en el curso de la misma (Camacho Moreno, Sánchez Pozos, Zubieta Badillo, 2014). Si bien existen investigaciones relacionadas con las inferencias que un sujeto realiza para construir modelos mentales o en la argumentación (Fagúndez Zambrano y Castells Llavanera, 2012; Guisasola, Ceberio y Zubimendi, 2003; Vieira y Nascimento, 2007), son escasos aquellos que se centran específicamente en los modos de producción de tales inferencias en el área de Física (Attorresi y Nicolai, 2008; Massa et al. 2002; Sánchez y Massa, 1999).

En particular, desde el primer curso de Física destinado a la formación de ingenieros, interesa que el aprendizaje de conceptos y relaciones en la organización de una estructura teórica se realice junto con la apropiación y uso de un discurso científico que exprese una forma de pensar. Este trabajo se centra en un estudio sobre las formas de procesar enunciados condicionales que involucran contenidos básicos de Cinemática y Dinámica de la Partícula.

II. LAS INFERENCIAS CONDICIONALES

La deducción en el razonamiento proposicional hace depender la verdad del último enunciado (conclusión) de la verdad de los anteriores (premisas), que se toman como punto de partida. Salmon (1991) considera que tal actividad requiere habilidad para comprender instrucciones, juzgar la información relevante, buscar soportes para argumentar, distinguir entre afirmaciones insostenibles y argumentos, usar principios para evaluar argumentos, examinar la fuerza de los contraejemplos, diseñar experimentos mentales o reales que permitan testear las afirmaciones, decidir e inferir.

El denominado razonamiento condicional es una de las formas más importante del razonamiento proposicional deductivo por su relevancia en el pensamiento científico, así como por las dificultades que plantea a un sujeto su comprensión y su uso. Se centra en las inferencias realizadas a partir de enunciados del tipo “*si p entonces q*” donde *p* es el antecedente y *q* el consecuente. En este tipo de enunciado, desde un punto de vista lógico-formal, se está indicando que *p* es *condición suficiente* para que se dé *q*, si bien que *q* puede darse sin que necesariamente se cumpla el antecedente. Desde la Lógica, las cuatro modalidades diferentes en que puede darse la inferencia condicional, también denominada implicancia material, se muestran en la Tabla I.

La Lógica proporciona criterios para determinar si ciertos procesos inferenciales de pensamiento constituyen argumentos válidos. Estos sistemas lógicos constituyen lenguajes donde las ideas se expresan por medio de oraciones con reglas propias. Se asume que todas las proposiciones pueden tomar sólo dos

valores: verdadero (V) o falso (F). La Tabla I muestra los criterios de Verdad para el condicional “*si p entonces q*”. Las dos primeras inferencias (MP y MT) son lógicamente válidas, mientras que las dos últimas (AC y NA) son erróneas y consideradas falacias por cuanto son argumentos que muestran algún defecto en su forma y pueden conducir a conclusiones falsas (Gutiérrez Martínez, 1995; Gutiérrez Martínez, García Madruga y Carriedo López, 2002).

TABLA I. Modalidades del razonamiento condicional y Tabla de Verdad correspondiente

Modalidad	Inferencia	Tabla de Verdad		
		p	q	
Modus Ponens (MP)	si p entonces q, p, luego q	V	V	V
		V	F	F
Al afirmar p <u>es válido</u> afirmar q pero no negarlo				
Modus Tollens (MT)	si p entonces q, no q, luego no p	F	F	V
		V	F	F
Al negar q <u>es válido</u> negar p pero no afirmarlo				
Afirmación del consecuente (AC)	si p entonces q, q, luego p	F	V	V
		V	V	V
Al afirmar q <u>no es válido</u> negar o afirmar al otro término p				
Negación del antecedente (NA)	si p entonces q, no p, luego no q	F	F	V
		F	V	V
Al negar p <u>no es válido</u> negar o afirmar el otro término q				

Entre las líneas teóricas que han abordado la interpretación del razonamiento deductivo cabe mencionar la Teoría de las Reglas Formales de Inferencia y la Teoría de los Modelos Mentales.

La Teoría de las Reglas Formales de Inferencia (Braine y O'Brien, 1991; Rips, 1994) supone que los seres humanos poseen reglas sintácticas en sus mentes, que configuran una especie de lógica natural, y usan esa lógica mental cuando razonan (Garnham y Oakhill, 1996). El razonamiento consiste en la aplicación de reglas de inferencias específicas, de acuerdo a una lógica proposicional y de varios procesos de comprensión pragmática, que explican el efecto del contenido. Estas reglas constituyen esquemas universales con pequeñas diferencias individuales, debido a dificultades en la selección del esquema relevante o en la aplicación de una secuencia coherente. Un razonamiento será tanto más difícil cuanto mayor cantidad de reglas se deban aplicar para resolverlo.

La Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird y Byrne, 2002), adoptada en este trabajo, supone que los sujetos no razonan a partir de reglas sintácticas formales sino que el razonamiento proposicional se basa en una representación mental del mundo, que se desarrolla en etapas:

a) *Interpretación de las premisas mediante la construcción de un modelo inicial* sobre la base del conocimiento que el sujeto supone relevante, recuperado durante la construcción. En el caso de la premisa “*si p entonces q*” la misma se codifica con la construcción de dos modelos, uno de los cuales representa explícitamente la ocurrencia de *p* y *q*, es decir, que *p* y *q* son verdaderos, mientras que el segundo es implícito pero permite otras posibilidades en las que *p* sea falso (el hecho de ser implícito se representa con los tres puntos):

p q

...

b) *Combinación de modelos iniciales* para producir un nuevo modelo desde el cual se formula una conclusión. La misma mantiene el contenido semántico de las premisas pero enuncia relaciones no establecida en forma explícita por ellas.

c) *Validación del modelo* por búsqueda de modelos alternativos en los cuales la conclusión probable es falsa. Si tal modelo no existe, la conclusión es válida. Si existe, se retorna a la etapa b). También se puede examinar la existencia de posibles contraejemplos a fin de establecer si la conclusión es válida o no.

El modelo mental (MM) es una representación que contiene información explícita e implícita. Cuanta mayor información deba ser representada explícitamente, mayor será la carga cognitiva sobre la capacidad de procesamiento de la memoria de trabajo. Por esta razón, los modelos iniciales de las proposiciones tendrán la mayor información posible en forma implícita. La misma no está inmediatamente disponible para su procesamiento; se torna disponible sólo cuando se hace explícita, es decir, cuando se desarrolla el modelo. La Teoría de los Modelos Mentales predice que la dificultad de una

inferencia es función del número de modelos disyuntivos que el sujeto deba manipular para arribar a una conclusión. Esa dificultad puede llevar a los sujetos a elaborar inferencias ilusorias que proceden del conjunto de modelos iniciales, de las cuales sacan conclusiones que parecen obvias, pero que son erróneas. Estas inferencias pueden reducirse con una aclaración del enunciado y una reducción en la carga de la memoria de trabajo. Esta teoría explica que la inferencia MP tiene mayor probabilidad de ocurrencia que MT en función de la menor cantidad de modelos mentales requeridos para construir la inferencia.

Los estudios acerca del razonamiento condicional se centran en el análisis según las Tablas de Verdad de las producciones de los sujetos, partiendo del supuesto que ellos razonan lógicamente. El razonamiento cotidiano o pragmático no se rige estrictamente por las reglas de la lógica, sino que quien piensa puede implícita o explícitamente, agregar, sustraer o modificar algunas o todas las premisas proporcionadas. Si el sujeto modifica el conjunto original de premisas, la calidad del argumento deberá reflejar esas modificaciones. Las diferencias que se observan en sus respuestas son atribuidas a la aplicación de sus propias tablas de verdad, por influencia de factores extra-lógicos (Tweney y Doherty, 1984, citado en Seoane y Valiña, 1988), que se incorporan en los MM.

Baron (1988, cit. en Garnham y Oakhill, 1996) sustenta la idea que todo razonamiento puede concebirse como una búsqueda de posibilidades, evidencias y metas, y como la elaboración de inferencias. Entiende las *posibilidades* como las potenciales respuestas a la pregunta que inspira el pensamiento, ellas pueden estar en la mente (al igual que las evidencias y metas) antes que se comience a pensar, o pueden agregarse como resultado de la búsqueda o ser sugeridas desde afuera. Cada posibilidad tendrá una determinada intensidad para quien razona en función de la manera en que considera que satisface el criterio propuesto para alcanzar la meta. Cuando la meta del pensamiento es evaluar si una creencia es apropiada como una base para la acción, entonces la intensidad de la posibilidad está asociada al grado de creencia del sujeto en ella o, en algunos casos, a su probabilidad de ocurrencia. En la toma de decisiones, la intensidad de una posibilidad corresponde a la conveniencia de un acto, teniendo en cuenta todas las metas relevantes.

Reviste el carácter de *evidencia* todo aquello que puede ser usado, ya sea porque es buscado o está disponible para decidir acerca de posibilidades. Una posibilidad puede servir como evidencia contra otra, como cuando se cambia una hipótesis científica para dar una explicación de los datos como alternativa, siendo incompatible con la anterior. Las *metas* son los criterios que usa quien razona para pesar la evidencia, y no todos son dados. Debe buscarlos y, a veces, descubrirlos mientras se busca evidencia. La meta determina qué evidencia se busca y cómo se usa. La submeta es un tipo de meta cuyo logro ayudará a lograr la meta principal, es una posibilidad parcial. La inferencia es, para Baron, el uso de evidencia, a la luz de las metas, para incrementar o decrecer la fuerza de las posibilidades. Estos movimientos son los que se interpretan en la dinámica de los MM.

III. METODOLOGÍA

El estudio del proceso de producción de las inferencias condicionales y la consistencia de los patrones utilizados por estudiantes universitarios se efectuó sobre la base del siguiente enunciado, organizado como alternativa de cinco posibilidades ante las cuales el estudiante debe precisar, para cada una de ellas, el condicional “*si p entonces q*” y que actuará como meta:

“*Si la fuerza resultante aplicada a una partícula es constante, el movimiento puede ser:*

- a) *rectilíneo uniforme,*
- b) *rectilíneo uniformemente acelerado,*
- c) *parabólico,*
- d) *circular uniforme,*
- e) *circular uniformemente acelerado.*

Justificar la respuesta”

El mismo fue incluido en el primer examen parcial de la asignatura Física I, donde se evaluaba los contenidos de cinemática y dinámica de la partícula. Fue aplicada a 93 estudiantes de dos comisiones de primer año de carreras de Ingeniería (Civil, Industrial, Mecánica, Electrónica, Eléctrica y Agrimensura) que ya habían aprobado Análisis Matemático I y regularizado o aprobado Álgebra I. La pregunta analizada fue resuelta por escrito y en forma individual y, posteriormente, conversada por las autoras de este trabajo con los estudiantes. La pregunta fue formulada con la intención de analizar si los estudiantes han comprendido que el movimiento de una partícula queda determinado por la resultante de las fuerzas actuantes (consideración dinámica) y las condiciones iniciales o de borde (consideración cinemática). Además interesó indagar si el enunciado condicional es interpretado en su sentido lógico, es decir, si el antecedente es entendido como condición suficiente para que se dé el consecuente. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el estudiante debía diferenciar dos grupos de situaciones:

- o casos *a*, *d* y *e*: la consideración dinámica formulada como antecedente es suficiente para realizar la inferencia condicional,
- o casos *b* y *c*: la consideración dinámica no es suficiente para dar validez a la inferencia condicional.

De acuerdo con el enunciado dado, el estudiante debía formular primero los enunciados condicionales según considerase su veracidad o falsedad.

A. Procesamiento de datos

En una primera etapa se diferenciaron tres situaciones en las actuaciones de los estudiantes: los que responden justificando sus respuestas, aquellos que indican ‘verdadero’ o ‘falso’ pero no justifican, y quienes no responden. Se contrastó esta situación con el rendimiento general en la evaluación del primer parcial, considerando: rendimiento bajo ($x < 40\%$ de respuestas satisfactorias del contenido del examen), medio ($40 \leq x < 60\%$), bueno ($60 \leq x < 80\%$) y muy bueno ($x \geq 80\%$).

Las respuestas de los estudiantes que realizaron la tarea en forma completa fueron analizadas en profundidad, en una segunda etapa, en forma independiente por ambas autoras desde el marco teórico indicado. Se atendió a la forma del razonamiento seguido, según respondiese a una de las cuatro inferencias condicionales: MP, MT, AC y NA. Se comenzó estudiando las actuaciones de los estudiantes en referencia a los casos *a*, *d* y *e* (antecedente con condición suficiente) y, posteriormente, frente a los casos *b* y *c* (antecedente con condición no suficiente). En esta última situación, se procedió a identificar a los estudiantes que reconocen que deben completar el antecedente con las consideraciones cinemáticas. Concluida esta etapa, se compararon los análisis realizados por ambas autoras, se discutieron algunas diferencias y se buscaron consensos mediante triangulación de investigadores. Finalmente, se registró la frecuencia porcentual de la emergencia de cada modalidad y la forma de razonamiento.

IV. RESULTADOS

Como se muestra en la Figura 1, entre el 15 y 24% de los estudiantes no responde, y si a ese porcentaje se le suman los que responden sin justificar su respuesta, el valor varía entre el 22 y 36%. La mayoría de estos estudiantes tuvo un bajo rendimiento general en el examen.

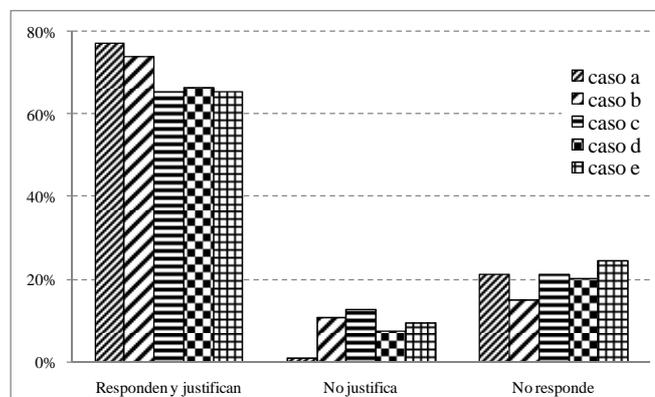


FIGURA 1. Distribución porcentual de las actuaciones de los estudiantes ante cada caso

Las Tablas II a VI resumen los modos de razonamiento identificados en quienes responden y justifican (excluyendo aquellos que incurrir en errores conceptuales) y la cantidad de estudiantes que sostuvo el mismo. También se presenta, a modo de ejemplo, la producción de un estudiante, acompañando en algunos casos de extractos de la entrevista posterior realizada.

TABLA II. Razonamiento de los estudiantes ante el caso *a*, indicando la frecuencia absoluta de ocurrencia

Nº de estudiantes	Caso <i>a</i> : MRU	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
14	Modus Ponens (MP) $p \rightarrow q$: Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es rectilíneo uniforme	Estudiante 13: <i>FALSO</i> . Al haber una fuerza implica que la partícula esté acelerada. Por lo tanto no es uniforme.

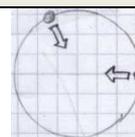
N° de estudiantes	Caso a: MRU	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
	p : la fuerza resultante es constante luego q : el movimiento no es rectilíneo uniforme	De la entrevista: ... <i>Me dan un dato $F=cte$ y por Newton sé que hay a y de ahí saco mi conclusión.</i>
22	Modus Ponens (MP) <i>con modificación de antecedente</i> p → q : Si la fuerza resultante es constante y <i>nula</i> entonces el movimiento es rectilíneo uniforme p : la fuerza resultante es constante y <i>nula</i> luego q : el movimiento es rectilíneo uniforme	Estudiante 8: <i>VERDADERO. En caso que \vec{F} sea constante y además $\vec{F} = \vec{0}$. También se requiere velocidad inicial $\neq 0$.</i> De la entrevista: ... <i>Bueno, yo me dí cuenta que entraba porque la cte podía ser 0 en particular.</i>
10	Modus Tollens (MT) p → q : Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es rectilíneo uniforme no q : el movimiento es rectilíneo uniforme luego no p : la fuerza resultante no es constante	Estudiante 70: <i>Falso. En un MRU la resultante es nula.</i> De la entrevista: <i>Yo primero me fijo en el movimiento que me daban y después veo si era verdadera la oración.</i>
8	Afirmación del consecuente (AC) <i>con modificación de antecedente</i> p → q : Si la fuerza resultante es constante y <i>nula</i> entonces el movimiento es rectilíneo uniforme q : el movimiento es rectilíneo uniforme luego p : la fuerza es constante y nula	Estudiante 29: <i>Verdadero. Si un movimiento es rectilíneo uniforme implica que la velocidad es constante, por lo tanto la aceleración de la partícula será 0. Al aplicar la Segunda Ley de Newton ($\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$) se verifica que $\vec{F} = \vec{0}$ para todo instante del movimiento, por lo tanto \vec{F} es constante.</i>

TABLA III. Razonamiento de los estudiantes ante el caso d, indicando la frecuencia absoluta de ocurrencia

N° de estudiantes	Caso d: MCU	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
14	Modus Ponens (MP) p → q : Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es circular uniforme p : la fuerza resultante es constante luego q : la aceleración es constante (implícito o mediante esquema: el movimiento no es circular uniforme)	Estudiante 40: <i>Falso. Que el vector fuerza resultante sea constante quiere decir que siempre tenga la misma dirección, sentido y módulo. Esto en la Segunda Ley de Newton ($\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$) se traduce a que el vector \vec{a} sea constante. En el movimiento circular uniforme la aceleración varía su dirección.</i>
31	Modus Tollens (MT) p → q : Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es circular uniforme no q : el movimiento es circular uniforme luego no p : la fuerza resultante no es constante	Estudiante 79: <i>Falso. En el movimiento circular uniforme la aceleración permanece constante en módulo pero no en dirección y sentido.</i> De la entrevista: <i>Me fijo en lo que sé de movimientos para sacar lo que pasa con las fuerzas. ...Es como que me siento más segura en lo que aprendí porque el circular es difícil.</i>

TABLA IV. Razonamiento de los estudiantes ante el caso e, indicando la frecuencia absoluta de ocurrencia

N° de estudiantes	Caso e: MCA	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Inferencia
12	Modus Ponens (MP) p → q : Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es circular uniformemente acelerado p : la fuerza resultante es constante luego q : la aceleración es constante (implícito o mediante esquema: el movimiento no es circular uniformemente acelerado)	Estudiante 22: <i>FALSO. Más allá de que el módulo sea igual o no en cada punto la dirección cambia.</i> De la entrevista: <i>Para mí fuerza constante quiere decir en dirección, sentido y no solo en módulo y por la ley de Newton esto es lo mismo para la aceleración. Con el dibujo quise resaltar lo de la dirección que no se cumple ya</i>



N° de estudiantes	Caso e: MUA	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Inferencia
		<i>desde que el movimiento sea circular.</i>
38	Modus Tollens (MT) p → q: Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento no es circular uniformemente acelerado no q: el movimiento es circular uniformemente acelerado luego no p: la aceleración tiene componente tangencial y radial y no es constante (implícito o mediante esquema: la fuerza resultante no es constante)	Estudiante 20: Falso porque la aceleración cambia de dirección y sentido durante el movimiento y como la resultante es constante en dirección, módulo y sentido la aceleración debe ser constante también en dirección, módulo y sentido.

En la Figura 2 se muestra la distribución porcentual, sobre el total de los estudiantes, según el razonamiento identificado. Se considera “correcto” cuando el estudiante formula adecuadamente el enunciado condicional y justifica en forma pertinente y completa su inferencia. Como se observa, su razonamiento responde al patrón MP y MT en todos los casos, y al AC solo en el caso a.

Se considera “correcto con restricción” cuando el razonamiento es congruente con el contenido de la pregunta y los temas citados, pero han tenido alguna dificultad ya sea en la interpretación del enunciado o en la conclusión. Se detalla para cada caso:

- o *Caso a:* Cambian la condición inicial para forzar la verdad del enunciado condicional: *si la fuerza resultante es constante y nula, el movimiento es rectilíneo uniforme.* El estudiante adecúa el antecedente para lograr que la conclusión sea verdadera, y justifica a partir de la Primera Ley de Newton o Principio de Inercia. En la mayoría de los casos no consideran que para lograr este movimiento además de fuerza resultante nula o aceleración nula, debe poseer velocidad inicial.
- o *Casos d y e:* la justificación está incompleta por cuanto no explicitan el vínculo entre las consideraciones cinemáticas y dinámicas.

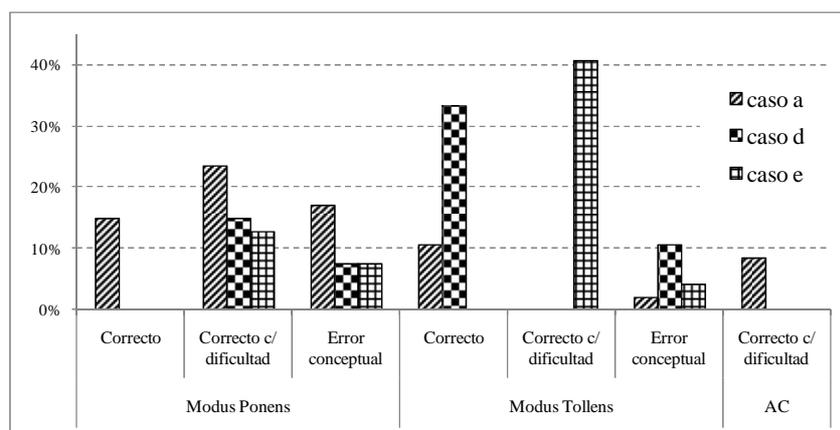


FIGURA 2. Distribución porcentual de las actuaciones en los casos a, d y e en función de la modalidad de razonamiento

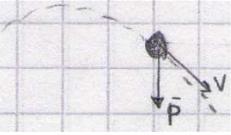
La dificultad en los casos b y c consiste en que solo analizan las variables dinámicas sin contemplar las cinemáticas. Los que razonan según MP, justifican que la aceleración de la partícula es constante a partir de la Segunda Ley de Newton y que, por lo tanto, el movimiento puede ser rectilíneo uniformemente acelerado o parabólico, según el caso. Los que razonan según AC, comienzan describiendo cada movimiento y justifican también a partir de la Segunda Ley de Newton. En ambos razonamientos no detectan que el antecedente no es suficiente para dar validez a la inferencia condicional, necesitando además conocer la velocidad inicial.

TABLA V. Razonamiento de los estudiantes ante el Caso *b*, indicando la frecuencia absoluta de ocurrencia

N° de estu- diantes	Caso <i>b</i> : MRUA	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
8	Modus Ponens (MP) con modificación de antecedente p' → q: Si la fuerza resultante es constante y es paralela a la velocidad inicial entonces el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado p: la fuerza resultante es constante y es paralela a la velocidad inicial luego q: el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado	Estudiante 16: Si la fuerza resultante que actúa sobre una partícula es constante, el movimiento de la partícula puede ser Rectilíneo uniformemente acelerado: Verdadero. Porque si $\Sigma \vec{F} = \text{ctte} \rightarrow m\vec{a} = \text{ctte} \rightarrow \vec{a}$ no varía su módulo, su dirección ni su sentido (en este caso $\vec{v} // \vec{a}$). De la entrevista: ¿Por qué agregué lo de la velocidad? Y bueno, en clase nos dijeron siempre que con la fuerza no es suficiente. Se me grabó lo de la velocidad inicial y pensé que también me pedían reconocer eso que faltaba.
24	Modus Ponens (MP) p → q: Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado p: la fuerza resultante es constante luego q: el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado	Estudiante 31: Verdadero, porque si hay una fuerza, hay aceleración, y si hay una aceleración hay cambio de velocidad respecto al tiempo. De la entrevista: Con el dibujo quise poner lo de la caída libre: el cuerpo que se suelta y la fuerza de la gravedad que lo acelera con <i>g</i> 
3	Afirmación del consecuente (AC) con modificación de antecedente p' → q: Si la fuerza resultante es constante y es paralela a la velocidad inicial entonces el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado q: el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado luego p: la fuerza resultante es constante y es paralela a la velocidad inicial	Estudiante 86: VERDADERO: En el MRUA la aceleración es un vector constante paralelo a la velocidad, por lo tanto $\Sigma \vec{F} = m\vec{a} = \text{ctte}$.
12	Afirmación del consecuente (AC) p → q: Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado q: el movimiento es rectilíneo uniformemente acelerado luego p: la fuerza resultante es constante	Estudiante 26: Para MRUA $a \neq 0$, cumpliendo con esta condición el resto de los valores ctes de <i>a</i> cumplen con el enunciado, ya que en este movimiento no varía ni el módulo, ni la dirección, ni el sentido de la aceleración. Verdadero

TABLA VI. Razonamiento de los estudiantes ante el caso *c*, indicando la frecuencia absoluta de ocurrencia

N° de estu- diantes	Caso <i>c</i> : Movimiento parabólico	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
8	Modus Ponens (MP) con modificación de antecedente p' → q: Si la fuerza resultante es constante y no es paralela a la velocidad inicial entonces el movimiento es parabólico p: la fuerza resultante es constante y no es paralela a la velocidad inicial luego q: el movimiento es parabólico	Estudiante 52: Verdadero. Si la partícula tiene velocidad inicial y la fuerza tiene distinta dirección, entonces se formará un movimiento, será parabólico. De la entrevista: Como en todos los casos la fuerza es constante, yo lo que hice fue acordarme de lo que vimos en Ejemplos de fuerza y movimiento. Ahí la diferencia estaba en la velocidad inicial, pero eso lo agregué....Sino no daba
1	Modus Ponens (MP) p → q: Si la fuerza resultante es constante entonces el movimiento es parabólico p: la fuerza resultante es constante luego q: el movimiento es parabólico	Estudiante 56: Como la dirección, el módulo y el sentido de la fuerza es constante el movimiento de la partícula puede ser parabólico. Verdadero 
5	Afirmación del consecuente (AC) con modificación de	Estudiante 58:

N° de estudiantes	Caso c: Movimiento parabólico	
	Inferencia sobre enunciado formulado	Respuesta representativa
	<p>antecedente $p \rightarrow q$: Si la fuerza resultante es constante <i>entonces</i> movimiento es parabólico q: el movimiento es parabólico luego p': la fuerza resultante es constante pero además <i>no es paralela a la velocidad inicial</i></p>	 <p><i>P constante y la velocidad siempre tg a la trayectoria. Verdadero</i></p> <p>De la entrevista: <i>Yo pensé en el movimiento parabólico donde el Peso es la fuerza constante que actúa y donde siempre la velocidad es tangente a la trayectoria. Aquí no la dibujé, pero la velocidad inicial forma un ángulo con la horizontal, por eso la forma... Y no es paralela a P</i></p>
23	<p>Afirmación del consecuente (AC) $p \rightarrow q$: Si la fuerza resultante es constante <i>entonces</i> el movimiento es parabólico q: el movimiento es parabólico luego p: la fuerza resultante es constante</p>	<p>Estudiante 41: <i>Si se considera un instante después de haberlo lanzado sería verdadero ya que la única fuerza es el Peso y es constante</i></p>

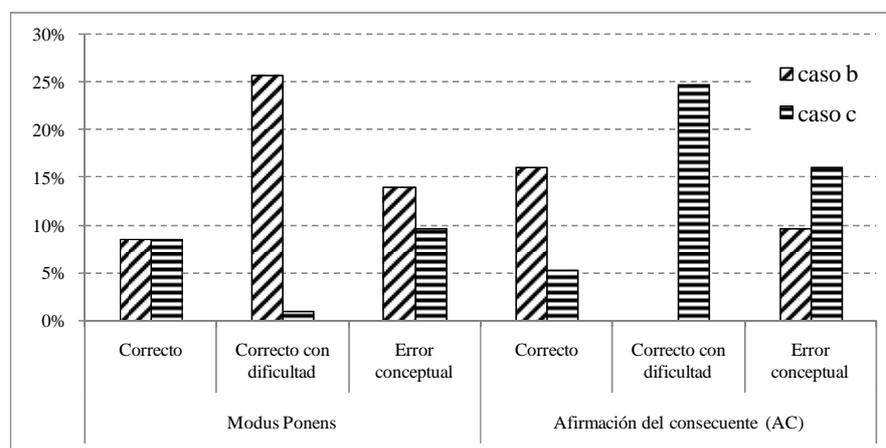


FIGURA 3. Distribución porcentual de las actuaciones en los casos *b* y *c* en función de la modalidad de razonamiento

Los principales **errores conceptuales** registrados en este estudio, cuyos porcentajes y modalidad de razonamiento se consignan en las Figuras 2 y 3, son:

- En los casos *a*, *b* y *c* se han reconocido estudiantes que relacionan la fuerza resultante constante con la constancia de la velocidad; que conciben que en un movimiento con aceleración constante, la fuerza resultante debe ser variable; que suponen que la expresión “fuerza constante” hace referencia a dirección y sentido constante, pero pueden existir variaciones en el módulo.
- En los casos *d* y *e*, algunos consideran que lo que permanece constante es el módulo de la fuerza resultante (por lo tanto, el movimiento es circular uniforme) y otros solo la dirección y sentido de la fuerza (por lo cual el movimiento no es circular); que confunden la constancia de la fuerza con la noción de “fuerza central”; que analizan la fuerza por sus componentes tangencial y radial, sin advertir que los cambios en dirección y módulo de tales componentes operan en modificaciones de la fuerza resultante durante el movimiento; que consideran que el vector velocidad es constante o bien que el vector aceleración radial es constante solo en módulo.

V. DISCUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En términos generales, la Figura 1 evidencia que los estudiantes se sienten más seguros en formular conclusiones y producir justificaciones cuando están involucrados movimientos unidimensionales. En los casos que corresponden a movimientos en el plano (*c*, *d* y *e*), prácticamente se mantiene constante la

cantidad de estudiantes que abordaron la actividad. Un análisis más detallado de las producciones de cada estudiante, evidencia que 51 de ellos resolvieron estas tres situaciones (*c*, *d* y *e*), 14 respondieron dos y 8 solo una.

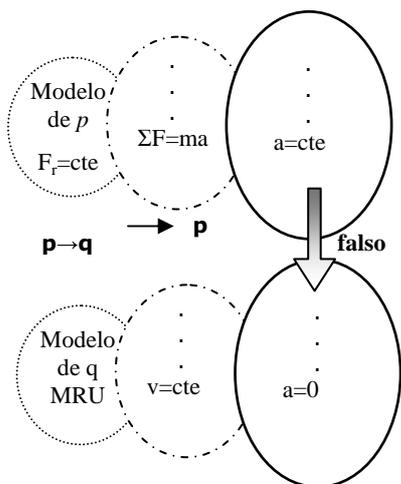


FIGURA 4. Posible evolución del MM (caso a)

Otro aspecto notorio en el caso *a* es que un número importante de estudiantes modifica el antecedente, ajustándolo para generar una inferencia condicional con un patrón también MP que responda al valor de verdad VV-V. Su esquema de razonamiento seguiría la evolución de la Figura 4, solo que adoptan explícitamente el caso particular del valor nulo de la fuerza resultante.

En los casos *d* y *e*, el modelo inicial del antecedente le estaría requiriendo al estudiante una mayor carga cognitiva para su organización: evidencia en forma explícita el procesamiento de la constancia de la fuerza resultante en su naturaleza vectorial (Figura 5). Su razonamiento responde al valor de verdad VV-V.

El patrón de razonamiento MT ha sido priorizado por los estudiantes en los casos *d* y *e* que corresponden a los movimientos circulares. Esto sugiere que estos estudiantes sienten mayor seguridad para fundamentar sus argumentos con las consideraciones cinemáticas del movimiento circular frente a las dinámicas. De allí que en sus inferencias adoptan como segunda premisa la negación del consecuente, si bien esto supone elaborar otro modelo (no *q*). Esto contrasta con la situación discutida para el caso *a* en la cual los estudiantes priorizarían, por economía cognitiva, el razonamiento MP.

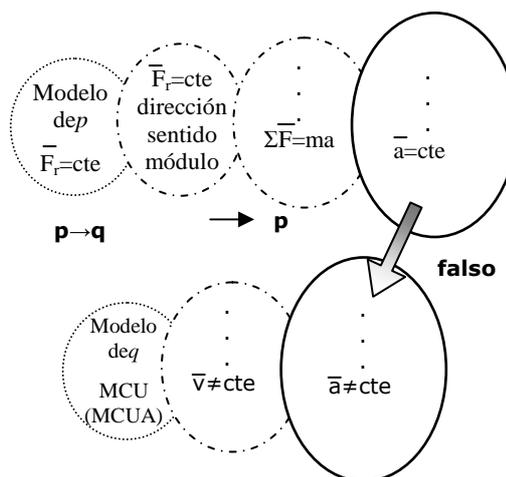


FIGURA 5. Posible evolución del MM (caso *d* y *e*)

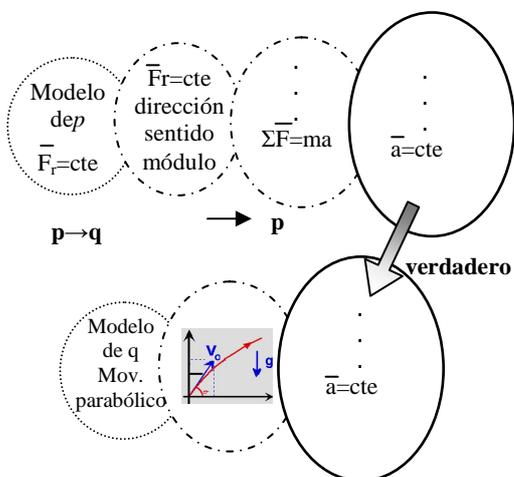


FIGURA 6. Posible evolución del MM (caso *c*)

Se destaca que los casos *a*, *d* y *e* corresponden a inferencias condicionales válidas por cuanto el antecedente reviste el carácter de condición suficiente. Prácticamente en los tres casos se ha mantenido constante la cantidad de estudiantes que utilizan MP como patrón de inferencia con un valor de verdad VV-V según lo indicado en la Tabla I. Según Johnson-Laird y Byrne (2002) los estudiantes en el caso *a* reflejan la organización de un modelo mental inicial de fuerza resultante (en algunos, se observa que queda implícita la constancia de ΣF , como en la respuesta del estudiante 13) y un modelo del movimiento rectilíneo uniforme, recuperando sus conocimientos previos de cinemática y dinámica. Procederían luego a revisar su modelo de fuerza resultante, para derivar otro más completo enunciando relaciones no establecidas en las premisas pero manteniendo el contenido semántico de ellas: en forma explícita se establece la vinculación con la aceleración, a fin de derivar la condición suficiente del antecedente sobre el consecuente (Figura 4).

En los casos *b* y *c* solo el patrón de inferencia MP, lógicamente válido, fue reconocido en las actuaciones de los estudiantes, con predominancia en relación con el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Esto acuerda con lo discutido para el caso *a* frente a lo observado con los movimientos en el plano (casos *d* y *e*). Cabe destacar que solo un 25%, de los estudiantes que emplearon este patrón en el caso *b*, parecen organizar modelos mentales más completos que les permitieran reconocer que el antecedente no reviste el carácter de condición suficiente. Tal reconocimiento los pudo haber llevado a modificar el antecedente y proceder desde allí a inferir. Esta situación se revertiría para el caso

del movimiento parabólico donde, al elaborar el modelo asociado al movimiento (consecuente q), el estudiante estaría recuperando, en su memoria de trabajo, gráficas introducidas en el aula y en los libros de texto en las que se enfatiza en las representaciones vectoriales de la velocidad inicial y de la fuerza resultante (o aceleración) (Figura 6).

De los estudiantes que utilizan el patrón AC para estos casos, solo un 20% aproximadamente razonan modificando el antecedente al introducir la velocidad como condición inicial. De esta manera convierten el enunciado condicional en uno bicondicional para el cual los cuatro patrones de inferencias son física y lógicamente válidas (Gutiérrez Martínez et al., 2002). Por ello no cometen falacia al razonar a partir de la afirmación del consecuente. Prácticamente todos realizan justificaciones en forma verbal, incluyendo esquemas que muestran las trayectorias y direcciones de la fuerza resultante y de la velocidad.

A la luz de estos resultados, como implicación didáctica de los mismos, se trabajó con los estudiantes aspectos relacionados con la comprensión de enunciados en los cuales participen no solo condicionales sino también otras conectivas lógicas de uso frecuente en el discurso en Física: la negación (**no p**), la conjunción (**p y q**), la disyunción (**p o q**), la exclusión (**o p o q**) y el bicondicional (**si y solo si**). De esta forma se procedió en forma explícita a orientar la atención de los estudiantes en las formulaciones que dotan de sentido lógico a las expresiones sobre las cuales reside la comprensión lectora de libros de textos, de enunciados de problemas y de consignas. También se insistió en la revisión de sus propios enunciados cuando comunican sus ideas.

Desde el punto de vista docente los resultados llevaron a revisar dos aspectos:

- o no presuponer el dominio de los estudiantes en la utilización de conectivas lógicas en esta etapa formativa, aún cuando hayan realizado dos cursos de Matemática donde se operan con las mismas;
- o insistir en que los movimientos quedan determinados por la característica de la fuerza resultante y por las condiciones iniciales o de borde (posición, velocidad de la partícula en instantes determinados) y enfatizar el uso de las representaciones vectoriales de las mismas aún en los movimientos rectilíneos. De esta forma se orientaría una mayor integración de los aspectos dinámicos y cinemáticas de los movimientos.

REFERENCIAS

- Attorresi, H. F. y Nicolai, L. I. (2008). Reconocimiento de la validez de argumentos condicionales en estudiantes universitarios. *XV Jornadas de Investigación y Cuarto Encuentro de Investigadores en Psicología del Mercosur*, Buenos Aires. Extraído de <http://www.academica.com/000-032/105.pdf> el 20/03/14.
- Braine, M. D. S. y O'Brien, D. P. (1991). A theory of If: A lexical entry, reasoning program and pragmatic principles. *Psychological Review*, 98, pp. 182-203.
- Bunge, M. (1980). *La investigación científica*, Barcelona: Ediciones Ariel.
- Camacho Moreno, V., Sánchez Pozos, J.J. y Zubieta Badillo, G. (2014). Los estudiantes de ciencias, ¿pueden reconocer los argumentos lógicos involucrados en una demostración?, *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), pp. 117-138.
- Fagúndez Zambrano; T. y Castells Llavanera, M. (2012). La argumentación en clases universitarias de Física: una perspectiva retórica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), pp. 153-174.
- Galotti, K. M. (1989). Approaches to studying formal and everyday reasoning, *Psychological Bulletin*, 105, pp. 331-351.
- Garnham, A. y Oakhill, J. (1996). *Manual de Psicología del Pensamiento*, Barcelona: Paidós.
- Guisasola, J., Ceberio, M. y Zubimendi, J.L. (2003). El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(3), pp. 211-229.
- Gutiérrez Martínez, F. (1995). *Razonamiento: de la teoría a la instrucción*, Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Gutiérrez Martínez, F., García Madruga, J.A. y Carriedo López, N. (2002). *Psicología Evolutiva II: desarrollo cognitivo y lingüístico*, Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Johnson-Laird, P. N. y Byrne, R. M. J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics, and inference. *Psychological Review*, 109, pp. 646-678.

Klimovsky, G. (1997). *Las desventuras del conocimiento científico*, Buenos Aires: A-Z Editora.

Massa, M., Yanitelli, M. y Cabanellas, S. (2002). Difficulties on Inferential process. A study of thermodynamic problems. En M. Michelini y M. Cobal (Ed.), *Developing Formal Thinking in Physics*, (pp. 174-178). Udine: Forum.

Rips, L. J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: Routledge.

Salmon, M. H. (1991). Informal Reasoning and Informal Logic. En Voss, Perkins y Segal (Eds.), *Informal reasoning and education*. Hillsdale: LEA.

Sánchez, P. y Massa, M. (1999). *Las inferencias condicionales en el aprendizaje de la Mecánica Clásica*. Actas 1º Congreso Nacional de Investigación Educativa, Cipolletti.

Seoane, G. y Valiña, M.D. (1988). Efecto del contenido y microgénesis de la tarea en inferencia condicional. *Cognitiva*, 1(3), pp. 271-298.

Vieira, R. D.; Nascimento, S. S. (2007). A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(2), pp. 174-193.