

Persistencia de los modelos causales. Factores contextuales en la 3^{ra} Ley de Newton

RAÚL O. ZAMORANO

LUCRECIA E. MORO

JAVIER E. VIAU

Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

HORACIO M. GIBBS

Colegio Arturo U. Illia, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Introducción

En los últimos 20 años ha sido de interés para la investigación educativa el estudio de las “ideas previas” o “concepciones alternativas” de los estudiantes, tanto las que poseen antes de la instrucción como las que persisten después de la misma. Desde nuestro marco teórico visualizamos a estas concepciones dentro de lo que denominamos *modelos conceptuales* del *perfil conceptual* de los alumnos.

Las dificultades de los estudiantes para conceptualizar correctamente las Leyes de Newton han sido estudiadas por diversos autores (D. Brown, 1989; D. Maloney, 1984, y L. Mc. Dermott, 1984) y sus resultados muestran que ocurren similares errores en estudiantes de distintas edades y lugares del mundo, muchas veces en forma independiente de los estudios formales de física. En este trabajo analizaremos la estructura causal de los modelos conceptuales referidos a la 3^{ra} Ley de Newton. La caracterización de las zonas del perfil conceptual de los estudiantes la realizamos utilizando en diversos niveles educativos y cursos, con algunas modificaciones, las encuestas elaboradas en un trabajo de L. Bao, K. Hogg y D. Zollmann (2002).

Consideramos que la modelización resulta primordial como línea de investigación educativa. El estudio de las analogías, las metáforas y los modelos le provee a la epistemología herramientas para la exploración del progreso científico. La ciencia avanza cuando la información que se incluye en un modelo requiere ajustes por medio de analogaciones o principios de correspondencia, de modo similar al proceso de formación del conocimiento del alumno a través de la evolución de sus modelos conceptuales. El aprendizaje de la ciencia es una cadena de elaboraciones analógicas que van desde los modelos conceptuales de los alumnos hasta llegar a los *modelos teóricos* a ser enseñados.

En este trabajo describiremos los perfiles conceptuales de los alumnos, los que incluyen principalmente a sus *modelos conceptuales causales*. Analizaremos las representaciones cognitivas de los estudiantes considerando los factores contextuales que alteran sus modelos explicativos. La contextualización que nos interesa es la que está embebida en el propio contenido de los problemas ya que, como veremos en los resultados, la variación de las magnitudes y el propio formalismo puede tener influencia significativa sobre el razonamiento. Así es como se van desarrollando las preguntas sobre interacción de dos cuerpos en distintos contextos dominantes: masa, velocidad, objeto que empuja, y aceleración. Para caracterizar las zonas del perfil conceptual desde los datos empíricos aplicamos instrumentos de análisis estadísticos como el factor de concentración C.

Creemos que los obstáculos epistemológicos de los alumnos pueden ser superados con una adecuada instrucción por parte del profesor. Proponemos estrategias que representen un cambio desde sus modelos ingenuos causales hacia la aplicación correcta de las Leyes de Newton.

Marco teórico

La investigación educativa ha tratado de establecer nexos entre la complejidad de los contenidos y el estudio de la adquisición del conocimiento científico por parte de los alumnos. Creemos que lo que caracteriza y debe distinguir a la instrucción científica es la necesidad de hacerlos comprender que la abstracción de los fenómenos naturales representa la clave del pensamiento científico. Aquí es donde aparece la necesidad de investigar los modelos de razonamiento de los estudiantes, los que describimos como modelos conceptuales. Estudiaremos cómo los alumnos aplican sus modelos a un concepto y cómo esta aplicación varía según cambia el contexto.

Un modelo conceptual es un constructo mental funcional que está asociado con un concepto, o con un tema específico, y que puede ser aplicado directamente en contextos relevantes para obtener resultados explicatorios. Son causales, funcionales para cada persona, pero son no-científicos. Están ligados a veces a representaciones proposicionales e imágenes.

Nosotros distinguimos entre los modelos conceptuales de los estudiantes y los modelos enseñados, los que constituyen representaciones externas que tienden a un modelo cuantitativo. Nuestra imagen física del mundo consiste en eventos que son estructurados intelectualmente a través de modelos teóricos que nos permiten por una parte contrastarlos con las medidas experimentales y por otra parte trabajar con símbolos y operaciones matemáticas. Así se establecen explicaciones, en algunos casos causales, y un poder predictivo con leyes exactas.

La conceptualización no necesariamente procede por la acomodación del marco conceptual previo, sino que incorpora los conceptos independientemente de los previos. Aún en dominios científicos hay diferencias ontológicas y epistemológicas entre modelos. Aquí es donde utilizamos la noción, introducida por Mortimer (1995), de perfil conceptual, que establece que un único concepto puede estar disperso entre varios tipos de pensamiento y presentar también características ontológicas diversas, de modo que todo alumno puede poseer más de un modelo conceptual que podrá ser usado en contextos apropiados.

Otros investigadores hablan de facetas (J. Minstrell, 1992), modelos mentales (S. Vosniadou, 1994), visiones de los estudiantes (R. K. Thornton, 1997) y p-prims (A. di Sessa, 1993). Una comparación con la literatura revela que estos términos representan constructos que son similares a lo que nosotros llamamos modelos conceptuales de un perfil conceptual. Se encuentra que los modelos conceptuales muestran diferentes estructuras para diferentes conceptos, los que pueden evolucionar durante la instrucción y se comienza a entender en qué contextos será difícil para el estudiante aplicar el modelo. Los nuevos modelos conceptuales no necesariamente dependerán de los previos y podrán ser aplicados a dominios nuevos o diferentes. Sólo cuando el concepto alternativo forma un obstáculo epistemológico u ontológico para desarrollar un modelo se tratará de superar esta contradicción. Esto no significa abandonar la vieja forma de conceptualizar, la cual sigue formando parte del perfil individual.

Las discusiones filosóficas actuales cuestionan ampliamente la pertinencia de las explicaciones causales como categorías necesarias para la descripción científica y distinguen conceptualmente la diferencia entre causalidad y determinismo. Desde nuestro marco teórico consideramos que el determinismo es una característica esencial de las teorías científicas. A veces el principio causal está incluido en el principio universal de determinación. Pero si el principio causal no fuera encontrado, no significa que fracase el determinismo ni que se pierda la inteligibilidad de la naturaleza.

Modelos conceptuales causales

La noción más elemental que tenemos de la relación causal es la acción humana y muchos de los problemas conceptuales que se nos presentan son debidos a este tipo de explicaciones. Las analogías humanas nos dan la primera visión de lo que serían las relaciones causales en la naturaleza (antropomorfismo). Partiendo de nuestra experiencia con los objetos, a los que afectamos mediante la "acción de fuerzas", establecemos relaciones entre nuestra acción y el efecto logrado, tal como la intuitiva "causa eficiente" de Aristóteles.

Además nuestra imagen del orden de la naturaleza resulta compatible con las "causas finales" aristotélicas. Seguimos la secuencia: la acción que realizamos trae una sensación de esfuerzo, hemos tomado una decisión voluntaria, hay una finalidad, por lo tanto actuamos sobre un objeto y provocamos el efecto buscado. Así, le atribuimos a la naturaleza un modelo como el de la actividad humana y buscamos acciones para explicar causalmente todas las relaciones entre objetos, los que actuarían unos sobre otros. Cuando decimos que existe una relación causal entre eventos damos a entender que hay una ley física que los conecta.

Para sus razonamientos en dinámica los alumnos elaboran modelos conceptuales que provienen de sus intuiciones y explicaciones causales previas. Estos resultan asombrosamente similares a los desarrollados durante la edad media por la teoría del ímpetus, pero la mecánica newtoniana que debemos enseñar no es una disciplina totalmente causal.

- 1ª LEY. A partir de Galileo y Newton se superaron las formas causales de la escolástica y se reconoció un elemento de espontaneidad y por lo tanto de no-causalidad en el principio de inercia.
- 2ª LEY. El mecanismo newtoniano redujo las causas a fuerzas estableciendo una limitación, ya que circunscribe las causas a factores que determinan un cambio de velocidad. Pero la expresión "la fuerza causa la aceleración" no significa que exista contigüidad ni precedencia de la causa sobre el efecto. Las Leyes de Newton se refieren al mismo instante.
- 3ª LEY. Cuando los alumnos tratan de aplicar la ley de acción y reacción logran que no se cumpla, ya que al atribuir a un objeto la propiedad de "fuerza" alteran la comprensión de la interacción entre dos objetos. De sus respuestas observamos que sus modelos habituales diferencian entre "objetos activos" y "objetos pasivos" y en problemas dinámicos persisten en atribuir una asociación causal entre fuerza y velocidad. Además transponen en el espacio y en el tiempo las diversas magnitudes físicas con el fin de explicar los fenómenos a través de relaciones causales.

Las Leyes de Newton y los razonamientos de los estudiantes

Como Lei Bao señala en el trabajo ya mencionado, los modelos utilizados por los estudiantes asociados a la 3^{ra} Ley de Newton muestran una gran complejidad ya que varían en distintos contextos. Las preguntas van cambiando los valores de las magnitudes involucradas debido a que los estudiantes tienen un modelo principal que expresa que durante la interacción hay un objeto dominante que ejerce la fuerza mayor. Esta situación se da mayormente en problemas dinámicos porque vuelven a aparecer las relaciones entre fuerza y velocidad.

Las investigaciones de J. Piaget y R. García (1984) describen la elaboración de este razonamiento por parte del alumno en etapas: a) inicialmente un móvil tiene dos motores, una fuerza exterior y otra endógena; b) el motor interno ya no se invoca y la fuerza exterior deviene en "ímpetus"; c) el ímpetus produce el movimiento, ocupando una posición causal intermedia y necesaria; d) finalmente el ímpetus es el resultado del movimiento causado por la fuerza y se traduce en una aceleración. Destacan además que la comparación entre la historia del ímpetus y la psicogénesis tiene sus limitaciones ya que se realizan en distintos planos teóricos.

En los problemas de choque, la visión antropomórfica que atribuye a cada cuerpo su "fuerza" lleva a los alumnos a decidir que uno gana, ya que ejerce sobre el otro una fuerza más intensa que la recíproca. Les resulta difícil aceptar otra cosa, porque pretenden conciliar lo que han aprendido de acción y reacción con la 2^{da} Ley ($F = m \times a$), englobando en el concepto de movimiento tanto a la velocidad como a la aceleración. Esta última no les resulta directamente accesible a la intuición. En definitiva, si la fuerza pertenece al objeto y provoca un movimiento ya tienen una explicación causal que por otra parte reproduce los razonamientos de las viejas teorías escolásticas del ímpetus.

Además existen otras fuentes de confusión como cuando se proponen masas diferentes para los cuerpos, al considerar cuál es el cuerpo "activo" de la fuerza (acción) o por las trasposiciones espacio temporales. Respecto de estas últimas, a través de encuestas realizadas durante varios años a alumnos ingresantes a la Universidad, observamos que en el típico problema de arrojar una piedra hacia arriba describen una múltiple localización temporal de la acción. La piedra abandona la mano y sube, se dan cuenta que la fuerza peso "actúa" hacia abajo, entrando en crisis su intuición previa de que la fuerza es proporcional a la velocidad. Entonces hacen persistir temporalmente la acción de la "fuerza" de la mano a lo largo de la trayectoria, la cual quedaría almacenada en la piedra (ímpetus). Los alumnos tratan de superar este obstáculo epistemológico estableciendo un modelo conceptual causal, explicativo de lo que se les presenta como inexplicable.

Otro punto de confusión podría provenir de la instrucción. Los estudiantes saben que las relaciones de conservación comparan el valor de una magnitud conservada para un instante, con el valor que toma en un instante posterior. La evolución de un sistema físico nos permite plantear una doble localización temporal. La intuición más elemental de causalidad sobrentiende que la causa precede al efecto, o sea que la causación estaría vinculada con los aspectos temporales. Pero las magnitudes de las Leyes de Newton están asociadas simultáneamente. Si en la aplicación de la 2^{da} Ley decimos que la fuerza provoca la aceleración, establecemos una correspondencia de causas que preceden a los efectos.

En el caso de la 3ª Ley de Newton, notamos en primer lugar que la denominación "acción y reacción" no ayuda porque hasta que los estudiantes no sepan aplicar los diagramas de cuerpo aislado, hacen predominar la acción sobre la reacción y siguen un razonamiento secuencial, de tal forma que transponen los fenómenos aunque sean simultáneos, alterando su comprensión del principio de interacción. El tema se complica cuando tenemos un problema con un sistema físico que se transforma. Los alumnos aplican sus modelos causales a los distintos cuerpos, como si actuaran uno sobre otro, tomándose su tiempo. Estas explicaciones adoptan un encadenamiento causal cronológico con el carácter de una narración.

La interacción gravitatoria según el sistema newtoniano también es simultánea, sin que exista un medio a través del cuál se produzca una transmisión física de la acción por contacto sucesivo. A los estudiantes, sin embargo, les resulta más fácil de comprender los pares de acción y reacción que en el caso de cuerpos que interactúan en contacto, posiblemente porque no aparecen complicaciones con las fuerzas de rozamiento. Será distinto el caso cuando se estudien los conceptos de campo eléctrico y gravitatorio. En la relatividad, los campos adquieren características cualitativas para las interacciones, aunque no se modifica el principio de que no hay acciones sin las correspondientes reacciones. Los campos tienen una existencia real y objetiva y son independientes de sus fuentes. Debido a la velocidad finita de las interacciones existe un orden temporal equivalente a un orden causal. La sucesión causal será asimétrica, ninguna propiedad determinada en el tiempo "t" será afectada por los sucesos que puedan ocurrir después de él.

Metodología

- PARTICIPANTES Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA. La población comprendió a todos los alumnos que se encontraban cursando la asignatura Física, durante el ciclo lectivo 2004 en cinco instituciones educativas de Mar del Plata. Institución 1: Instituto Arzobispo San Alberto, polimodal, modalidad: Ciencias Naturales (CN1). Institución 2: Colegio Mar del Plata de las Colinas, polimodal, modalidad: Ciencias Naturales (CN2). Institución 3: Colegio Nacional Dr. Arturo U. Illia polimodal dependiente de la Universidad Nacional de Mar del Plata, modalidad: Ciencias Naturales (CN3). Institución 4: Instituto Jesús Obrero, polimodal, modalidad: Economía y Gestión de las Organizaciones (E). Institución 5: alumnos de 1.º año de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata (U).

La asignatura Física en la modalidad Ciencias Naturales posee una carga horaria de 9 horas repartidas de la siguiente manera 3 horas en primer año, 3 en segundo y 3 en tercero, mientras que la modalidad Economía y Gestión de las Organizaciones cuenta con 2 horas en primer año.

Para seleccionar la muestra se tomaron los siguientes criterios: para el nivel Polimodal se eligieron dos niveles diferentes, 1.º y 3.º año, 15 y 17 años respectivamente, y para el nivel universitario se eligió una de las cinco comisiones de trabajo, ya que cursan la materia aproximadamente 300 alumnos. La elección de los grupos estuvo condicionada por los docentes que tenían a cargo el desarrollo de la asignatura. Participaron tres docentes con similares características en su formación y antigüedad (D1, D2 y D3).

D1: 3.º año CN1-(CN13) y 1.º año U-(U1).

D2: 1.º año CN2-(CN21), 3.º año CN2-(CN23), 1.º año CN3-(CN31) y 3.º año CN3-(CN33).

D3: 1.º año E-(E1)

– Alumnos de 1.º año Polimodal	CN21	CN31	E1	TOTAL
	21	31	58	100

– Alumnos de 3.º año Polimodal	CN13	CN23	CN33	TOTAL
	29	27	46	102

– Alumnos de 1.º año nivel universitario	U1
	64

• MATERIALES Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un instrumento validado, de respuestas múltiples, presentado por L. Bao, K. Hogg y D. Zollmann (2002) (ver Anexo). El mismo ha sido diseñado con el objetivo de obtener información acerca de los diferentes modelos conceptuales que poseen los alumnos y con la finalidad de poder aplicarle un modelo estadístico de análisis: "concentration análisis", desarrollado por L. Bao y E. Redish (2001).

El factor de concentración se define como:

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right)$$

Donde "m" representa el número de elecciones para una pregunta particular, "N" es el número de estudiantes y "n_i" es el número de estudiantes que han seleccionado la respuesta "i" de la pregunta. Este factor tiene por objeto brindar información de cómo están distribuidas las respuestas en un cuestionario de múltiple-choice y nos muestra, junto con los promedios de los porcentajes de respuestas correctas para cada pregunta, la dominancia ya sea de un solo modelo conceptual o de dos o más modelos. C tomará valores entre 0 y 1, correspondiendo a C = 0, una selección al azar de respuestas, y C = 1, si todos los estudiantes seleccionan la misma respuesta. Si el valor de C fuera mayor de 0,5 implica una alta concentración ya que más del 60% de estudiantes ha seleccionado la misma respuesta. Si el valor fuera entre 0,2 y 0,5 indica una situación de elección entre dos modelos. Un valor menor de 0,2 indica una distribución en tres o más respuestas.

• DISEÑO Y PROCEDIMIENTO. El diseño de esta investigación es de tipo no experimental, y se desarrolló teniendo en cuenta que dentro de la clasificación que proponen O. León e I. Montero (1997), se

encuadra en una investigación con cuestionarios, diseño transversal. El objetivo de este diseño es describir una población, que en este caso particular correspondió a todos los alumnos que se encontraban cursando la asignatura Física en cinco instituciones educativas de Mar del Plata, en un momento dado: que fue al haber finalizado con la instrucción del tema "Leyes de Newton".

- **RECOLECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE DATOS:** Los alumnos de todos los grupos respondieron al cuestionario dentro de los respectivos horarios de clase, con una duración de una hora para los alumnos de Polimodal y de media hora para los alumnos universitarios. Los datos recolectados se organizaron, para cada pregunta, en una matriz. Se confeccionaron tablas para: 1) describir las zonas del perfil conceptual de los alumnos, 2) establecer el porcentaje de estudiantes que utilizan esas zonas según los grupos, y 3) obtener información de cómo están distribuidas las respuestas a través del factor de concentración. Con el instrumento antes mencionado, los modelos de los alumnos pueden analizarse dentro de tres dimensiones: modelos nulos, modelos teóricos y modelos conceptuales.

- **MODELOS NULOS:** No toda respuesta errónea significa una zona del perfil del alumno, es decir un conocimiento constituido que represente un modelo conceptual. En todos los niveles educativos observamos errores por una mala dirección de los cálculos, por falta de atención, por buscar respuestas convencionales y supuestamente aceptables para el profesor y también por el "vale cualquier cosa". Estas respuestas incorrectas, que pueden ser muy variadas, no las integraremos a los perfiles conceptuales y serán tomadas como modelos nulos.

Contexto	Preguntas involucradas	MODELOS CONCEPTUALES	Respuestas	MODELOS TEORÉTICOS	Respuestas	MODELOS NULOS
A	3-13-4	Si las velocidades y las masas son iguales o distintas, o existe un cuerpo acelerado, ejerce una fuerza mayor el objeto que empuja.	3a-13d-14d	Las fuerzas son iguales aunque las velocidades y las masas varíen o exista un cuerpo acelerado.	3e-13e-14e	- 3b,c,d,f - 13a,b,c,f - 14a,b,c,f
B	4-9-15	Si las velocidades son iguales o distintas y las masas son distintas, ejerce una fuerza mayor el objeto de mayor masa.	4a-9d-15d	Las fuerzas son iguales si las velocidades son iguales aunque las masas sean distintas.	4e-9b-15e	- 4b,c,d,f - 9a,c,e,f - 15a,b,c,f
C	1-5-7	Si las velocidades son distintas y las masas iguales o distintas, ejerce una fuerza mayor el objeto de mayor velocidad.	1b-5a-7a	Las fuerzas son iguales aunque las velocidades sean distintas y las masas varíen.	1e-5b-7b	- 1a,c,d,e - 5c,d,e,f - 7c,d,e,f

D	2-8-10	Si las masas son iguales, un cuerpo está acelerado y el otro se mueve a velocidad constante, ejerce una fuerza mayor el cuerpo acelerado.	2a-8a-10a	Las fuerzas son iguales si un cuerpo está acelerado y el otro se mueve a velocidad constante aunque las masas sean iguales.	2e-8b-10c	- 2b,c,d,f - 8c,d,e,f - 10b,d,e,f
E	6-11-12-16	Cualquiera sea la condición de relaciones de velocidades, masas o aceleraciones, siempre ejerce una fuerza mayor el cuerpo que empuja.	6a-11b-12a-6c	Las fuerzas son iguales para cualquier condición de relaciones entre velocidades, masas o aceleraciones.	6b-11e-12e-16e	- 6c,d,e,f - 11a,c,d,f - 12b,c,d,f - 16a,b,d,f

Análisis de los resultados

Hemos señalado que muchas veces los estudiantes responden a las cuestiones presentadas en los diferentes contextos con diferentes modelos, ya sean conceptuales o el correspondiente modelo teórico, y por ello utilizamos la noción de perfil conceptual. Desde los resultados obtenidos podemos realizar un análisis cuantitativo de las zonas con modelos mezclados utilizando:

- S: promedio de los porcentajes de estudiantes que utilizan el modelo teórico para cada contexto.
- X: promedio de los porcentajes de estudiantes que utilizan el modelo conceptual dominante para cada contexto.
- C: factor de concentración.

Primero tabulamos los valores de S y C para todos los grupos:

		A 3-13-14	B 4-9-15	C 1-5-7	D 2-8-10	E 6-11-12-16
E1	S	0,155	0,115	0,126	0,649	0,228
	C	0,261	0,597	0,537	0,460	0,338
CN21	S	0,222	0,111	0,032	0,810	0,460
	C	0,207	0,623	0,716	0,699	0,384
CN31	S	0,366	0,215	0,118	0,720	0,444
	C	0,342	0,550	0,766	0,584	0,416

CN13	S	0,655	0,437	0,540	0,540	0,609
	C	0,531	0,355	0,407	0,371	0,415
CN23	S	0,235	0,185	0,111	0,580	0,630
	C	0,422	0,482	0,621	0,412	0,573
CN33	S	0,297	0,232	0,188	0,609	0,428
	C	0,323	0,635	0,598	0,463	0,287
U1	S	0,604	0,344	0,448	0,672	0,589
	C	0,387	0,284	0,328	0,485	0,387

La combinación del factor de concentración y del promedio de porcentaje nos brinda información de aquellos contextos en los cuales domina un modelo conceptual o bien si los estudiantes no tienen ningún modelo para ese tema. Por ejemplo, si S fuera bajo (menor 0,4) y C alto (mayor 0,5) nos indica la presencia de un único modelo conceptual dominante. Si S fuera bajo (menor 0,4) y C bajo (menor 0,2) estaríamos cerca de una distribución al azar de las respuestas.

El grupo CN13 se diferencia notablemente del resto por motivos que suponemos tienen que ver con la mayor carga horaria dedicada a la física y a las características de la institución educativa (Instituto San Alberto), en donde el cuerpo docente en el área física no sólo dicta clases en el nivel polimodal sino también en el ámbito universitario.

De acuerdo con los resultados, observamos que en las preguntas que corresponden al contexto A los factores de concentración C toman un valor bajo o medio, indicando una dispersión, es decir, una mezcla entre varios modelos. S es bajo, salvo para el nivel universitario, de modo que cuando deben optar en contextos de distintas velocidades, masas o aceleraciones prevalece el cuerpo que empuja. Esto se repite en el contexto de las preguntas E, pero S y C son mayores que las correspondientes al A. Aquí hay dos modelos dominantes, uno conceptual y otro teórico. En los contextos de distintas velocidades o de distintas masas, correspondientes a las preguntas B y C, obtenemos valores de C medios o altos, mientras S es bajo, de modo que predomina en ambos un modelo conceptual.

En las preguntas D, para todos los niveles, al estar uno de los cuerpos acelerado determina valores de C y S medios o altos. Predomina un modelo teórico.

En segundo lugar tabulamos los valores de X para todos los grupos:

	A 3-13-14	B 4-9-15	C 1-5-7	D 2- 8-10	E 6- 11-12-16
E1	0,282	0,747	0,494	0,086	0,409
CN21	0,365	0,746	0,556	0,095	0,393

CN31	0,387	0,688	0,559	0,215	0,452
CN13	0,161	0,425	0,184	0,264	0,155
CN23	0,531	0,654	0,457	0,111	0,343
CN33	0,435	0,746	0,471	0,297	0,342
U1	0,198	0,307	0,234	0,109	0,164

Con la salvedad del grupo CN13, ya señalado, vemos como varían los porcentajes de estudiantes que utilizan el modelo incorrecto dominante según el contexto.

Para los niveles 1 y 3 del polimodal, en los problemas A y E (empuje) los valores de X son medios, mientras que en B y C (diferentes masas y velocidades) son altos. En estos contextos se nota un menor uso de modelos conceptuales en el nivel universitario.

En los problemas D los valores de X son bajos para todos los grupos. Parecería que la presencia de un cuerpo acelerado les permite aplicar a más alumnos lo que tendrían que haber respondido en todos los casos según lo aprendido en clase, que las fuerzas son iguales. La aceleración, al no ser un concepto intuitivo, no ha participado en etapas más tempranas en la conformación de un modelo conceptual causal.

Se observa también que no existe una clara diferencia entre los alumnos de polimodal del nivel 1 (15 años) y los del nivel 3 (17 años), quienes están estudiando otros temas de física como electricidad, magnetismo y óptica.

Conclusiones y recomendaciones didácticas

Los alumnos entienden la 3^{ra} Ley de Newton como un conflicto entre objetos, cada uno de los cuales tiene su propia fuerza (antropomorfismo), y por lo tanto se manifiesta la superioridad de un cuerpo sobre el otro mediante un movimiento en conjunto, en el sentido deseado, sin obligación de simultaneidad. Estos modelos conceptuales son "animistas" ya que atribuyen a la naturaleza características de ser "vivo". La metáfora de las acciones humanas, intención, esfuerzo y aún "razón suficiente", serían una condición intuitiva para comprender los fenómenos a través de relaciones causales. Estos razonamientos son muy fuertes y persistentes, aún después de la instrucción.

Todo tema a desarrollar por el alumno que carezca de modelos previos aparece como algo en blanco o una incitante confusión. Pero a su vez los modelos conceptuales los ponen en riesgo de utilizarlos ontológicamente provocando que sus consecuencias queden aisladas y a salvo de refutaciones empíricas.

El recurso didáctico será utilizar lo más conocido para elucidar lo menos conocido. Debemos partir de los modelos causales de los alumnos ya que como ocurre con las metáforas, se ven obligados a usarlos y éstos desempeñan un papel particular e irremplazable. El profesor deberá hacer evolucionar esos modelos hacia los teóricos ajustando los significados con razones que justifiquen este desplazamiento a través de

evidencias que los hagan susceptibles de evaluación y crítica. El modelo teórico debe sugerir otras cuestiones más allá de los fenómenos iniciales, planteando nuevas hipótesis.

Esta estrategia para la enseñanza de la física tiene por finalidad incentivar la capacidad de elaborar modelos y manejar las transformaciones de las relaciones internas de los conceptos que mediante un control metacognitivo, se pongan a prueba y crítica. En definitiva, nuestra propuesta didáctica consiste en partir desde los perfiles conceptuales de los alumnos con el objeto de utilizarlos activamente en la instrucción, en vez de ignorar a todas sus ideas espontáneas. La evolución de sus perfiles, considerados como estructuras cognitivas muy sólidas, podrá abordarse organizando apropiadamente la enseñanza. El control metacognitivo sobre la modelización de los estudiantes será lo que provoque una transición desde las explicaciones en términos de causas eficientes hacia la dinámica de Newton excluyendo ideas antropomórficas ya que se presupone la objetividad de los sistemas físicos y se establecen relaciones funcionales.

La adquisición por parte del alumno de estos conceptos es verdaderamente difícil, aunque el docente no deberá exagerar el funcionalismo para eliminar los modelos causales, teniendo en cuenta que la legalidad es insuficiente para explicar un fenómeno. Ya destacamos que en el razonamiento de los alumnos, existen desviaciones temporales: si las causas están en el pasado, se almacena "fuerza" en el móvil creando una relación entre la velocidad presente con la "fuerza" anterior, cuando en realidad ambas magnitudes tendrían que tomarse en el mismo instante. Las argumentaciones de los alumnos encadenan fenómenos en un orden cronológico dándole a ésta el carácter de una narración. Así transponen el orden espacial, estableciendo el recorrido de una magnitud en el espacio y el tiempo. Debemos señalar que a veces los docentes también utilizan una argumentación secuencial para sus clases, porque la consideran de utilidad en muchas ocasiones. En todos los casos estos razonamientos cronológicos llegan a resultados que pueden ser aprovechados didácticamente, ya que si el docente volviera a la simultaneidad les mostraría a los alumnos evidentes contradicciones.

Otro trabajo difícil en el aula es la necesidad de caracterizar la relación entre estados particulares según surgen de las Leyes de Newton para, recién a partir de ahí, resolver un problema dinámico. Es decir, describir la evolución de un sistema físico en sucesivos estados, aplicando la teoría y el determinismo causal. Así es como damos explicaciones y adquirimos un poder predictivo atribuyendo realidad ontológica al conjunto de las relaciones. Debemos resaltar que esta definición de determinismo causal está asociada al realismo crítico y la comprensibilidad de las teorías, de tal modo que resultan relevantes tanto las consideraciones gnoseológicas como las ontológicas, pocas veces diferenciadas.

Bibliografía

BACHELARD, G.: *El racionalismo aplicado*. Buenos Aires. Paidós. 1978.

BAO, L.; HOGG, K., y ZOLLMAN, D.: Model Analysis of Fine Structures of Students Models: An Example with Newton's Third Law. *Am. J. Phys.* 70 (7). 2002. pp. 766-778.

BAO, L., y REDISH, E.: Concentration Analysis: A Quantitative Assessment of Student States. *Am. J. Phys. Suppl.* 69 (7). 2001. pp. 545-553.

BROWN, D.: Student's Concept of Force: The Importance of Understanding Newton's Third Law. *Phys. Educ.* 24. 1989. pp. 353-358.

BUNGE, M.: *La causalidad*. Buenos Aires. Ed. Sudamericana. 1997.

BUNGE; M.: *Filosofía de la Física*. Barcelona. Ed. Ariel. 1978.

DI SESSA, A.: Towards an Epistemology of Physics. *Cognit. Instruct.* 10(2) 1993. pp. 105-255.

GALILI, Y., y HASAN, A.: The Influence of an Historically Oriented Course on Students' Content Knowledge in Optics Evaluated by Means of Facets Schemes Analysis. *Am. J. Phys. Suppl.* 68 (7). 2000. pp. S3-S15

GRECA, I. M., y MOREIRA, M. A.: Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*. 16 (2) 1998. pp. 289-303.

JOHNSON-LAIRD: *Mental Models*. Cambridge. University Press. 1983.

KOSSLYN, S. M.: *Image and Mind*. Cambridge. Harvard Univ. Press. 1981.

LEON O., y MONTERO, I. R.: *Diseño de investigaciones*. Madrid. McGraw-Hill. 1997.

MALONEY, D.: Rule-Governed Approaches to Physics-Newton's Third Law. *Phys. Educ.* (19) 1984. pp 37-42

Mc DERMOTT, L.: Research on Conceptual Understanding in Mechanics. *Physics Today*. Vol. 37-7. 1984. pp. 24-32.

MINSTRELL, J.: *Facets of Students Knowledge and Relevant Instruction*. Kiel Germany. Edited by R. Duit, IPN. 1992.

MORTIMER, E.: Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*. 4. 1995. pp. 267-285.

PIAGET, J., y GARCÍA, R.: *Psicogenesis e historia de la ciencia*. México. Ed. Siglo XXI. 1984.




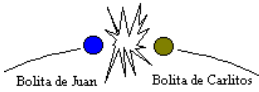
ROEDERER, J.: *Mecánica elemental*. Buenos Aires. Eudeba. 2002.

THORTON, R. K.: *Conceptual Dynamics: Changing Student Views of Force and Motion*. New York. Edited by E. F. Redish. Wiley. 1997.

VOSNIADOU, S.: Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. *Learning Instruction*. 1994. pp. 45-69.

ANEXO

Por favor lea cuidadosamente cada pregunta. Para cada pregunta seleccione sólo **una** opción que describa mejor sus conceptos.

Seleccione entre las siguientes opciones la respuesta a las primeras 4 preguntas.		
A. El camión ejerce una fuerza mayor sobre el auto que la que el auto hace sobre el camión. B. El auto ejerce una fuerza mayor sobre el camión que la que el camión hace sobre el auto. C. El camión ejerce una fuerza mayor sobre el auto pero el auto no hace fuerza sobre el camión.	D. El auto ejerce una fuerza mayor sobre el camión, pero el camión no hace fuerza sobre el auto. E. El camión ejerce la misma fuerza sobre el auto que la que hace el auto sobre el camión. F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.	
1 Como muestra la figura 1, un choque ocurre entre una camioneta y un auto. La camioneta tiene la misma masa que el auto. En el instante del choque los dos vehículos viajan a velocidad constante pero la camioneta se mueve a una velocidad menor que el auto. Cuando ellos chocan, ¿cuál de las opciones anteriores describe las fuerzas que actúan?		 <p>Figura 1</p>
2 Ahora considere que antes del choque el auto viaja a velocidad constante mientras que la camioneta comienza a moverse y aumenta su velocidad. En el momento de la colisión, ambos vehículos viajan a la misma velocidad. Cuando ellos chocan, ¿cuál de las opciones anteriores describe las fuerzas que actúan?		
3 La figura 2 muestra un auto con desperfectos mecánicos, en la carretera, que es empujado por una camioneta (S.O.S.). La camioneta tiene la misma masa que el auto. Mientras la camioneta lo empuja su velocidad aumenta, ¿cuál de las opciones anteriores describe las fuerzas que actúan?		 <p>Figura 2</p>
4 La figura 3 muestra el instante anterior a un choque entre un gran camión y un auto. La masa del camión es mucho mayor que la del auto y ambos viajan a velocidad constante. Cuando ellos chocan, ¿cuál de las opciones anteriores describe las fuerzas que actúan?		 <p>Fig. 3</p>
5 Dos niños, Juan y Carlitos, juegan con bolitas idénticas. Carlitos es más fuerte que Juan, de tal forma que la bolita de Carlitos tiene más velocidad que la de Juan. En un disparo corto, las dos bolitas, colisionan en el aire, ver figura 4. ¿Cuál de las siguientes opciones sobre las fuerzas que actúan es la verdadera:		
A. La fuerza que ejerce la bolita de Juan sobre la de Carlitos es mayor que la ejercida por la de Carlitos sobre la de Juan. B. La fuerza que ejerce la bolita de Juan sobre la de Carlitos es igual que la ejercida por la de Carlitos sobre la de Juan. C. La fuerza que ejerce la bolita de Juan sobre la de Carlitos es menor que la ejercida por la de Carlitos sobre la de Juan. D. La bolita de Juan ejerce una fuerza sobre la de Carlitos pero la de Carlitos no ejerce fuerza sobre la de Juan. E. La bolita de Carlitos ejerce una fuerza sobre la de Juan pero la de Juan no ejerce fuerza sobre la de Carlitos. F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.		 <p>Bolita de Juan Bolita de Carlitos</p> <p>Figura 4</p>

6	Un auto azul avanza de sur a norte y otro rojo de oeste a este. Los dos autos son del mismo modelo y difieren sólo por su color. En un momento dado el auto rojo impacta contra el lado izquierdo del azul, ambos autos viajan a la misma velocidad constante. ¿Cuál de las siguientes opciones es la verdadera?:	
	<p>A. El auto rojo ejerce una fuerza mayor sobre el azul que la que ejerce el azul sobre el rojo.</p> <p>B. El auto rojo ejerce la misma fuerza sobre el azul que la que ejerce el azul sobre el rojo.</p> <p>C. El auto azul ejerce una fuerza mayor sobre el rojo que la que ejerce el rojo sobre el azul.</p> <p>D. El auto azul ejerce una fuerza sobre el rojo pero el rojo no ejerce fuerza sobre el azul.</p> <p>E. El auto rojo ejerce una fuerza sobre el azul pero el azul no ejerce fuerza sobre el rojo.</p> <p>F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>	

Seleccione entre las siguientes opciones la respuesta correcta para las preguntas 7 y 8:

A. Cacho ejerce una fuerza mayor sobre Tito que la que Tito ejerce sobre Cacho.

B. Cacho ejerce la misma fuerza sobre Tito que la que Tito ejerce sobre Cacho.

C. Tito ejerce una fuerza sobre Cacho pero Cacho no ejerce fuerza sobre Tito.

D. Tito ejerce una fuerza mayor sobre Cacho que la que Cacho ejerce sobre Tito.

E. Cacho ejerce una fuerza sobre Tito pero Tito no ejerce fuerza sobre Cacho.

F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.

7	En un partido de fútbol, dos jugadores, Cacho y Tito, quienes tienen la misma masa, corren en busca de una pelota que avanza por el aire junto a ellos. Cacho corre dos veces más rápido que Tito. Desafortunadamente, no alcanzan a verse y corren uno hacia el otro. En el momento que ellos chocan, ¿cuál de las anteriores opciones es la verdadera?
8	En el mismo partido de fútbol, Cacho y Tito corren uno hacia el otro nuevamente. Esta vez, Tito comienza antes y corre a velocidad constante. Cacho comienza después y va aumentando su velocidad. En el momento que ellos chocan, ambos corren a la misma velocidad. ¿Cuál de las anteriores opciones es la verdadera?

9	Más tarde, en el mismo juego, Cacho corre hacia otro jugador, Diego, que es dos veces más pesado que Cacho. Esta vez, ellos corren a la misma velocidad. En el momento que ellos chocan, ¿cuál de las siguientes opciones es la verdadera?
	<p>A. Cacho ejerce una fuerza mayor sobre Diego que la que Diego ejerce sobre Cacho.</p> <p>B. Cacho ejerce la misma fuerza sobre Diego que la que Diego ejerce sobre Cacho.</p> <p>C. Diego ejerce una fuerza sobre Cacho pero Cacho no ejerce fuerza sobre Diego.</p> <p>D. Diego ejerce una fuerza mayor sobre Cacho que la que Cacho ejerce sobre Diego.</p> <p>E. Cacho ejerce una fuerza sobre Diego pero Diego no ejerce fuerza sobre Cacho.</p> <p>F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>

10	Como muestra la figura 5, un avión deja caer una bomba, la que cae a velocidad constante contra el piso. Un misil es lanzado y acelera hacia la bomba. El misil y la bomba tienen la misma masa. En el momento que el misil choca con la bomba, ambos se mueven a la misma velocidad y ambos explotan después del choque. ¿Cuál de las siguientes opciones describe las fuerzas actuantes?
----	--

<p>A. El misil ejerce una fuerza mayor sobre la bomba que la que la bomba ejerce sobre el misil.</p> <p>B. La bomba ejerce una fuerza mayor sobre el misil que la que el misil ejerce sobre la bomba.</p> <p>C. El misil ejerce la misma fuerza sobre la bomba que la que la bomba ejerce sobre el misil.</p> <p>D. El misil ejerce una fuerza sobre la bomba pero la bomba no ejerce fuerza sobre el misil.</p> <p>E. La bomba ejerce una fuerza sobre el misil pero el misil no ejerce fuerza sobre la bomba.</p> <p>F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>	<p>Figura 5</p>
--	-----------------

Seleccione entre las siguientes opciones la respuesta correcta para las preguntas 11 y 12:

A. El piso ejerce una fuerza mayor sobre los pies que la que los pies ejercen sobre el piso.

B. Los pies ejercen una fuerza mayor sobre el piso que la que el piso ejerce sobre los pies.

C. Los pies ejercen una fuerza sobre el piso pero el piso no ejerce fuerza sobre los pies.

D. El piso ejerce una fuerza sobre los pies pero los pies no ejercen fuerza sobre el piso.

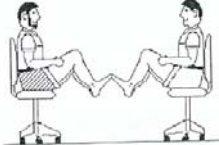
E. El piso ejerce la misma fuerza sobre los pies que la que los pies ejercen sobre el piso.

F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.

11	Ana toma un ascensor desde el cuarto piso de su casa para alcanzar la planta baja. En el ascensor Ana está de pie en el centro de él, sin tocar nada, cuando comienza a bajar. ¿Cuál de las anteriores opciones describe las fuerzas entre el piso y los pies de Ana?
12	Cuando Ana regresa a su casa toma el mismo ascensor desde la planta baja hasta el cuarto piso. En el ascensor Ana está de pie en el centro de él, sin tocar nada, cuando comienza a subir. ¿Cuál de las anteriores opciones describe las fuerzas entre el piso y los pies de Ana?

13	Dos estudiantes, Agus y Caro, están sobre idénticos patines enfrentados cara a cara. La masa de ambas es la misma e igual a 50 kg. Agus coloca la mano sobre Caro. Agus entonces empuja con su mano causando que ambas se muevan. En esta situación mientras la mano de Agus está en contacto con Caro, ¿cuál de las anteriores opciones describe las fuerzas?
	<p>A. Caro ejerce una fuerza sobre Agus pero Agus no ejerce fuerza sobre Caro.</p> <p>B. Agus ejerce una fuerza sobre Caro pero Caro no ejerce fuerza sobre Agus.</p> <p>C. Cada estudiante ejerce una fuerza sobre la otra, pero Caro ejerce una fuerza mayor.</p> <p>D. Cada estudiante ejerce una fuerza sobre la otra, pero Agus ejerce una fuerza mayor.</p> <p>E. Cada estudiante ejerce la misma fuerza sobre la otra.</p> <p>F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>

14	Flor, una pequeña joven, y su madre están viajando hacia Europa, ellas llevan mucho equipaje. En el aeropuerto, Flor intenta ayudar a su madre con el equipaje. Ella tiene una gran valija que pesa tanto como ella. Por lo tanto Flor empuja su valija un corto intervalo de tiempo. Pero ella se mantiene quieta. En ese instante mientras empuja, ¿cuál de las siguientes opciones describe las fuerzas?
	<p>A. La valija ejerce una fuerza sobre Flor, pero Flor no ejerce fuerza sobre la valija.</p> <p>B. Flor ejerce una fuerza sobre la valija pero la valija no ejerce ninguna fuerza sobre Flor.</p> <p>C. La valija y Flor ejercen una fuerza, una sobre la otra, pero la valija ejerce una fuerza mayor sobre Flor.</p> <p>D. La valija y Flor ejercen una fuerza, una sobre la otra, pero Flor ejerce una fuerza mayor sobre la valija.</p> <p>E. La valija y Flor ejercen la misma fuerza, una sobre la otra.</p> <p>F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>

15	<p>Dos estudiantes, Nacho y Fede, están sentados en sillas de oficina idénticas enfrentados cara a cara. Nacho tiene una masa de 100 kg y Fede una de 70 kg. Ambos tienen sus pies también enfrentados, como muestra la figura. Ellos empujan con sus pies simultáneamente, causando que ambas sillas se muevan. En esa situación, mientras sus pies están en contacto, ¿cuál de las siguientes opciones describe las fuerzas?</p>	
	<p>A. Fede ejerce una fuerza sobre Nacho pero Nacho no ejerce fuerza sobre Fede. B. Nacho ejerce una fuerza sobre Fede pero Fede no ejerce ninguna fuerza sobre Nacho. C. Fede y Nacho ejercen una fuerza, uno sobre el otro, pero Fede ejerce una fuerza mayor sobre Nacho. D. Fede y Nacho ejercen una fuerza, uno sobre el otro, pero Nacho ejerce una fuerza mayor sobre la Fede. E. Fede y Nacho ejercen la misma fuerza, uno sobre el otro. F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>	
16	<p>Ahora Nacho y Pedro están sentados en sillas de oficina idénticas enfrentados cara a cara. Tienen la misma masa de 100 kg cada uno. Pedro es un jugador de rugby mucho más fuerte que Nacho. Ambos tienen sus pies también enfrentados, como muestra la figura. Ellos empujan con sus pies simultáneamente, causando que ambas sillas se muevan. En esa situación, mientras sus pies están en contacto, ¿Cuál de las siguientes opciones describe las fuerzas?</p>	
	<p>A. Pedro ejerce una fuerza sobre Nacho pero Nacho no ejerce fuerza sobre Pedro. B. Nacho ejerce una fuerza sobre Pedro pero Pedro no ejerce ninguna fuerza sobre Nacho. C. Cada estudiante ejerce una fuerza, uno sobre el otro, pero Pedro ejerce una fuerza mayor sobre Nacho. D. Cada estudiante ejerce una fuerza, uno sobre el otro, pero Nacho ejerce una fuerza mayor sobre la Pedro. E. Cada estudiante ejerce la misma fuerza, uno sobre el otro. F. Ninguna de las respuestas anteriores describe la situación correcta.</p>	