

Evidencia experimental de la dualidad de recursos en el conocimiento privado inicial de la mecánica

Experimental evidence of the resources duality in the private initial knowledge of mechanics

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Daniel Badagnani¹, María Cristina Terzzoli¹, y Erica Schlaps¹

¹Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Fuegia Basket 250, CP 9410, Ushuaia. Argentina.

E-mail: dbadagnani@untdf.edu.ar

Resumen

En trabajos anteriores se ha hipotetizado que el conocimiento privado inicial de la mecánica es dual, con predicciones rápidas, subconscientes y poco costosas cognitivamente y justificaciones conscientes y verbalizadas, y se ha mostrado evidencia a partir del estudio de cinco casos en entrevistas clínicas. En este trabajo se pone a prueba esa hipótesis experimentalmente a una escala estadísticamente significativa con una población tomada al azar entre ingresantes a las carreras de Contador Nacional y Licenciatura en Economía de la UNTDF, resultando que las frecuencias observadas de respuestas a tiempo muy corto son estadísticamente indistinguibles de las observadas en formato encuesta, y que existe una muy fuerte correlación entre lo que un mismo individuo responde en cada escala de tiempo. Estos resultados abren dos líneas de investigación: cómo se estructura el conocimiento privado experto para articular predicciones y justificaciones, y cómo son los procesos por los que un sujeto llega a producir esa articulación.

Palabras clave: Conocimiento en piezas; Coherencia; Predicciones; Justificaciones.

Abstract

In previous publications we have hypothesized that initial private knowledge of mechanics is dual with fast, sub-conscious predictions of low cognitive cost and verbalized, conscious justifications, and showed evidence from five case studies from clinical interviews. Here we put that hypothesis to test experimentally at a statistically significant scale with a sample randomly taken from new University accountancy and economics students from Universidad Nacional de Tierra del Fuego, resulting in observed frequencies of responses in the very short times are statistically indistinguishable from the frequencies when the same question is answered as a survey without any time bounds, and that a strong correlation exists between individual short-time and long-time responses. These results open two research lines: how expert private knowledge is structured in order to articulate predictions and explanations, and what are the processes through which individuals get to reach such an articulation.

Keywords: Knowledge in pieces; Coherence; Predictions; Explanations.

I. INTRODUCCIÓN

Pese a que hace décadas que existe un consenso sobre la existencia de patrones de conocimiento inicial (“ideas previas”, “*misconceptions*”, etc.) (Driver y otros, 1992; Pozo y Gómez Crespo, 1998) sumamente estables que determinan muchas de las decisiones que los estudiantes toman en las actividades propuestas por los cursos de física tanto en la escuela media como en la universidad, aún estamos lejos de acordar una interpretación de este fenómeno en términos de un modelo cognitivo, y, por lo tanto, de comprender sus consecuencias para la enseñanza. A trazo grueso, podríamos afirmar que hay dos tendencias dominantes sobre cómo se interpreta este hecho: la *coherentista* que imagina que estas se originan en un corpus análogo a una teoría y que compite con la que se pretende enseñar, y la *piecista* que tiende a pensar que son activadas por la asociación con experiencias, sin una estructuración conceptual. Puede encontrarse una mirada abarcadora de la perspectiva *coherentista* en el *International Handbook of Research on Conceptual Change* (Vosniadou, 2009), mientras que una revisión del debate desde la perspectiva *piecista* puede verse en diSessa (2013). El capítulo V de Pozo y Gómez Crespo (1998) recorre las distintas con-

cepciones sobre la reorganización de las estructuras cognitivas conforme avanza el aprendizaje de ciencias. Ambos puntos de vista cuentan con abundante soporte a favor, a pesar de que son evidentemente contradictorias. En algunos contextos, en particular en la interpretación de resultados del *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes y otros, 1992), estas contradicciones coexisten al punto de constituirse en paradojas. Así, mientras que las respuestas disponibles a cada inciso del FCI se tomaron del repertorio de “*misconceptions*” de la mecánica, y en las instancias de validación se constató que quienes optaban por ellas efectivamente las justificaban acudiendo a un discurso compatible con esas “*conceptions*” (Halloun y Hestenes, 1985). Pero, al mismo tiempo, se identificaron fenómenos como la llamada “dependencia contextual” de la activación de los patrones de conocimiento inicial (esto es: situaciones análogas disparan ideas contradictorias) y la fluctuación en un mismo inciso y para un mismo individuo en su respuesta en dos tomas diferidas del FCI (Sabella y Redish, 2007; Lasry y otros 2011; 2013). Esto parece señalar que no son esas “*conceptions*” las que determinan cómo se responde. Un análisis de los patrones de respuestas con técnicas psicométricas como el análisis de factores, revela que las respuestas no tienden a agruparse por patrones de conocimiento inicial. Nuestros propios resultados indican que al analizar una muestra de sujetos que obtiene un puntaje muy bajo en cuanto a respuestas newtonianas resultan patrones azarosos cuando sus respuestas se agrupan respecto de su correspondencia tanto con la teoría newtoniana como con el repertorio de “*misconceptions*” con el que el FCI se diseñó. Lo cual contrasta fuertemente con el análisis por incisos.

Observemos que los patrones de conocimiento inicial se manifiestan tanto en decisiones tomadas como en un discurso que justifica esas decisiones. Cuando las decisiones se fundamentan en una teoría, hay elementos del discurso que corresponden a principios de la teoría y que resultan normativos. Sin embargo, el planteo de conflictos en el aula es con frecuencia poco eficaz en cuanto a provocar “cambio conceptual” en el sentido de Posner y otros (1982); con frecuencia los estudiantes asimilan que sus respuestas basadas en patrones de conocimiento inicial no son satisfactorias para el o los docentes y pueden citar las respuestas admisibles, pero al ser confrontados con situaciones diferentes pero análogas vuelven a usar patrones de conocimiento inicial (Hammer y otros, 2005). En nuestra opinión, esto es un fuerte indicio de que el conocimiento explicitado y catalogado como “ideas previas”, “*misconceptions*”, etc. no funciona como una teoría en el aspecto clave de su carácter normativo. En este trabajo continuamos nuestros estudios previos sobre el conocimiento no experto, con miras a una comprensión tanto del conocimiento experto como de los procesos que posibilitan su constitución.

Con el fin de proveer un lenguaje común que permita comparar y eventualmente articular las perspectivas *coherentista* y *piecista* hemos propuesto unas categorías teóricas que permiten distinguir los distintos niveles de análisis señalados más arriba (Badagnani, 2019). Así, tenemos un conocimiento público (la teoría newtoniana) constituido por producciones publicadas por individuos que se validan entre sí como idóneos en el campo (los llamaremos *expertos*). Cada individuo contará con un conocimiento privado. Los conocimientos privados expertos pueden en principio ser diversos, con tal que la producción publicada logre ser validada. Los conocimientos privados iniciales son claramente diversos, y su estructura debe ser estudiada. Las producciones publicadas por individuos en su etapa inicial son las que han dado lugar a la concepción de “ideas previas”, “*misconceptions*”, etc. Las diferencias habitualmente señaladas entre “teorías ingenuas” (una mirada *coherentista*), con las teorías científicas son compromisos epistemológicos inadecuados y falencias metodológicas, que son caracterizaciones de individuos. Observemos, sin embargo, que la pieza central que falta es su carácter social y la existencia de una comunidad que evalúe las producciones en los términos de esas presuntas teorías. El esquema aquí presentado tiene el potencial de dar cuenta del nivel colectivo del aprendizaje y de la producción del conocimiento científico, aunque por el momento solo lo hayamos empleado al nivel inicial e individual. Estas categorías esbozadas nos permiten enmarcar la información empírica de la tradición investigativa alrededor del FCI, y en particular su análisis con *Item Response Theory* (IRT), ver subsección II.C.

Para dar cuenta de las anomalías y aparentes paradojas observadas en el conocimiento privado inicial, hemos propuesto (Badagnani y otros, 2012; 2017) que este posee una estructura dual con recursos diferenciados para la toma de decisiones (predicciones) y para verbalizar justificaciones de aquellas decisiones. Mientras que las predicciones acudirían a recursos subconscientes, poco costosos y veloces análogos a un reflejo, las justificaciones acudirían a estructuras conceptuales que es posible verbalizar. De este modo, las afirmaciones en producciones publicadas bajo este esquema no pueden pensarse como principios normativos y, por lo tanto, carece de sentido hablar de contradicciones. Los posibles conflictos no se resolverían a este nivel, sino usando recursivamente los recursos menos costosos y subconscientes, evaluando el nivel de confianza entre respuestas alternativas. Las diferencias entre test y retest indican que estos conflictos se darían en un mismo sujeto. Es importante entonces distinguir claramente entre conflicto y contradicción.

Esta hipótesis del carácter dual del conocimiento privado inicial ha sido puesta a prueba a través del estudio de cinco casos: se trata de cinco sujetos que se ofrecieron voluntariamente de entre los evaluados

con el FCI que se reportaron en Badagnani y otros, (2012; 2017) y que, pocos días después de aquella administración del FCI, se sometieron a entrevistas-experimento diseñadas para observar respuestas en el muy corto plazo. Se testó una pregunta análoga a las del FCI: qué objeto hace más fuerza en un choque entre un camión estacionado y un auto pequeño a gran velocidad. Los resultados se publicaron en Badagnani (2019) y muestran que siempre hay respuesta en el corto plazo, que tiende a mantenerse cuando el sujeto tiene más tiempo para repensar su respuesta, y que la validación depende exclusivamente del nivel de confianza de los sujetos en simulaciones perceptivas de la situación planteada.

Este trabajo presenta resultados de un experimento a escala de un curso completo (67 sujetos). En él se comparó la respuesta rápida (refleja) de la lenta (reflexiva) correlacionándolas para cada sujeto. A nivel de la muestra se comparó la respuesta rápida con la observada en una toma de calibración con formato de encuesta convencional. La encuesta de calibración también incluyó un ítem del FCI, lo que nos permitió el empleo de IRT para estimar la competencia newtoniana como fue definida por Wang y Bao (2010). Junto con los resultados presentados en Badagnani (2019), este experimento da una sólida base empírica a la hipótesis de dualidad de recursos.

II. METODOLOGÍA

La misma pregunta empleada en las entrevistas analizadas en Badagnani (2019) se implementó como encuesta dentro de un experimento diseñado para recolectar información en el muy corto plazo. La población encuestada ha sido un curso del primer año de las carreras de Contador Nacional y Licenciatura en Economía de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego. Se esperaba que esta población tuviera un perfil de pensamiento aún más alejado del newtoniano que la población estudiada en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP (Badagnani y otros, 2012; 2017, Badagnani, 2019) dado que aquellos eran estudiantes que se habían inclinado por disciplinas más afines a la física. Esta expectativa fue puesta a prueba con resultado afirmativo estimando la llamada “competencia” (Wang y Bao, 2010) tomando una pregunta del FCI en la encuesta de calibración, descripta más adelante en esta sección.

A. Diseño del experimento

A cada sujeto se le proporcionó una hoja en la que constaban las respuestas disponibles para cada pregunta. Luego, a través de una presentación de diapositivas, se les pidió que lean y comprendan la situación y observen las respuestas disponibles. Se les pide que, luego de leer la pregunta, la respondan lo más rápido posible utilizando la primera idea que se les ocurra y den vuelta la hoja. La pregunta se mostró después de una cuenta regresiva. Se realizó una filmación en video para corroborar el tiempo de respuesta. La encuesta fue diseñada para proporcionar una pregunta lo más corta posible de modo de minimizar las latencias de lectura. Se les presentaron tres preguntas, las dos primeras fueron hechas para que todos entiendan la dinámica del experimento y para tener tiempos de referencia para comparar con los de nuestro interés. La primera pregunta no era una pregunta real, sino que se les pedía que leyeran la pregunta lo más rápido posible y marcaran la respuesta “rojo” de un conjunto de cinco opciones y den vuelta la hoja. La pregunta fue: “¿de qué colores es?”, que tiene la misma cantidad de sílabas que la pregunta de interés: “¿cuál hace más fuerza?”. Eso es para medir el tiempo de lectura sin búsqueda de respuesta. Esta primera práctica se realizó dos veces para asegurarnos de que todos los sujetos entendieran la dinámica. La segunda fue una pregunta real. La situación que se mostró en pantalla decía: “estás asistiendo a una clase de matemática en la escuela primaria. El profesor pregunta...” Las respuestas disponibles fueron 3.14, 1, 2, 712 y 8. Se solicitó a los sujetos que estuvieran al tanto de la situación y de las respuestas disponibles. Después de la cuenta regresiva, la pregunta en pantalla decía: “¿cuánto es $1 + 1$?”. Finalmente, se hizo nuestra pregunta de interés. La situación mostrada en pantalla decía: “Un fitito que se mueve tan rápido como su motor le permite, choca contra un camión cargado que está estacionado”. Las respuestas posibles eran: A) el camión, B) el fitito, C) los dos, D) ninguno, E) es imposible saber (por detalles ver sub-sección II B). Nuevamente, se les pidió a los sujetos que se familiarizaran con esta situación y con las respuestas disponibles. En una prueba piloto, chequeamos que nadie anticipa la pregunta a partir de estas respuestas disponibles (ninguno entre aproximadamente 80). Después del conteo, se mostró la pregunta: “¿cuál ejerce más fuerza?”. En el reverso de la hoja se les pedía que, sin límite de tiempo, revisen su respuesta rápida, elijan una respuesta final y justifiquen su elección. Colocamos dos textos diferentes para la revisión de la respuesta rápida, que fueron entregados al azar. Una de las alternativas era: “Gracias por la respuesta rápida. Ahora te pedimos que te tomes todo el tiempo que necesites para justificar tu respuesta final del modo más completo posible”. La otra era: “Gracias por la respuesta rápida. Ahora te pedimos que te tomes todo el tiempo que necesites para revisarla, y para que justifiques tu respuesta final del modo más completo posible. Si decidís que tu respuesta final es diferente de tu respuesta rápida, justificá las razones

del cambio.” La razón es que, si bien esperamos que la respuesta reflexionada quede esencialmente determinada por los recursos reflejos, el mero hecho de repreguntar provoca una reevaluación, que de acuerdo a nuestra hipótesis consistirá en nuevas simulaciones perceptuales, y cuanto más enfático sea el pedido de revisión se esperan más iteraciones de este proceso. Se espera, por lo tanto, observar un desplazamiento desde las respuestas menos frecuentes a las más frecuentes y menor correlación entre respuestas refleja y reflexionada. En los casos en que esto ocurra, un análisis de las justificaciones dará pistas adicionales del carácter de estos procesos. También se solicitaron datos demográficos básicos que no se han analizado en este trabajo.

B. Encuesta de calibración

Se administró una encuesta de calibración de dos incisos con el formato de las preguntas del FCI a otra comisión del mismo curso universitario. El primer inciso fue la tercera pregunta descrita en la sección II.A (la pregunta y las cinco opciones, sin límite de tiempo) y el segundo inciso fue la pregunta 1 del FCI en castellano: “Dos bolas de metal tienen el mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Se dejan caer estas bolas desde el techo de un edificio de un solo piso en el mismo instante de tiempo. El tiempo que tardan las bolas en llegar al suelo es: A) Aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la bola más liviana. B) Aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la bola más pesada. C) Aproximadamente el mismo para ambas bolas. D) Considerablemente menor para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad. E) Considerablemente menor para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad”. La intención de esta encuesta fue doble: por un lado, la pregunta del FCI nos permitió estimar la “competencia” que definimos en la sección II.C (Wang y Bao, 2010) para tener un reaseguro de que la muestra correspondiera a sujetos en un estadio inicial de sus conocimientos de la mecánica newtoniana; recalquemos que el análisis IRT que describimos en la sección II.C entiende la selección de respuestas por parte de cada sujeto como un evento aleatorio al que se le asocia una probabilidad. Por otro lado, nos permitió tener un perfil de respuestas a nuestra pregunta de interés sin la perturbación impuesta por la exigencia de una primera respuesta rápida y de pedir una revisión explícita. Nuestra hipótesis es que las respuestas al FCI se deciden por el recurso de corto plazo, por lo que la predicción es que las frecuencias de elección de las respuestas A y B en instancia rápida deberían ser estadísticamente indistinguibles de las obtenidas en la encuesta de calibración. Por otra parte, al repreguntar (en el caso del experimento), inevitablemente los sujetos volverían a emplear el recurso de corto plazo, por lo que esperaríamos un desplazamiento hacia la respuesta de mayor probabilidad en detrimento de la de menor probabilidad, y ese desplazamiento debería ser mayor cuanto más profundo sea el cuestionamiento.

C. Análisis de datos

La pregunta de nuestro experimento, y sus cinco respuestas posibles, no es un ítem del FCI, pero es completamente análoga a ellos, en cuanto al tipo de situación y al lenguaje coloquial en que están planteadas. Por esto, hacemos la suposición de base de que las propiedades estadísticas de los patrones de respuestas a nuestra pregunta, cuando esta es formulada en las condiciones en que se administra el FCI, son análogas a las estudiadas por Wang y Bao (2010) con la metodología IRT en una dimensión, es decir, con un único parámetro discriminante (ver expresión (1)). Esta metodología permite superar algunos de los inconvenientes de la teoría clásica de los tests, uno de los cuales es el control de los errores implícitos en cualquier medición psicológica/cognitiva. Un modelo de IRT predice la probabilidad de respuesta a un ítem basándose en diferentes parámetros del “ítem” (es decir la pregunta realizada). En el modelo, la probabilidad de dar una respuesta newtoniana (Wang y Bao, 2010) está dada por:

$$P(\theta) = c + \frac{1 - c}{1 + e^{(-1.7)a(\theta - b)}} \quad (1)$$

donde θ recibe el nombre de competencia, y se lo interpreta como un nivel de maestría en el uso de la física newtoniana en situaciones concretas, el parámetro a mide la capacidad del ítem para diferenciar a los sujetos en función de su nivel de competencia y es igual a la pendiente en el centro de la curva normal, el parámetro b se interpreta como la dificultad del ítem, y el parámetro c indica la posibilidad de que un sujeto pueda acertar el ítem por azar.

Los datos presentados en Wang y Bao (2010) muestran que, a los fines de las propiedades estadísticas, la competencia es un descriptor suficiente de una muestra, incluso para valores muy bajos, cuando se sabe que la física newtoniana no es usada en absoluto. Por lo tanto, suponemos que las probabilidades de las respuestas alternativas son funciones decrecientes de la competencia.

El concepto de competencia se usa en este trabajo de dos modos: 1) para afirmar que dos muestras con el mismo valor de competencia tienen las mismas probabilidades de responder a cada alternativa cuando la pregunta se toma en formato FCI, y 2) para demostrar, tomando una pregunta del FCI particularmente sensible a bajos valores de competencia, que efectivamente nuestras muestras corresponden a competencia extremadamente baja y por lo tanto el conocimiento privado de los sujetos está en el estadio inicial.

Respecto de la correlación entre respuesta refleja y reflexiva, se trabajará sobre la hipótesis nula de que ambas son independientes. La justificación es que, si la respuesta reflexiva usa estructuras conceptuales en forma normativa, los sujetos no tienen tiempo de activarla en el tiempo propio de un reflejo, de modo que la elección que hagan en tiempo reflejo se adivina, sin conexión con las respuestas razonadas. La hipótesis que ponemos a prueba es: la respuesta reflexiva queda determinada por los mismos mecanismos que la refleja y, por lo tanto, que la respuesta refleja debería ser sostenida por los sujetos cuando se les da tiempo a repensar su respuesta. El test estadístico que emplearemos es el test de Fisher, que a diferencia del chi cuadrado no depende de una aproximación por el teorema del límite central y es válido aún para celdas poco pobladas de la tabla de contingencia.

También comparamos las frecuencias observadas reflejas, reflexivas y de calibración empleando la distribución trinomial de parámetros p_C y p_F (respectivamente, la probabilidad de contestar A o B), agrupando las respuestas C, D y E.

III. RESULTADOS

A. Encuesta de calibración

En cuanto a la pregunta del FCI, sobre un universo de 44 sujetos, 15 (34%) dieron una respuesta compatible con la concepción newtoniana. Para esa pregunta, Wang y Bao (2010) encuentra la parametrización por IRT con $a = 0,72$; $b = -1,53$; $c = 0,21$ (véase expresión (1)). Luego, de acuerdo a IRT, el porcentaje de respuestas newtonianas para esa pregunta en función de la competencia θ es:

$$P(\theta) = 0,21 + \frac{0,79}{1 + e^{[(-1,7)(0,72)(\theta + 1,53)]}} \quad (2)$$

Podemos considerar que la inversa de la expresión (2) es el estimador de máxima verosimilitud para θ . Una estimación numérica resulta en $\theta \cong -2,85$. No haremos un análisis de la incerteza de este valor a partir del estimador porque este es simplemente orientativo, la muestra está formada por sujetos con diferentes niveles de competencia, pero este resultado muestra que se trata sin duda de una muestra de muy baja competencia newtoniana.

En cuanto a nuestra pregunta de interés, 24 (54%) respondieron “El fitito”, 13 (30%) “El camión”, y 7 (16%) eligieron alguna de las otras tres alternativas. Considerando que la distribución de posibles respuestas es una trinomial con parámetros p_F y p_C (Spence, 1968), y que el desvío estándar de la trinomial es:

$$\Delta p = p(1 - p)/\sqrt{n} \text{ (siempre que } n \rightarrow \infty) \quad (3)$$

y usando las frecuencias observadas como estimadores de esos parámetros (que en el límite de n grande son estimadores consistentes), y la raíz cuadrada de la varianza estimada como la incerteza en la determinación de esos valores, se obtiene empleando la expresión (3) tales valores $p_F = 0,54$, $\Delta p_F = 0,04$; $p_C = 0,03$, $\Delta p_C = 0,03$ y se muestran en la figura 1 bajo el rótulo “calibración”.

B. Experimento

Las respuestas rápidas arrojaron que, de un universo de 67 sujetos, 37 (55%) respondieron “El fitito”, 20 (30%) “El camión”, y 10 (15%) alguna de las otras tres. Estimando como se señaló más arriba los parámetros de la trinomial, se obtienen tales valores para $p_F = 0,55$, $\Delta p_F = 0,03$, $p_C = 0,03$, $\Delta p_C = 0,03$ tales valores, que se muestran en la figura 1 bajo el rótulo “rápida”.

En cuanto a las respuestas reflexionadas, aquellas en que se pide responder y justificar sin cuestionar la respuesta rápida (a esta muestra la llamaremos “sin cuestionamiento”), sobre un universo de 33: $p_F = 0,12$, $\Delta p_F = 0,02$; $p_C = 0,61$, $\Delta p_C = 0,04$ y se muestran en la figura 1. La muestra en que el pedido de revisión se hizo más incisivo (que llamaremos “con cuestionamiento”), sobre un universo de 34, arrojó los siguientes resultados $p_F = 0,59$, $\Delta p_F = 0,04$; $p_C = 0,24$, $\Delta p_C = 0,03$ que se grafican en la figura 1.

Las tablas de contingencia para nuestras muestras son:

TABLA I. Respuestas lentas sin cuestionar respuesta rápida (universo: 33).

	Fitito Lento	Camión L	Los dos L	Ninguno L	Imposible L
Fitito Rápido	16	2	1	0	0
Camión R	2	6	0	0	0
Los dos R	1	0	0	0	0
Ninguno R	0	0	1	2	1
Imposible R	0	0	0	1	0

TABLA II. Respuestas lentas cuestionando respuesta rápida (universo: 34).

	Fitito Lento	Camión L	Los dos L	Ninguno L	Imposible L
Fitito Rápido	14	0	1	2	1
Camión R	4	4	1	2	1
Los dos R	0	0	0	0	0
Ninguno R	1	0	0	1	0
Imposible R	1	0	0	0	1

Sobre ambas tablas se hizo el test de Fisher de dos maneras diferentes: agrupando y sin agrupar C, D y E. Esta forma de reagrupación produjo solo un cambio marginal de p . El test de Fisher permitió rechazar la hipótesis nula en ambos casos, pero mientras que en la muestra con cuestionamiento p fue de alrededor de 3×10^{-3} , en la muestra sin cuestionamiento p resultó de alrededor de 3×10^{-6} .

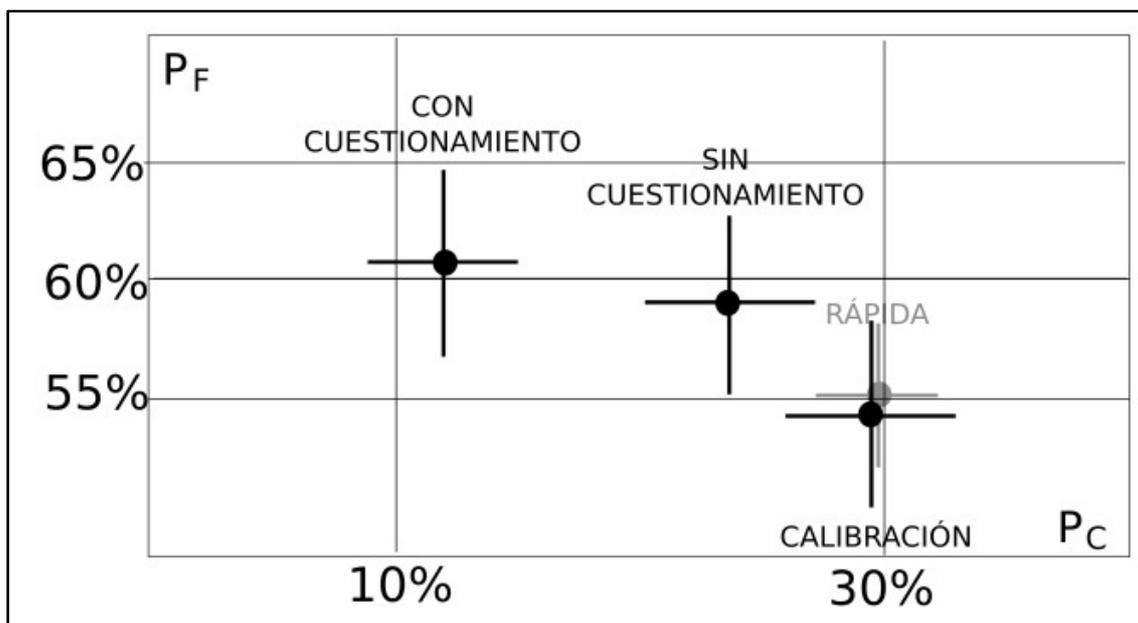


FIGURA 1. Estimaciones muestrales de los parámetros de las distribuciones de respuestas a las preguntas del experimento. Las barras corresponden a los valores de incerteza reportados en el texto.

C. Justificaciones de las respuestas reflexivas

Las justificaciones dadas son sumamente escuetas y tienen la forma de afirmaciones tajantes, nunca de razonamientos concatenados. Nos interesa en especial analizar las justificaciones de quienes pasaron de responder A o B a C, D o E. Recordemos que las respuestas A y B provendrían de las dos representaciones mayoritarias: respectivamente, el objeto masivo resiste más, y el objeto que se mueve acciona más. Aparecen tres categorías claras:

1) Aquellas respuestas en que las dos representaciones quedan compitiendo y el sujeto no puede definirse por ninguna: “La fuerza del choque depende de la velocidad en la que se encuentran haciendo el trayecto, y el tamaño que estos móviles tengan”, “Ambos ejercen fuerza en el impacto. Una fuerza en movimiento (por el fitito) y una fuerza en la resistencia del objeto inamovible (camión)”, “La fuerza proviene de la velocidad a la que se dirigía el fitito más la masa con la que choca.”

2) Aquellas respuestas en las que el sujeto sostiene la representación, pero duda si llamarle “fuerza” a la acción percibida: “No sería fuerza, sino velocidad. Sería presión lo que haría el fitito.”, “Es un impacto no una prueba de fuerza.”, “El camión al ser el más grande y al impactar el fitito ninguno hizo fuerza.”

3) Aquellas respuestas en las que el sujeto pierde el sentido original de la pregunta o la situación. En ningún caso las representaciones originales desaparecen. “Por la fuerza del impacto. Ambos vehículos hacen fuerza uno en el choque y otro al recibir el impacto.” (no responde cuál objeto hace más fuerza sino cuáles objetos hacen fuerza), “No sabemos si el camión estaba estacionado o también venía a máxima velocidad”.

IV. CONCLUSIONES

En conjunto con los cinco estudios de caso presentados en Badagnani (2019), los resultados aquí expuestos dan un fuerte respaldo empírico a la hipótesis del carácter dual del conocimiento privado inicial. Por un lado, porque los 67 sujetos evaluados y cuyo estadio de conocimientos iniciales fue chequeado independientemente mostraron una respuesta compatible con tiempos reflejos. Por otro, porque las proporciones entre las dos respuestas esperadas por simulación perceptiva aparecen con la misma frecuencia en las 67 respuestas rápidas y en las dadas en la encuesta de calibración, y finalmente porque la hipótesis nula de independencia entre la respuesta refleja y la reflexionada fue rechazada con una significancia abrumadora. La forma en que difieren la respuesta refleja de las reflexionadas también resulta muy significativa: obsérvese que (como se esperaba) las diferencias entre la respuesta refleja y la reflexionada son mayores cuanto más cuestionadora es la forma en que se solicita la reflexión, lo que se aprecia en la caída en tres órdenes de magnitud del nivel de significatividad en el rechazo de la hipótesis de independencia, y en el desplazamiento en el plano $p_F - p_C$ de la figura 1. Ese desplazamiento además ocurre en un sentido previsible, disminuyendo la alternativa con menor frecuencia. Esto es compatible con la hipótesis de que la revisión de la respuesta rápida ocurre acudiendo nuevamente al recurso reflejo, donde el recurso menos frecuente se interpreta como el de uso menos probable. Obsérvese además que el aumento de la alternativa (respuesta B, “El fitito”) no es significativo: las respuestas que no están más en el casillero “El camión” (respuesta A) pasaron a las alternativas C, D y E. Observando las justificaciones en estos casos se ve que esto ocurre porque los sujetos ya no logran decidirse entre A y B. Este resultado es compatible con lo observado en los estudios de caso, donde la aparición de conflictos aparece ligada a la generación de simulaciones visuales en competencia, y donde la decisión final se tomaba en virtud del nivel de confianza en cada simulación.

Si bien la hipótesis del carácter dual del conocimiento privado inicial de la mecánica resulta exitoso empíricamente y tiene un gran poder explicativo y predictivo respecto de las decisiones que los sujetos toman en instrumentos como el FCI, no nos encontramos aún ante una teoría del aprendizaje científico, ni siquiera ante un modelo fenomenológico ligado al aprendizaje de la mecánica. Creemos que lo esencial es entender cómo a partir de un conocimiento enteramente privado e intransferible se llega a un conocimiento privado que les permite a los sujetos interactuar y producir un conocimiento público. Es necesario comprender la dimensión intersubjetiva del aprendizaje y de la producción de conocimiento. Es posible que una comprensión más profunda del conocimiento privado experto nos dé pistas sobre este aspecto. En este sentido creemos relevante resaltar los resultados de Clement (2008), que señala la importancia del empleo controlado de imágenes en la producción de nuevo conocimiento y en lo que él llama “razonamiento informal”. Entendemos que estos resultados son insuficientes para hacer recomendaciones tajantes para el aula, si bien podemos señalar algunas sugerencias para la enseñanza. Por un lado, creemos conveniente alejarse de la idea de “reemplazar teorías ingenuas por las científicas”. En lugar de ello, creemos valioso el hacer visible para los estudiantes la diversidad de representaciones y el hecho de que lo que a uno le resulta obvio deja de serlo al momento de plantear un conocimiento compartido. Debemos admitir que en esa breve descripción hay, aparte de los resultados de esta investigación, creencias e ideas de los autores, y que la evaluación de una secuencia basada en estas ideas requeriría en sí misma un esfuerzo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló bajo los auspicios del Instituto de Ciencias Polares, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego, en el marco de un proyecto incipiente de investigación didáctica y sistematización de prácticas de enseñanza. Se agradece especialmente al Prof. Rodolfo Fehrmann y sus colaboradores de la cátedra de Contabilidad I del Instituto de Desarrollo e Innovación de la misma Universidad, que colaboró con nosotros para llevar a cabo el experimento aquí expuesto, y a la licenciada Cecilia Guillamet Charge por compartir discusiones durante el diseño del experimento.

REFERENCIAS

- Badagnani, D., Petrucci, D. y Cappannini, O. (2012). Sobre los recursos cognitivos en pensadores no-newtonianos. *SIEF XI*. <http://hdl.handle.net/10915/>
- Badagnani, D., Petrucci, D. y Cappannini, O. (2017). Evidence on the coherence-pieces debate from the Force Concept Inventory. *European Journal of Physics*, 39(1), 015705.
- Badagnani, D. (2019). Dualidad en el conocimiento privado inicial de la mecánica: evidencia por medio de entrevistas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(1),5-14.
- Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: the role of imagery, analogy and mental simulation*. Dordrecht:Springer Netherlands.
- DiSessa, A. A. (2013). A bird's-eye view of the "pieces" vs "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). En *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 31-48).
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Halloun, I. A. y Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J. Phys.*, 53,1043-1048.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E. y Redish, E. F. (2005).Resources, framing and transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective. En Mestre, J. (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30,141-158.
- Lasry, N., Rosenfield, S., Dedic, H., Dahan, A. y Reshef, O. (2011). The puzzling reliability of the force concept inventory. *Am. J. Phys.*, 79,909-912.
- Lasry, N., Watkins, J., Mazur, E. y Ibrahim, A. (2013). Response times to conceptual questions. *Am. J. Phys.*, 81,703-706.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2),211-227.
- Pozo Muncio, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Sabella, M. S. y Redish, E. F. (2007). Knowledge activation and organization in physics problem-solving. *Am. J. Phys.*, 75,1017-1029.
- Spence, J. T., Underwood, B. J., y Cotton, J. W. (1968). *Elementary statistics*.Vol. 3. New York, NY; Appleton-Century-Crofts.
- Vosniadou, S. (Ed.) (2009). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Londres: Routledge.
- Wang J. y Bao L. (2010).Analyzing force concept inventory with item response theory. *American Association of Physics Teachers*. <http://dx.doi.org/10.1119/1.3443565>