

Dualidad en el conocimiento privado inicial de la mecánica: evidencia por medio de entrevistas

Duality in the initial mechanics' private knowledge: evidence from interviews

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Daniel Omar Badagnani¹

¹Instituto de Ciencias Polares, Ambientes y Recursos Naturales (ICPA), Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF), Fuegia Basket 251, 9410, Ushuaia. Argentina.

E-mail: dbadagnani@untdf.edu.ar

(Recibido el 25 de febrero de 2019; aceptado el 24 de abril de 2019)

Resumen

Recientemente se ha conjeturado una estructura dual del conocimiento privado inicial de la mecánica, en la que las predicciones se harían en tiempos muy breves empleando recursos cognitivos muy poco costosos, mientras que las justificaciones emplearían una estructura de tipo conceptual. En este trabajo se busca poner a prueba esta conjetura buscando evidencia directa del uso de recursos en el muy corto plazo mediante entrevistas especialmente diseñadas a cinco ingresantes a la FCE-UNLP. Se encontró que se usan tales recursos, que involucran sobre todo simulaciones perceptivas visuales básicamente subconscientes, y que el resultado de esas simulaciones es el que determina las respuestas de los sujetos, aun cuando lo que explicitan son argumentaciones de índole conceptual. Estos resultados permiten comprender ciertos aspectos aparentemente paradójicos sobre el conocimiento privado inicial y dan una pista sobre cómo ese conocimiento puede reestructurarse para dar lugar a conocimiento privado experto.

Palabras clave: Inventario del Concepto de Fuerza (FCI); Conocimiento en piezas; Coherencia.

Abstract

It has been conjectured recently that initial private knowledge on mechanics has a dual structure, according to which predictions occur via fast, low cost operations, while explanations would employ a theory-like structure. Here we put to test that conjecture by direct search of evidence on the use of the fast resources, by interviewing five new university students (FCE UNLP) under an experimental test designed to that end. We found that fast resources are indeed used, which involve mainly dynamic visual simulations to a large extent sub-conscious, and that the outcome of those simulations determines the answers to predictions even if they are rationalized with conceptual argumentation. This results allow to understand certain apparently paradoxical aspects about the initial private knowledge and give a clue about how that knowledge can be restructured to result in expert private knowledge.

Keywords: Force Concept Inventory (FCI); Knowledge in pieces; Coherence.

I. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido desde hace décadas que, previo a la enseñanza formal, los seres humanos poseemos un vasto sistema de conocimiento sobre movimiento e interacciones, que es usado cotidianamente para hacer predicciones y para explicar fenómenos (véase por ejemplo Halloun y Hestenes, 1985; Driver, Guesne y Tiberghien, 1992). Tanto las predicciones como las explicaciones producidas desde este sistema cognitivo con frecuencia son contradictorias con la mecánica newtoniana. Y aunque su relevancia para la enseñanza ha sido evidente desde entonces, aún estamos lejos de un consenso sobre sus características, su evolución en el tiempo y su relación con el “saber sabio” en aquellos que logran una comprensión de la mecánica disciplinar (véase por ejemplo Pozo Municio y Gómez Crespo, 1998; Vosniadou, 2009).

En trabajos anteriores hemos denominado a este sistema como “conocimiento de sentido común” (*commonsense knowledge*) a sabiendas de que el nombre da lugar a sesgos teóricos, que intentamos mantener en un mínimo ya que nuestro deseo era comparar las distintas corrientes teóricas sobre este sistema

de conocimiento a la luz de nuestros resultados empíricos. El nombre no nos resulta satisfactorio hoy, porque probablemente una de las características salientes de este sistema cognitivo es que es diverso (aunque haya patrones que aparecen sistemáticamente en distintos individuos) y que es en cierto modo íntimo. En este trabajo le llamaremos “sistema de conocimientos privado inicial” al sistema cognitivo privado previo a la enseñanza formal. Este sistema estará formado por recursos cognitivos y representaciones cuyo carácter y articulación deseamos develar. Al conocimiento disciplinar, de carácter social, lo denominaremos “conocimiento público”. El problema del aprendizaje es así el de comprender la interacción entre conocimiento privado y público. ¿Cómo evoluciona el sistema privado a medida que el sujeto se vuelve capaz de usar conocimiento público como por ejemplo la mecánica newtoniana? Observemos que esta capacidad consiste en que el sujeto será capaz de producir argumentaciones que otros sujetos validarán como newtonianas, pero no es para nada obvio cómo es el sistema cognitivo privado de un sujeto con esas capacidades, ni cuán diversos son los sistemas cognitivos privados de los integrantes de una comunidad que comparte un conocimiento público. En este trabajo, como en los anteriores que venimos realizando, nos concentraremos en el sistema de conocimientos privado inicial.

Podemos identificar dos corrientes teóricas que tratan de dar cuenta de los sistemas de conocimientos privados iniciales: una que llamamos “coherentista”, defendida por ejemplo en Ionides y Vosniadou (2002), y otra que llamamos “piecista”, expuesta por ejemplo en diSessa (2004). La mirada “coherentista” supone que el conocimiento privado tiene esencialmente una estructuración teórica análoga a la del conocimiento público, esto es, se considera que opera con concepciones explicitables en lenguaje oral o escrito, pero diferenciando el conocimiento privado experto del inicial en que a este se le atribuyen unos compromisos epistemológicos ingenuos y poca conciencia metaconceptual. La mirada piecista, por otra parte, supone que el conocimiento privado inicial carece de estructuración conceptual. En lugar de ello, consistiría en piezas que generalizan apenas la experiencia fenomenológica y se evocarían asociativamente. En esta mirada la conceptualización teórica necesaria para construir conocimiento experto ocurriría por una organización jerárquica de esas piezas, haciendo del conocimiento privado experto una estructura de gran sofisticación (obsérvese que en la mirada coherentista casi no hay diferencia entre el conocimiento privado experto y el público). Para un repaso de las consecuencias de cada una para la instrucción puede consultarse por ejemplo Özdemir y Clark (2007). Basados en observaciones empíricas alrededor del Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes y otros, 1992) hemos propuesto que el conocimiento privado inicial es más bien dual, usando recursos diferenciados en predicciones y en explicaciones o justificaciones (Badagnani y otros, 2012, 2018): mientras que las predicciones parecen ocurrir en tiempos muy breves, a través de operaciones reflejas, cognitivamente poco costosas y con una intervención mínima de estructuras conceptuales, es decir “en piezas”, las justificaciones y explicaciones acuden a concepciones verbalizables, estructuradas un poco como en la concepción coherentista. No se trata de un compromiso entre las dos perspectivas, sino de una tercera concepción sobre el conocimiento privado inicial, con consecuencias para la enseñanza sin duda diferenciadas de ambos modelos, y que abre muy interesantes preguntas acerca de la estructuración del conocimiento privado experto.

Repasemos brevemente la base empírica de esta mirada sobre el conocimiento privado inicial. Un primer desafío al enfoque coherentista ocurrió ante la observación de que ideas aparentemente contradictorias son empleadas por el mismo sujeto para analizar situaciones diferentes en las que en principio la misma creencia se debería aplicar, lo que se llamó “dependencia contextual de activación” de las concepciones o creencias (Bao y Redish, 2001; Redish, 2004; Sabela y Redish, 2007; Hammer y otros, 2005). También se observó que el mismo sujeto puede responder usando ideas distintas al mismo inciso del FCI al tomárselo nuevamente un tiempo después (Lasry y otros, 2013). La idea de que en el estado inicial se emplean sobre todo recursos reflejos es compatible con la observación de que los tiempos de respuesta a incisos del FCI son mayores luego de un primer curso de mecánica, que parece indicar que los estudiantes empiezan a hacer un esfuerzo consciente por emplear el aparato conceptual de la mecánica (Lasry y otros, 2013). Una interpretación similar puede encontrarse en Wood y otros (2016), quienes usan la teoría de Kahneman (2011) que postula la existencia de dos sistemas cognitivos diferenciados con características similares a los propuestos por nosotros. Wood y otros (2016) hallan evidencia del uso del llamado ‘sistema 1’ (sistema cognitivo veloz y de bajo costo en la teoría de Kahneman) en la resolución de incisos del FCI hallando correlación entre el FCI y otro instrumento diseñado para testear el uso de los sistemas postulados por Kahneman en la resolución de problemas. En trabajos previos (Badagnani y otros, 2012, 2018) mostramos que, si bien la resolución de cada inciso del FCI es muy claramente no aleatoria, al organizar las respuestas conceptualmente a partir de la taxonomía de nociones alternativas con las que el FCI fue diseñado el patrón de respuestas parece azaroso. Por una discusión sobre la validez de esa taxonomía y de las anomalías observadas en los datos obtenidos en el FCI que nos llevaron a postular el sistema cognitivo dual para el conocimiento privado inicial pueden consultarse las introducciones en Badagnani y otros (2012, 2018).

Los objetivos de esta investigación son: testear empíricamente nuestra hipótesis de diferenciación de recursos en la cognición privada inicial, predicción por un lado y justificación por otro, y en caso de hallar evidencia favorable, caracterizar más explícitamente los recursos cognitivos puestos en juego en las predicciones. En este trabajo mostramos evidencia directa en favor de esa diferenciación de recursos. Para eso elegimos profundizar alrededor de uno de los incisos del FCI vinculado a la Tercera Ley de Newton, pero en un contexto de control experimental que permitió separar lo que ocurre en corto y largo plazo. Esta evidencia, aparte de apuntalar nuestra hipótesis sobre el conocimiento privado inicial, arroja pistas que permiten aproximarse mejor a los recursos involucrados en la respuesta refleja: nuestros resultados sugieren, como veremos, que lo que sucede durante esta es sobre todo una simulación perceptiva principalmente visual y animada, es decir, el sujeto imagina que está presenciando el evento, pero de un modo subconsciente. Puede apreciarse además cómo el resultado de esas simulaciones es lo que determina el modo en que los sujetos responden cuando se les pide predicciones, aun cuando las justifiquen acudiendo a estructuras conceptuales, y que en caso de aparecer conflictos (más de una forma posible de responder) estos son resueltos por el sujeto, nuevamente de un modo subconsciente, acudiendo a nuevas simulaciones visuales que les permiten evaluar la confianza que tienen en cada una de las afirmaciones en conflicto, sin confrontarlas a un nivel argumentativo.

II. METODOLOGÍA

A. Dispositivo experimental

Se tomaron cinco entrevistas a estudiantes (que llamaremos S1, S2, S3, S4 y S5) voluntarios de la misma población a la que habíamos administrado el FCI y que analizamos en Badagnani y otros (2012, 2018): ingresantes a la facultad de Ciencias Exactas de la UNLP que aún no habían cursado Física en la Universidad. Obsérvese que de acuerdo a la caracterización de esta muestra en Badagnani y otros (2018), se trata realmente de sujetos que, independientemente de la enseñanza media, son indistinguibles de unos sin enseñanza formal en Física newtoniana. La entrevista se diseñó de modo que los entrevistados respondan en un tiempo demasiado breve para que razonen y argumenten, para tener indicios sobre qué recursos se emplean en ese lapso breve y por tanto no podrán consistir en la manipulación de enunciados. A continuación, queríamos ver en qué medida las conclusiones así obtenidas son revisadas, cuestionadas o modificadas cuando les pedíamos justificarlas mediante argumentaciones y conceptos. Nos interesaba ver si la respuesta está ligada más a la respuesta veloz o a una cadena de razonamientos con estructuración conceptual. A cada entrevistado se le planteaban tres situaciones, de las cuales se analizará en este trabajo la situación 1. Esta pone de relieve las concepciones sobre “acción y reacción”, de las cuales hay dos catalogadas en el FCI: AR1 y AR2 (la mayor fuerza es ejercida por el objeto más activo o más masivo respectivamente, véase subsección III.2). En Badagnani y otros (2012, 2018) vimos que, en la administración del FCI a sujetos con muy bajo nivel de competencia, estos dan respuestas compatibles tanto con AR1 como con AR2 por encima de las que se esperarían al responder al azar, pero al igual que ocurre con el resto de las concepciones empleadas en la confección del FCI, el patrón de respuestas es probabilístico. Simplemente las probabilidades de elegir AR1 o AR2 para los sujetos son algo mayores que si respondieran el FCI al azar.

Las entrevistas se filmaron para registrar no solo la oralidad sino también lo gestual. A cada entrevistado se le leía:

A continuación, te voy a mostrar tres situaciones, por escrito [se le entrega versión impresa con las situaciones, numeradas de 1 a 3]. Te voy a pedir que leas cada situación con mucha atención, yo no puedo hacerte aclaraciones de ningún tipo por razones metodológicas. Cuando me digas que estás lista/o te voy a hacer rápido una pregunta sobre la situación, y te voy a pedir que contestes rápido la primera respuesta que te venga a la cabeza. No importa que no estés segura/o, lo que importa es que sea lo primero que se te ocurre. Si la respuesta no es inmediata voy a tener que descartarla. En cuanto me digas tu respuesta te voy a pedir que me cuentes qué te vino a la cabeza mientras pensabas (¿sensaciones? ¿palabras? ¿imágenes?) y después te voy a dejar pensar cuidadosamente la pregunta, y te voy a pedir que pienses en voz alta la respuesta. ¿Estás lista/o?

Si el entrevistado consultaba sobre sus dudas respecto de la consigna se respondía releendo el fragmento relevante del guion del entrevistador. Si consultaba por algo no previsto se le contestaría “Te cuento al final de la entrevista”. Esas eran las instrucciones del entrevistador. Al momento de las entrevistas los entrevistados solo requirieron releer cosas que habían oído mal. Continúa el entrevistador: “*Leé, por favor, la situación 1 todas las veces que haga falta y avisame cuando estés lista/o.*”

La situación 1 en la hoja impresa era: “Un fitito que va a la máxima velocidad que le permite su motor embiste contra un camión con acoplado que está estacionado”. Cuando el sujeto declaraba estar listo, se continuaba: “Bien, acordate, contestá lo primero que se te ocurra. Después te pregunto qué te vino a la cabeza. ¿Listo? Ahí va: ¿Quién hace más fuerza? ¿El fitito sobre el camión o el camión sobre el fitito?” (el entrevistador leía la pregunta subrayada tan rápido como podía y hacía con la mano un gesto instando al entrevistado a apurarse). Una vez que el entrevistado respondía, el entrevistador preguntaba “Bien. ¿Qué vino a tu cabeza? ¿sensaciones? ¿palabras? ¿imágenes?” A partir de ese momento se terminaba la parte guionada de la entrevista para pasar a una sección abierta, que en primer término exploraba los recursos usados por el entrevistado para dar la respuesta rápida y luego permitía al entrevistado analizar con calma su respuesta.

Sobre la Pregunta 1: Es un tipo de problema predictivo presente en el FCI que tiene una peculiaridad interesante: no pide predicción sobre un fenómeno observable. La respuesta requiere necesariamente de “teoría” o de algún nivel de conceptualización. No es posible “ver” en un choque real entre un fitito y un camión cuál hace más fuerza, sólo cómo se mueven antes y después del choque, cuál resulta más dañado, etc. Solo mediante una conceptualización de lo que sea una fuerza puede interpretarse y responderse la pregunta.

B. Criterios de análisis

A partir de las filmaciones y las transcripciones, las entrevistas fueron analizadas con arreglo a las siguientes preguntas guía:

- A. ¿Hubo respuesta rápida? ¿Qué recursos se emplearon?
- B. ¿Se sostuvo la respuesta rápida? ¿Qué recursos aparecen en el análisis posterior?
- C. ¿Aparecieron conflictos? ¿Cómo se resolvieron?
- D. ¿Aparecieron inferencias? ¿Hubo una búsqueda de coherencia? ¿Fueron usados como principios algunas de las conceptualizaciones? ¿Cuáles fueron los criterios de validación? ¿Cómo llegó el sujeto a estar satisfecho con su respuesta?

La pregunta guía A apunta a poner a prueba la hipótesis de que existen recursos en el conocimiento privado inicial que se activan en el muy corto plazo, y a develar en qué consisten esos recursos y cómo se gestionan en el proceso de generar una respuesta predictiva. Es para esto que se advirtió a los sujetos “en cuanto me digas tu respuesta te voy a pedir que me cuentes qué te vino a la cabeza mientras pensabas. ¿Sensaciones? ¿Palabras? ¿Imágenes?” (véase sección II.A). El tipo de recurso permite distinguir un proceso reflexivo del mero reflejo. En caso de hallar procesos reflejos, se esperaba también tener más detalles acerca de ellos (nuestra hipótesis es incompleta en ese sentido) para tener elementos para comprender más a fondo el conocimiento privado inicial. Pero, para que nuestra hipótesis de dualidad explique los resultados observados en Badagnani y otros (2012, 2018), la respuesta rápida debería preservarse independientemente de lo que ocurra a nivel de la explicitación conceptual y justificación de esas respuestas. Podrían ocurrir dos cosas compatibles con nuestra hipótesis: O bien el sujeto sostiene su respuesta rápida (es decir, al dársele tiempo para pensar su respuesta final responderá del mismo modo) y la justificará eligiendo de entre su repertorio de conceptualizaciones la que resulte compatible con esa respuesta, o bien, con menor probabilidad, el sujeto cambiará de opinión en base a una nueva simulación. En cambio, no ocurrirá que el sujeto contraponga su respuesta rápida con un enunciado del tipo conceptual. Este es el sentido de las preguntas B y C. Previendo nuestra predicción de que lo más habitual debería ser que el sujeto simplemente dote de racionalización a su respuesta rápida, esperaríamos simplemente una enunciación de concepciones y nunca o muy raramente inferencias, analogías, contraposiciones (a esto nos referimos con “recursos en el análisis posterior”). Así, un sujeto que ha dado la respuesta rápida “el fitito” típicamente confirmará esa respuesta argumentándola con afirmaciones como “porque el fitito es el que se mueve”. Pero puede ser que ocurran cosas algo más complejas, porque se sabe que el mismo sujeto puede responder distinto un inciso del FCI en una repetición del cuestionario (Lasry y otros, 2011). La pregunta 3 apunta a comprender cómo coexisten estas ideas aparentemente contradictorias en cada sujeto. En este punto debemos distinguir “contradicción” de “conflicto”. Hablaremos de conflicto en tanto el sujeto identifique más de una posible manera de responder y entienda que debe elegir una. En cambio, hablamos de contradicción cuando aparecen conceptualizaciones mutuamente incompatibles. La gestión de los conflictos puede implicar resolver contradicciones (sería el caso si las estructuras conceptuales se usaran normativamente) o puede implicar confrontar los recursos reflejos sin acusar las contradicciones (en el caso de que el determinante de lo que se decide sea lo que ocurre en los procesos reflejos). Por ejemplo, si el sujeto, después de contestar “el fitito, porque es el que se mueve” dijera también “pero también podría ser el camión, por su gran porte” (conflicto) “pero me convence más el fitito” (resolución

sin contraposición de enunciados contradictorios) estamos ante una respuesta compatible con nuestra hipótesis (en cuyo caso, la justificación “por su gran porte” será una racionalización a posteriori de una alternativa obtenida por un recurso reflejo no acusado por nuestro instrumento), mientras que si el conflicto fuera de la forma “pero debería ser el camión, por su gran porte” aquí el conflicto aparece con una conceptualización entendida como normativa en contradicción con la respuesta rápida. Su resolución debería ser entonces algún tipo de argumentación que resuelva la contradicción. Podría ocurrir que por falta de recursos expresivos un sujeto diga “pero podría ser el camión por su gran porte” aun cuando esté entendiendo normativamente que el porte es el que determina qué objeto hace la mayor fuerza, pero entonces debería aparecer una resolución argumentada del conflicto y no una mera coexistencia de posibilidades resuelta por una cuestión de confianza en alguna. En particular, no podrían aparecer como alternativas simétricas, dado que la respuesta rápida sin duda tiene un origen no reflexivo. Además, si la respuesta definitiva tuviera una raíz conceptual, no deberíamos esperar una probabilidad particularmente alta de que esta respuesta coincida con la refleja. El modo en que se resuelven los conflictos en el conocimiento privado inicial es crucial puesto que aquí se juega la eficacia del conflicto cognitivo en esta etapa de la enseñanza. La pregunta 4 apunta a buscar cualquier indicio de un uso normativo de las estructuras conceptuales que hubiera podido ser pasado por alto al buscar responder las preguntas B y C. Esperamos de quienes dominan una dada teoría que las afirmaciones no aparezcan aisladas y a valor nominal, sino usadas en cadenas de razonamiento inferencial. Esperamos que se busque resolver posibles contradicciones. Esperamos que solo cuando el sujeto logre compatibilizar su respuesta con sus creencias más arraigadas se dará por satisfecho. Pero si el conocimiento privado inicial se estructura de acuerdo a nuestra hipótesis dual esperamos una ausencia de inferencias y una confianza en la respuesta rápida como criterio casi excluyente de satisfacción con la respuesta final.

III. RESULTADOS

A partir de las filmaciones y las transcripciones, las entrevistas fueron analizadas con arreglo a las preguntas guía discutidas en la sección II.B. En la tabla I, al final de esta sección, se resumen los resultados. A continuación, mostramos el detalle del análisis.

A. ¿Hubo respuesta rápida? ¿Qué recursos se emplearon?

Los cinco sujetos dieron respuesta rápida. S5 dio dos (una primera de la que se arrepintió rápidamente). Algo llamativo es que al preguntarles por “lo que les pasó por la cabeza” comenzaron a producir respuestas típicas de las entrevistas convencionales, afirmaciones como “porque el camión es de gran porte”, que nada decían sobre cómo ellos habían llegado a la respuesta. El entrevistador debió insistir con preguntas del estilo “¿Todo eso pensaste en un tiempo tan corto?” para que los entrevistados pusiesen en juego sus propios procesos. Hay evidencia abundante de que en los cinco casos hubo una simulación perceptiva que involucró imágenes animadas. Transcribimos algunos fragmentos relevantes. E es el Entrevistador. Entre paréntesis se describe la gestualidad del entrevistado mientras habla.

E: *Tuviste sensaciones o imágenes o...*

S1: *Sí, que se hizo m... el fitito.*

E: *Eso qué, ¿te lo imaginaste?*

S1: *Sí, de una.*

E: *¿Como una película, digamos?*

S1: *Sí, digamos*

S2: *Y, que... veo, veo el fi... [...]*

E: *¿Qué pasó por tu cabeza?*

S2: *La, la (negando con la cabeza) la imagen del fitito y el camión.*

E: *¿Animada? ¿Fotos?*

S2: *Claro, es como yendo el fitito (mano con dedos flexionados hacia adelante avanza sobre la otra mano quieta, pulgar e índice tocándose, como indicando el sitio del camión).*

E: *¿Qué te vino a la cabeza para contestar eso?*

S3: *Como que, el fitito después del impacto iba a la velocidad del camión (palma extendida barriendo el aire lentamente).*

E: *¿Qué tenías en mente... hubo palabras, hubo sensaciones, imágenes...?*

S3: *Bueno, lo primero que me imaginé fue el... (mano como haciendo cortina, como para detener el movimiento de la otra palma que barre el aire indicando el movimiento como en el gesto anterior) el acoplado parado, y el fitito (mano con dedos flexionados hacia adelante como para embestir a la otra palma cortina) a*

gran velocidad (adelanta mano flexionada), o sea... (choca las palmas indicando el choque y murmura algo que no se entiende).

E: *Ajá.*

S3: *El choque del fitito. Por inercia...* (ríe y enfrenta ambas manos con los dedos flexionados, como indicando un bollo) *se rompe todo.*

E: *Entonces... me interesa saber qué pasaba. ¿Había palabras, había sensaciones, había imágenes?*

S4: *Nooo, imágenes. Me imaginé el choque.*

E: *Ajá.*

S4: *Y...* (mueve la cabeza como negando) *vi que el fitito salió despedido para atrás.* (Dos palabras que no se entienden). *Se hizo... una lata aplastada.*

S5: *Porque... al principio pensé...* (pone una palma vertical quieta y una horizontal que se mueve chocando) *bueno, sí, el fitito porque es el que hace la fuerza* (mantiene las palmas en posición de choque) *pero el otro hace más fuerza* (sacude ligeramente palma vertical) *porque lo detuvo, y... me vino... que... al estar... al ser de mayor* (mira la hoja con la situación) *peso* (mano de la palma semicerrada hacia arriba como sopesando un objeto) *como que... es imposible... no, no creo que el fitito* (mano camión se cierra, mano fitito embiste extendida) *cuando lo chocó haya movido al... camión, entonces...* (mira sus manos que siguen representando el choque) *entonces lo frenó, no sé, lo detuvo. Es como... me pareció la fuerza más grande la fuerza que hizo el camión que lo pudo detener al fitito sobre el camión que no lo pudo mover, y ese* (dos palabras que no se entienden).

E: *¿O sea que lo que pasó en tu cabeza fue la película digamos?*

S5: *Sí* (ríe).

B. ¿Se sostuvo la respuesta rápida? ¿Qué recursos aparecen en el análisis posterior?

Cuatro de los entrevistados dieron una respuesta final idéntica a su respuesta rápida. El otro (S4) no, pero afirmó hacerlo, según sus palabras, salvo por un detalle. Durante el análisis se encontraron conceptualizaciones bastante nítidas, que en todos los casos se usan para interpretar la simulación perceptiva. No surgió evidencia de que la representación del fenómeno cambie de ningún modo al aplicar conceptualizaciones.

Analizando las entrevistas de un modo tradicional pudimos identificar las siguientes concepciones implícitas de fuerza:

- F1 La fuerza la hace un objeto en movimiento que impacta.
- F2 La fuerza (de/que hace un objeto) es la capacidad de mover o detener otros objetos
- En un solo caso (S2) apareció una concepción explicitada: F3 La fuerza como presión.

Aparecieron también los siguientes principios implícitos (AR1 y AR2, según la notación del artículo original del FCI, Hestenes, 1992):

- AR1: Agente más activo (o en movimiento) hace la mayor fuerza.
- AR2: Agente más masivo hace la mayor fuerza.
- Se encontró también un principio explicitado (sólo en S4): AR3: “*un cuerpo estático, si le aplicás una fuerza, éste ejerce la misma y opuesta. Si... si mantiene estático*”. Esto, que el entrevistado asegura haber visto en una serie de televisión, le hace decir que cree que tal vez las fuerzas sean iguales, pero lo descarta de inmediato.

- S5 hizo un intento, rápidamente abortado, de analizar a partir de una representación vectorial.

C. ¿Aparecieron conflictos? ¿Cómo se resolvieron?

Solo en un caso no apareció conflicto (entendido como coexistencia de alternativas en que el sujeto debió optar) en absoluto: S3. Claramente apareció F1-AR1 como explicación de la simulación perceptiva: “*La masa del fitito* (mueve las manos como abarcando una pelota) *multiplicada por la velocidad que se produce contra una* (mano con palma extendida indicando un obstáculo) *masa en reposo* (choca palmas exactamente como cuando describió su simulación perceptiva) *¿No?*” (busca confirmación del entrevistador).

S1, S2 y S5 presentaron esencialmente un conflicto entre el par F1-AR1 y el par F2-AR2: la respuesta puede ser el fitito por su alta velocidad o el camión por su gran porte. Pero los tres sujetos sostuvieron simultáneamente ambas concepciones como posibilidades, sin contrastarlas entre sí, usándolas únicamente para analizar la simulación perceptiva. Al momento de decidirse por la “opción correcta” no hubo argumentaciones, en todos los casos los entrevistados se decantaron por la alternativa en que se sentían más confiados. Veamos cómo ocurrió en cada caso:

S1 sostuvo al principio “El Fitito”. “Porque el fitito va con más velocidad, y por ende es el que impacta”. (F1-AR1). Al preguntarle qué contestaría con tiempo para pensar, dijo “Que podría ser el camión también, por el gran porte. (pausa) El camión también ejerce, digamos... está parado y... (gesto con las palmas indicando el gran porte) y... digamos que... es de más porte que el fitito (vuelve a repetir el gesto del porte), así que... (pausa, asiente levemente) (AR2). Sí, igual me quedo con el fitito” (convencido).

S2 sostuvo inicialmente: “El camión sobre el...” E: “¿El camión sobre el fitito?” (S2 asiente) (AR2). Al preguntarle qué le vino a la cabeza para responder eso dijo “Y, que... veo, veo el fi...” (mira su mano como si representara el fitito, se lo está imaginando, y entonces se arrepiente de algo) “¿Más qué, dijiste?” E: “Más fuerza”. S2: “Más fuerza... (piensa un momento) ah... el fitito (mismo gesto como acariciando al fitito) ahora que pienso” Aparentemente, al concentrarse en el fitito impactando saltó a considerar F1-AR1. El entrevistador preguntó “¿Y qué habías entendido?” A lo que respondió “No, había entendido como... presión, algo así” (F3). El entrevistador solicitó al sujeto que precise las dos concepciones de fuerza en las que había pensado. E: “Ajá, ¿Y cuál sería la diferencia?” S2 no registró el sentido de la pregunta, y terminó de precisar lo que había imaginado. Inadvertidamente, y sin una justificación, volvió a la respuesta AR2 explicando F2. S2: “¿Que cuál ejerce más fuerza? (piensa mirando para arriba) El camión que está estacionado es el que hace (palma vertical sobre la que choca palma horizontal) que el fitito se detenga”. Consultado sobre la razón por la que había tenido un cambio momentáneo de opinión, sólo atinó a decir “No sé, no sé... se me vino así, no sé”. Esto sugiere que las conceptualizaciones de sentido común son con frecuencia muy inestables, mucho más que la simulación perceptiva que pretenden explicar.

El caso de S5 es interesante porque desde el comienzo al fin sostuvo simultáneamente F1-AR1 y F2-AR2. La respuesta inmediata fue “El fitito... sobre el camión ¡No, mentira! El camión”. Consultada sobre qué pasó por su cabeza para responder, respondió “Eh... porque... al principio pensé... (pone una palma vertical quieta y una horizontal que se mueve chocando) bueno, sí, el fitito porque es el que hace la fuerza (mantiene las palmas en posición de choque. F1-AR1) pero el otro hace más fuerza (sacude ligeramente palma vertical) porque lo detuvo (F2-AR2), y... me vino... que... al estar... al ser de mayor (mira la hoja con la situación) peso (mano de la palma semicerrada hacia arriba indicando el peso) como que... es imposible... no, no creo que el fitito (mano camión se cierra, mano fitito embiste extendida) cuando lo chocó haya movido al... al camión, entonces... (mira sus manos que siguen representando el choque) entonces lo frenó, no sé, lo detuvo”. Obsérvese la dificultad que encontraba para expresar oralmente su respuesta (el sujeto era por lo demás desenvuelto y demostró elocuencia y facilidad de palabras) y cómo se apoya en su simulación perceptiva como fuente de su discurso. “Es como... me pareció la fuerza más grande la fuerza que hizo el camión que lo pudo detener al fitito sobre el camión que no lo pudo mover” (confía más en F2-AR2). Al pedirle que repense su respuesta con tiempo intentó una sofisticación del análisis (una representación vectorial) de la que desistió rápidamente, para manifestar sencillamente su sensación de confianza en su respuesta. “No, no, creo que es así, no tengo ni idea si es correcto o no, pero, imaginándomelo como que... ponelo, si lo representás en vectores (pulgar e índice en ambas manos, sacudiéndolos un poco) es como... igual no sé, igual siento que... que ejerce más fuerza el camión”.

El caso de S4 resulta muy interesante en cuanto a que muestra otra vez la validación por nivel de confianza, la inestabilidad de las conceptualizaciones implícitas y la interacción entre el saber impartido socialmente y el conocimiento por sentido común. Este sujeto cambió de parecer, pero ni él ni su entrevistador se percataron de eso. El cambio ocurrió mientras el sujeto evaluaba su respuesta desde la perspectiva de su versión de la tercera ley de Newton (AR3). En un primer momento respondió “El camión sobre el fitito”. Más adelante explicitó en qué consistió su simulación perceptiva: “Y... (mueve la cabeza como negando) vi que el fitito salió despedido para atrás. (Dos palabras que no se entienden). Se hizo... una lata aplastada.” (F2-AR2). Su conceptualización de la respuesta resulta sumamente vaga, e incluso contiene elementos de AR3: “Yo sé, cuando embestí un objeto... más... grande... con más masa, te hace la misma fuerza, opuesta. Y al ser más grande... supuse que iba... a ser el doble.” Al preguntarle si revisaría su respuesta al pensarlo con más tiempo, recordó (diría más tarde) una serie de TV con una afirmación sobre fuerzas mutuas, que expresó de la forma AR3. Obsérvese cómo, inmediatamente, expresó su propio nivel de confianza sobre este principio aplicado a su simulación perceptiva y, al mismo tiempo, parece haber saltado sin advertirlo a la conceptualización F1-AR1: “Revisaría. (pausa). Por... depende también de... (piensa, se lleva el índice a la boca). No creo que... haga... la misma fuerza (palma con dorso hacia adelante). Se me hace que el camión ejercería... un poco menos o la misma. No estoy seguro si es la misma la que ejerce en contra.” El entrevistador no advirtió el cambio, pero para calibrar la importancia que el sujeto le daba a la hipótesis de que las fuerzas sean iguales le preguntó si entonces cambiaba o mantenía su respuesta inicial, a lo que el sujeto respondió “La mantuve, cambiándole un detalle.” Es decir que el sujeto confiaba más en AR2, aunque sin desacreditar AF3 (que así no resulta un principio sino una mera sugerencia).

D. ¿Aparecieron inferencias? ¿Hubo una búsqueda de coherencia? ¿Fueron usados como principios algunas de las conceptualizaciones? ¿Cuáles fueron los criterios de validación? ¿Cómo llegó el sujeto a estar satisfecho con su respuesta?

La fuente de validación fue siempre la simulación perceptiva, cuya precisión y pertinencia no fue cuestionada en ningún momento. Las conceptualizaciones aparecieron inestablemente como modos de interpretar esas simulaciones, coexistiendo sin que se acusara contradicción y contrastadas sólo con la simulación (nunca entre sí). Cada alternativa de conceptualización al que recurre un sujeto no es una única teoría con cierto dominio de aplicación sino descripciones alternativas de la misma situación que coexisten. El conocimiento “escolar” entra solo como sugerencia en un solo sujeto, y es desestimado por estar en conflicto con la simulación perceptiva. Los resultados se resumen a continuación en la tabla I.

TABLA I. Resumen de los resultados del trabajo.

	¿Hubo respuesta rápida? Recursos en respuesta refleja	¿Sostuvo su respuesta? Recursos en respuesta reflexiva	¿Hubo conflictos? Resolución	¿Hubo inferencias, búsqueda de coherencia, normatividad? ¿Cómo se validó?
S1	Sí. Simulación visual animada.	Sí. Afirmaciones justificando simulación	Sí (F1-AR1 vs. F2-AR2) Más confianza en F1-AR1	No. Solo nivel de confianza en una alternativa.
S2	Sí. Simulación visual animada.	Sí. Afirmaciones justificando simulación	Sí (F1-AR1 vs. F2-AR2) Más confianza en F2-AR2	No. Solo nivel de confianza en una alternativa.
S3	Sí. Simulación visual animada.	Sí. Afirmaciones justificando simulación	No.	No. Solo nivel de confianza en la respuesta.
S4	Sí. Simulación visual animada.	No, pero creyó que sí. Afirmaciones justificando simulación	Sí (F2-AR2 vs. AR3) Más confianza en F1-AR1 a la que se deslizó sin advertirlo.	No. Solo nivel de confianza en una alternativa.
S5	Sí. Simulación visual animada.	Sí. Afirmaciones justificando simulación	Sí (F1-AR1 vs. F2-AR2) Más confianza en F1-AR1	No. Solo nivel de confianza en una alternativa.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del análisis precedente se ven claramente los dos fenómenos que predice la hipótesis de estructura dual del conocimiento privado inicial: por un lado, en los cinco casos existió una respuesta rápida y los recursos puestos en juego en esa instancia determinaron la respuesta final, independientemente de las argumentaciones de tipo conceptual. En este punto el resultado fue mucho más contundente de lo esperado: los entrevistados fueron forzados a contestar rápido estando atentos a sus propios procesos, esperábamos que acusaran ese artificio de algún modo. Sin embargo, al preguntar qué había “pasado por su cabeza” para contestar como contestaron, dieron respuestas típicas de entrevistas clínicas como las obtenidas por Ionides y Vosniadou (2002) o las usadas para confeccionar la taxonomía de “*misconceptions*” que sirvió de base al FCI, sin aludir al contexto en el que esa respuesta se había generado. Este dato por sí solo parece dejar claro que las típicas justificaciones dadas para las respuestas a incisos del FCI tienen su origen en un mecanismo subconsciente de muy corto plazo. Solo al repreguntar si habían pensado “todo eso” en un lapso tan breve empezaban a explorar sus procesos y reconocían el uso de recursos no verbales.

También es interesante que las operaciones de validación mientras analizaban con tiempo el problema eran siempre de recreación de esos mecanismos de corto plazo, no apareciendo operaciones del tipo lógico proposicional. Esto permite explicar que muchos de quienes se encuentran en este estadio inicial de su conocimiento privado no registren la ocurrencia de contradicciones en los que incurren de acuerdo a la mirada de un observador con formación en física. De esto concluimos que, si bien las estructuras de tipo conceptual están presentes y son usadas para expresar y para justificar el resultado de las operaciones de corto plazo, no se trata de proposiciones de tipo normativo. Es decir, no aparece una estructura hipotético-deductiva. Solo para el observador que intenta reconstruir una “teoría ingenua” esas afirmaciones parecen principios de esa teoría. No hay por lo tanto ninguna buena razón para que un principio disciplinar como la tercera ley de Newton sea empleado normativamente una vez aprendido. Bien un sujeto podría responder “sí, eso dice la tercera ley, pero evidentemente en este caso no se cumple”.

Otro punto interesante que surge del análisis de los protocolos es que en todos los casos los entrevistados aluden a simulaciones perceptivas visuales dinámicas. Esto es interesante, pues las simulaciones mentales por imágenes dinámicas han sido señaladas como responsables de creación de nuevo conocimiento tanto en expertos como en novatos, mediante procesos como analogías y metáforas (Clement, 2008). Debemos advertir sin embargo que en esos casos el empleo de imágenes era deliberado, controlado y mediado por operaciones verbalizables. Lo que hemos observado en este trabajo es una instancia previa en la que los sujetos padecen la producción de imágenes, la cual guía sin controles metodológicos los procesos de predicción y resolución de problemas. Conjeturamos aquí que hay un paso esencial para lograr la adquisición de herramientas conceptuales y metodológicas disciplinares que debe consistir en la toma de conciencia y control de las simulaciones perceptivas, para que mediante lo que podríamos llamar un “control de variables” llegue a constituir un verdadero “experimento mental”, como los que propone Clement. Nuestros trabajos futuros apuntan a explorar el conocimiento privado experto, intentando comprender las continuidades y rupturas con el inicial. Esa comprensión, creemos, puede resultar clave para proponer recomendaciones para la enseñanza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco de los proyectos de investigación del Espacio Pedagógico (2011-2014) y del Espacio de Reflexión Pedagógica (2015 a la fecha) acreditados ante la UNLP. El autor agradece el apoyo y la lectura crítica de los Dres. Osvaldo Cappannini y Diego Petrucci. Las entrevistas empleadas como material para esta comunicación se realizaron en el año 2011 como parte de las tareas de investigación del Espacio Pedagógico. Este trabajo se terminó de redactar en el marco del naciente Grupo de Didáctica de las Ciencias del ICPA UNTDF, Ushuaia.

REFERENCIAS

- Badagnani, D., Petrucci, D. y Cappannini, O. (2012). Sobre los recursos cognitivos en pensadores no-newtonianos, *Actas del SIEF XI*, <http://hdl.handle.net/10915/>
- Badagnani, D., Petrucci, D. y Cappannini, O. (2018). Evidence on the coherence-pieces debate from the Force Concept Inventory. *European Journal of Physics*, 39(1), 015705.
- Bao, L. y Redish, E. (2001). Model Analysis: Assessing the Dynamics of Student Learning <http://arxiv.org/pdf/physics/0207069.pdf> (Accessed 17 September 2014)
- Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: the role of imagery, analogy and mental simulation*. Dordrecht:Springer Netherlands.
- diSessa, A. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cogn. Sci.*, 28, 843-900.
- 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, 1043-8.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E. y Redish, E. F. (2005). Resources, framing and transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective. J. Mestre (Ed.) Greenwich, CT: Information Age Publishing, 89-120.
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Ionnides, C. y Vosniadou, S. (2002). The changing meaning of force. *Cogn. Sci. Q.*, 2, 5-62.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. London: Macmillan.

Lasry, N., Rosenfield, S., Dedic, H., Dahan, A. y Reshef, O. (2011). The puzzling reliability of the force concept inventory. *Am. J. Phys.*, 79, 909-12.

Lasry, N., Watkins, J., Mazur, E. y Ibrahim, A. (2013). Response times to conceptual questions. *Am. J. Phys.*, 81, 703-6.

Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: modeling student thinking. *Proc. 2004 Enrico Fermi Summer School, Course CLVI ed E Redish (Italian Physical Society)*, 1-63.

Sabella, M. S. y Redish, E. F. (2007). Knowledge activation and organization in physics problem-solving. *Am. J. Phys.*, 75, 1017-29.

Özdemir, G. y Clark, D. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, 3, 351-61.

Pozo Municio, J. I. y Gómez Crespo, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Vosniadou, S. (Ed.). (2009). *International handbook of research on conceptual change*. Nueva York y Londres: Routledge.

Wood, A. K., Galloway, R. K. y Hardy, J. (2016). Can dual processing theory explain physics students' performance on the force concept inventory? *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 12, 023101.