

Patrón de respuestas a preguntas conceptuales sobre Mecánica Newtoniana: implicancias para el aprendizaje

Responses pattern to conceptual questions on Newtonian Mechanics: implications for learning

Daniel Badagnani^{1*}, María Cristina Terzzoli¹, Erica Schlaps¹ y Diego Petrucci²

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

²Universidad Nacional de Hurlingham. Instituto de Educación. Av. Vergara 2222 (B1688GEZ), Villa Tesei, Buenos Aires, Argentina.

*E-mail: dbadagnani@untdf.edu.ar

Resumen

El patrón de respuestas al *Force Concept Inventory* (FCI) es un discriminador clave en el debate entre coherencia y piezas en el conocimiento privado inicial de un sujeto: las distintas hipótesis sobre la estructura de ese conocimiento lleva a predicciones contrastables. Hay trabajos previos que han hecho estudios descriptivos de esos patrones, mientras que uno en particular, analizando la ocurrencia de procesos de muy corto plazo que determinan las respuestas, ha hecho uso de pruebas inferenciales. Para poder hacer una comparación significativa entre los primeros y este último, usamos la misma prueba en el análisis de datos del FCI: para cada "preconcepto" de la taxonomía con que se diseñó el FCI se hicieron tablas de contingencia para cada par de preguntas donde esta era una alternativa y se efectuaron pruebas de Fisher para todos los pares (143 para los "preconceptos" y 161 para las dimensiones newtonianas). Se observó que para la gran mayoría de los pares la hipótesis de independencia no puede rechazarse, por lo que los "preconceptos" son un organizador muy débil, en contraste con las decisiones reflejas inconscientes ya mencionadas. Se analizan posibles consecuencias de esta perspectiva para la enseñanza.

Palabras clave: Coherencia; Conocimiento en piezas; Conocimiento privado inicial.

Abstract

The responses pattern to the *Force Concept Inventory* (FCI) is a key discriminator in the debate between coherence and pieces in the private initial knowledge of a subject: the different hypotheses about the structure of such knowledge lead to verifiable predictions. Previous works have made descriptive studies of those patterns, while another, spotting the occurrence of very short term processes that determine responses, have made use of statistical inference. In order to make a meaningful comparison between those works, we have used the same statistical inference tests in the item analysis of the FCI: for each "misconception" from the taxonomy used in the design of the FCI, contingency tables were done for each couple of items showing options compatible with it, and Fisher test was performed on each (143 for "misconceptions" and 161 for Newtonian dimensions). It was observed that for the vast majority of pairs the hypothesis of independence could not be rejected, so "misconceptions" are a very weak organizer, unlike the unconscious reflex decisions above mentioned. Some possible consequences of this perspective for teaching are briefly considered.

Keywords: Coherence; Knowledge in pieces; Initial private knowledge.

I. INTRODUCCIÓN

La certeza de que los estudiantes, lejos de empezar de cero, inician su formación en física con un corpus de conocimientos considerable, altamente estructurado y muy estable, nos acompaña desde hace medio siglo. Sorprendentemente, esa certeza, si bien nos ayuda a entender por qué ciertas estrategias de enseñanza fallan, aún no nos ha guiado hacia un modo eficaz de enseñanza. Probablemente lo más parecido que tenemos sea una fuerte evidencia de que ciertas estrategias conocidas como “involucramiento interactivo” (Hake, 1998) tienen ventajas claras sobre la instrucción tradicional. Sin embargo, el hallazgo de tales estrategias se ha basado más en la prueba y el error que en una comprensión de la estructura cognitiva inicial y su evolución. Las ideas dominantes sobre cómo se estructura y cambia el conocimiento de los estudiantes sobre el mundo natural tiene un claro correlato con las decisiones que los docentes toman en el aula. Son pocos los docentes que conocen la existencia de un debate abierto sobre la cuestión y este desconocimiento suele coincidir con que sus creencias sobre la enseñanza se naturalizan como verdades. Así, un docente que no esté al tanto de que los estudiantes llegan al aula con conocimientos estructurados sobre el mundo natural (cosa habitual entre quienes no tienen formación en docencia y ejercen desde sus conocimientos de la disciplina) suele creer que basta con explicar con suficiente claridad para que cualquier estudiante lo bastante inteligente aprenda lo impartido. Se explica así la creencia habitual de que hay pocos estudiantes inteligentes y que la física es una disciplina intrínsecamente difícil. Un segundo grupo de docentes que conciba a los conocimientos iniciales de los estudiantes como creencias erróneas, teorías ingenuas a ser reemplazadas por las ideas científicamente correctas, se sentirá tentado a mostrar a los estudiantes lo equivocados que están provocando conflictos cognitivos, con la esperanza de alcanzar el ansiado “cambio conceptual”. Esta creencia es probablemente la responsable de que aún hoy tantas investigaciones sigan intentando medir cambio conceptual como una forma de validar una propuesta de enseñanza, pese a que la premisa científica respectiva (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982) haya sido duramente cuestionada hace tiempo (Moreira y Greca, 2003, Vosniadou, 2013, Raynaudo y Peralta, 2017). Un tercer grupo de docentes, más próximo a la idea del conocimiento en piezas (diSessa, 2013), tenga o no un conocimiento formal de este, creará que la instrucción pasa por entrenar y ejercitar de modo que el estudiante proceda por asociación. Una cuarta propuesta (Pozo y Gómez Crespo, 1998) se centra en hacer reconocer a los estudiantes los diferentes contextos de aplicación de conocimientos haciéndolos metaconceptualmente conscientes.

II. MARCO TEÓRICO

Por lo expuesto, resulta valioso profundizar respecto del proceso por el cual una persona logra la comprensión de un marco teórico físico disciplinar, y cómo se estructura su conocimiento previo. En particular, interesa conocer si el repertorio de respuestas que se han catalogado y que han recibido nombres diversos (como “preconceptos”, “ideas previas”, “teorías ingenuas”, etc) corresponden o no a principios normativos (es decir, principios que son utilizados del mismo modo que en ciencias naturales) desde la perspectiva del sujeto. Esta distinción ha aparecido en el debate didáctico como una disyuntiva entre “coherencia” y “conocimiento en piezas”. El debate ha resultado desconcertante porque, dependiendo de cómo se toma o analiza la evidencia, el apoyo a una u otra mirada parece muy marcado (Ioannides y Vosniadou, 2002; diSessa, 2013; 2018). Es evidente que la diversidad de nombres y catálogos empleados para referirse al conocimiento de los estudiantes se debe a que fue una línea de investigación fructífera pero carente de marcos teóricos. Se trata entonces de comprender los procesos por los cuales un sujeto, que llega a las aulas con su propio conocimiento sobre el mundo natural, logra contemplar, analizar y explicar ese mundo natural desde un marco teórico científico. Es un proceso propio de la psicología cognitiva, pero referido a la apropiación de un saber comunitario o colectivo: una porción del conocimiento científico. Entenderemos al conocimiento de los estudiantes (que abarca a los “preconceptos”) como *conocimiento privado inicial* (Badagnani, 2019). Es privado porque es propio de cada sujeto, íntimo, construido cognitivamente a lo largo de su vida, es decir, forma parte constitutiva de cada uno. En contraposición, el conocimiento científico que pretendemos enseñar, es *público*, porque es producto de una elaboración social, desarrollada por una comunidad.

Desde esta perspectiva es necesario comprender la interacción entre conocimiento privado y público. ¿Cómo evoluciona el sistema privado a medida que el sujeto va siendo capaz de utilizar conocimiento público como por ejemplo la mecánica newtoniana? Se trata de desarrollar la capacidad de producir argumentaciones que otros sujetos validarán como newtonianas. Pero desconocemos 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.

La historia de las ciencias nos enseña que -en ciertas ocasiones- el modo de resolver una anomalía o una paradoja, como el debate expuesto al principio de este apartado, es reformular la pregunta modificando el marco teórico. Nuestras investigaciones exploratorias con sujetos en estadios iniciales del conocimiento mecánico (Badagnani, Petrucci y Cappannini, 2012; Badagnani, Petrucci y Cappannini, 2018; Badagnani, 2019; Badagnani, Terzzoli y Schlaps, 2019) nos han conducido a la hipótesis de que el conocimiento *privado inicial* es dual, acudiendo a simulaciones perceptivas inconscientes y de bajo costo cognitivo (reflejos) para predecir y generar respuestas a situaciones problema, pero acudiendo a estructuras coherentes, más parecidas a teorías ingenuas (reflexión), para justificar las respuestas a las que se arribó con el recurso reflejo. Esta estructura implica que las convicciones de tipo conceptual del sujeto no funcionan como el conocimiento científico, donde los principios son normativos. La hipótesis ha sido puesta a prueba analizando la coherencia interna de las respuestas al *Force Concept Inventory* (FCI) (Hestenes, Wells y Swackhames, 1992) en Badagnani, et al. (2012) y Badagnani, et al. (2018), en entrevistas en profundidad con un diseño experimental para resolver entre respuestas de muy corta duración y las reflexionadas (Badagnani, 2019) y a través de un experimento donde se estudió la dependencia entre la respuesta refleja y la reflexionada mediante un test inferencial estadístico (Badagnani et al., 2019). En todos los casos, los resultados favorecieron nuestra hipótesis. En el caso de Badagnani et al., 2019, además arrojaron luz sobre detalles del recurso reflejo: se trata de simulaciones perceptivas inconscientes en las cuales los sujetos tienen mayor o menor grado de confianza, pero que no se someten en ningún momento a un cuestionamiento "teórico" desde las convicciones que conforman el conocimiento reflexivo con el que se analizan las respuestas reflejas. Estas últimas solo se emplean para interpretarlas sin cuestionarlas.

Los análisis de la coherencia interna de las respuestas al FCI llevados a cabo en Badagnani et al. (2012; 2018) han sido meramente descriptivos. En este trabajo nos proponemos profundizar la tarea, haciendo uso de las mismas herramientas inferenciales usadas en Badagnani et al. (2019). Se propone analizar las ideas que han servido de guía al diseño y la validación del FCI como organizadores de la coherencia interna de la respuesta a los diversos ítems de la encuesta. De este modo, es posible comparar estas ideas con las respuestas reflejas, en tanto organizadores de la decisión sobre cómo responder cada ítem. Veremos que, como sugiere el análisis en Badagnani et al. (2012, 2018), la estructuración en "preconceptos" que se ha usado como distractores en el diseño del FCI, y que en la muestra analizada fueron elegidas en abrumadora mayoría, resultan en un organizador mucho más débil que las respuestas reflejas.

III. METODOLOGÍA

Se analizaron 350 respuestas al FCI por ingresantes a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. En Badagnani et al. (2012, 2018) se mostró que los datos son de calidad y que se ajustan bien a la parametrización de Wang y Bao (2010) con una proficiencia muy baja (es decir, se trata de una población en la que las ideas newtonianas están mayormente ausentes). El FCI se diseñó teniendo en cuenta seis "dimensiones newtonianas" (cinemática, primera ley, segunda ley, tercera ley, tipos de fuerza y principio de superposición) y una serie de "preconceptos" (empleamos esta expresión, entre comillas, si bien no acordamos con el término, pues es la traducción que corresponde al término *misconceptions* empleado en el diseño del FCI) agrupadas en una taxonomía (Hestenes et al., 1992), de modo que cada ítem de cinco opciones tiene una respuesta newtoniana, mientras que las alternativas funcionan como distractores y corresponden con frecuencia a alguna de los "preconceptos". Se empleó el lenguaje *Python* para programar un script que, a partir de la taxonomía de "preconceptos" que acompaña la publicación del FCI (Hestenes y Jackson, 2007), halla todos los pares de preguntas que pueden responderse acudiendo al mismo "preconcepto" o a la misma dimensión newtoniana, y realiza, para cada uno de esos pares y respecto de la idea ("preconcepto" o dimensión newtoniana), la correspondiente tabla de contingencia para la muestra de respuestas analizadas, como explicamos a continuación.

Una tabla de contingencia permite poner a prueba la independencia de las respuestas a cada ítem respecto de la idea A (siendo esta idea o bien un "preconcepto" o bien una dimensión newtoniana). Una forma habitual de hacer tal prueba es a través del test chi cuadrado (Agresti, 2007), pero ese test solo es válido para valores esperados mayores o iguales a 5. En particular, si alguno de los marginales es nulo, se tendrá una división por cero en el cálculo del estadístico chi cuadrado. Por eso se ha considerado más apropiado, como hemos hecho en Badagnani et al. (2019), emplear el test de Fisher, también llamado "test exacto de Fisher" por ser válido para valores esperados menores a cinco.

Se ha empleado el test de Fisher del paquete "*scipy*" de *Python*¹ para hacer la prueba de Fisher a cada una de las tablas de contingencia de 2x2 descritas en el primer párrafo de esta sección. Para cada tabla se obtuvo el valor *p*, usando el criterio habitual de rechazar la hipótesis nula (en este caso, independencia de variables cualitativas) si $p < 0.05$, lo cual significa que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo esta válida es menor al 5%, es decir que si uno hiciera este test a cien tablas de contingencia para las que la hipótesis nula fuese válida, esperaríamos rechazar esa hipótesis (erróneamente) para unas cinco tablas.

¹Por documentación oficial consultar https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.fisher_exact.html

IV. RESULTADOS

El análisis de la estructura del FCI arrojó 304 pares de preguntas con respuestas compatibles con ideas en común: 143 pares corresponden a "preconceptos", y 161 corresponden a dimensiones newtonianas. Sobre cada par se hizo la correspondiente tabla de contingencia y se realizó el test de Fisher, tomando como hipótesis nula que la respectiva idea no se relacionaba con el modo en que se respondió cada pregunta. De este modo, se obtuvieron distribuciones de valores p , tanto para la totalidad de los "preconceptos" como para las dimensiones newtonianas. Esos valores se muestran en los histogramas de la figura 1.

Como puede apreciarse en el gráfico de la derecha de la figura 1, la hipótesis nula se ha rechazado solo para el 12% de los pares de "preconceptos" ($n=17$). De ser todos los pares independientes, se hubiera rechazado la hipótesis nula aproximadamente para el 5% de los pares. Este resultado indica que hay alguna correlación, pero sumamente baja, por lo que los "preconceptos" no pueden considerarse como el ordenador de las respuestas, pese a que se aprecia que los "preconceptos" son evidentemente empleados al momento de justificar el modo en que se ha respondido (Hestenes et al., 1992). Algo que hemos encontrado sorprendente es que, a pesar de que se trata de una población con una proficiencia newtoniana muy baja, las dimensiones newtonianas resultan correlacionar los pares de respuestas de un modo significativamente mayor que los "preconceptos": alrededor del 20% de las tablas dan lugar al rechazo de la hipótesis nula ($n=32$).

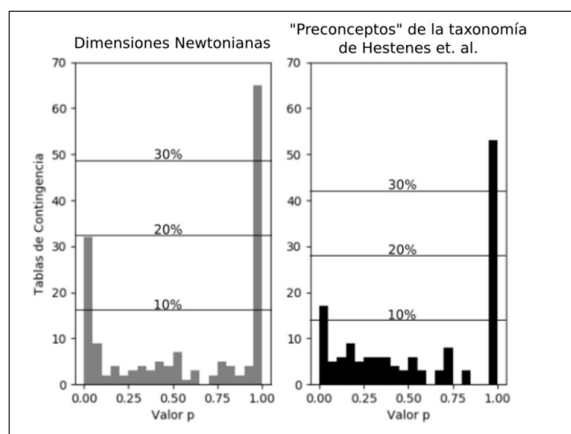


FIGURA 1. Distribución de valores p para las tablas de contingencia de pares de preguntas que ponen en juego las mismas dimensiones newtonianas (izquierda) y los mismos "preconceptos" (derecha) correspondientes a la muestra CIBEX (350 ingresantes a la FCE-UNLP).

Es interesante que en el caso de la Tercera Ley de Newton (cuarta dimensión newtoniana en el diseño del FCI) el 100% de los seis pares de preguntas que la tienen como alternativa dan lugar a tablas para las que la hipótesis nula es rechazada: hay coherencia en no responder las preguntas de acuerdo con ese principio. Sin embargo, sus alternativas AR1 y AR2, que son las que aparecen predominantemente al justificar las respuestas (Badagnani et al., 2018 y Badagnani, 2019), son exploradas en 9 pares (6 para AR1 y 3 para AR2) y solo para un par la hipótesis nula es rechazada. La correlación es, a lo sumo, débil. Recordemos aquí que cuando el análisis se hace entre la respuesta en tiempos reflejos y la reflexionada, el valor p es del orden de una parte en un millón (Badagnani et al., 2019), mostrando que lo producido en tiempos reflejos es un organizador mucho más fuerte que los "preconceptos".

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Respecto de las concepciones de los estudiantes, nosotros elegimos esta denominación, debido a que la consideramos descriptiva, evitando valoraciones. *Misconceptions* significa "concepciones erróneas" asumiendo que las únicas concepciones correctas son las científicas. "Preconceptos" implica que ni siquiera las consideramos concepciones. Nociones alternativas, puede parecer más neutro, pero no deja de ubicar al conocimiento científico en un lugar central.

Los resultados del presente trabajo consolidan con evidencia nueva lo hallado en nuestras investigaciones anteriores (Badagnani et al., 2012; 2018, Badagnani, 2019, Badagnani et al., 2019). En particular, confirma mediante un estudio inferencial lo que se observó a nivel descriptivo en Badagnani et al. (2012; 2018): los "preconceptos" que

parecen organizar el modo en que se justifican las respuestas al FCI, son un muy débil organizador del modo en que se decide cómo contestar cada ítem. Si los "preconceptos" funcionaran estrictamente como creencias, esperaríamos una correlación perfecta por cada par de preguntas en que esta aparezca como posible respuesta. Es sabido que esta correlación perfecta no se verifica, lo que ha llevado a hablar de "activación contextual" de una creencia (esto significaría que un sujeto activa diferentes concepciones en distintos contextos). Sin embargo, la correlación entre "preconcepto" y respuesta es muy baja, aún desde esta perspectiva. La alternativa que venimos proponiendo es que los "preconceptos" no son en absoluto algo que se use para decidir cómo responder al ítem, sino estructuras a las que se acude *a posteriori* para racionalizar respuestas que se alcanzan por otros medios: simulaciones perceptivas (reflejas) de muy breve duración y en esencia inconscientes. Comparemos cómo funcionan los "preconceptos" AR1 y AR2 como organizadoras de las respuestas versus cómo funcionan las respuestas reflejas. En Badagnani et al. (2019) se empleó una modificación de la pregunta 4 del FCI en la que la opción entre AR1 y AR2 resulte evidente. La situación planteada en entrevistas es el impacto de un auto muy pequeño (un fitito) a gran velocidad contra un camión con acoplado estacionado. El 85% de las respuestas en Badagnani et al. (2019) fueron compatible con AR1 o con AR2 (es decir eligieron una de esas dos entre las cinco alternativas planteadas), y de hecho las justificaciones se hacían en esos términos (aludiendo a la velocidad del fitito y al tamaño o al peso del camión). Sin embargo, en este estudio, AR1 y AR2 resultan organizadores muy débiles en cuanto a la coherencia entre respuestas, dando lugar a solo una entre nueve tablas para la que el test de Fisher dio lugar al rechazo de la hipótesis nula. En cambio, cuando el organizador es la respuesta de corto plazo, el rechazo de la hipótesis nula ocurre con un valor p del orden de la millonésima (Badagnani et al., 2019).

Resulta interesante señalar que cuando el organizador es la tercera ley de Newton, las seis tablas de contingencia resultantes dan lugar al rechazo de la hipótesis nula. Los sujetos son consistentes en no emplear la alternativa compatible con la tercera ley en favor de un distractor. Así, esta dimensión newtoniana resulta un organizador mucho más coherente (en su sistemático rechazo) que las propias ideas compatibles con las respuestas elegidas muy mayoritariamente (AR1 y AR2). Esto permite comprender por qué el análisis de respuesta al ítem con un único parámetro de proficiencia (Wang y Bao, 2010) funciona: si lo que se analiza es la probabilidad de seleccionar cada alternativa, el único organizador de las respuestas con alguna coherencia es la teoría newtoniana. Esto ocurre en marcado contraste con la coherencia en las justificaciones, donde los "preconceptos" son un organizador que ha resultado siempre muy evidente. Vale la pena resaltar, como ya lo hemos hecho en Badagnani et al. (2018), que la perspectiva planteada en este estudio resuelve las anomalías y aparentes paradojas sobre el FCI, como la ausencia de factores (Huffman y Heller, 1995), cambios entre test y retest (Lasry et al., 2011) y el aumento en el tiempo empleado para resolver cada ítem luego de que los sujetos tienen sus primeros cursos formales de física (Lasry et al., 2013).

En cuanto a las consecuencias para la enseñanza, es importante marcar lo que estos resultados implican respecto de la eficacia del planteo de conflictos cognitivos. No hay duda del impacto emotivo negativo que estos tienen en el momento de ser planteados. Desde nuestra perspectiva, atacar al conocimiento privado de los estudiantes resulta violento. Incluso aunque se trate de una "causa justa" (hacerlos entrar al olimpo del conocimiento científico) consideramos que en este ámbito -al igual que en otros- el fin no justifica los medios. Pero además, si los estudiantes no están empleando creencias para llegar a sus "conclusiones equivocadas", la estrategia de generar conflictos cognitivos no logra que el estudiante perciba la ansiada contradicción. Esto explica por qué la estrategia fracasa. La aparición de posibles conflictos en el conocimiento privado inicial no se resuelve con recursos argumentativos sino con la generación de nuevas simulaciones perceptivas (Badagnani, 2019), porque los conflictos no son contradicciones sino, a lo sumo, momentos de confusión respecto a en qué simulación perceptiva confiar. Por lo tanto, en el mejor de los casos un "conflicto cognitivo" potente instalará la respuesta compatible con la teoría científica en la situación planteada, pero esto no implica el aprendizaje del concepto, porque sabemos que situaciones diferentes disparan respuestas diversas. Como docentes, deberíamos plantearnos cómo logramos que los estudiantes entiendan que un principio científico debe ser normativo, es decir, aplicado independientemente del contexto. Creemos que se trata de pasar de convicciones individuales a conocimiento colectivo, y por lo tanto conocimiento comunicado y sujeto a controversia, en un proceso que lo lleva a diferenciarse de los conocimientos privados. Esta diferencia se manifiesta cuando se evidencia que los conocimientos privados son diversos y que es imposible alcanzar acuerdos intersubjetivos a partir de ellos. No deberíamos obviar, como docentes, que la enseñanza de una disciplina científica busca que los estudiantes construyan unos conocimientos privados (y estos no son solo información, son también actitudes y modos de hacer) que les permitan participar de un conocimiento público que no tiene nada de natural pues quienes lo elaboraron atravesaron profundos debates, tomaron decisiones y construyeron un corpus que bien pudo ser distinto, no solo en sus contenidos positivos sino sobre todo en sus metodologías y modos de validación. Naturalizar como "ciencia ingenua" el conocimiento inicial sobre el mundo natural equivale a naturalizar las metodologías que hoy llamamos científicas. Lo sorprendente, realmente, hubiera sido que el conocimiento inicial del mundo natural fuera básicamente idéntico al de las ciencias naturales, pues en ese caso resultaría un misterio por qué las metodologías y las instituciones científicas aparecieron tan tardíamente en la historia de occidente, y sólo en occidente.

Estas reflexiones abonan la idea de que una parte sustantiva de la enseñanza de las ciencias sea la introducción de sus metodologías, lo cual implica un acto comunitario y una transformación cultural. Comunitario porque la actividad científica es una actividad desarrollada por una comunidad. Transformación cultural en el sentido de que aprender ciencias es un proceso de enculturación. Este proceso será diferente en relación con la “distancia” que haya entre el capital cultural del estudiante y el conocimiento científico a aprender en cuanto conocimiento que forma parte del acervo cultural europeo (Dumrauf, 2006).

Vale la pena detenernos en cómo un proceso personal e individual como el cambio de las estructuras cognitivas de un sujeto se relacionan con la imprescindible dimensión social de la ciencia y cómo ambas se ponen en juego en la enseñanza. Hacer foco en una u otra es una necesidad metodológica a los fines de encarar determinado estudio, y en el presente trabajo ese foco está puesto en la cognición individual. Pero se desprende de lo expresado más arriba que cualquier teoría sobre el aprendizaje (que -por definición- es individual) que no incorporara la dimensión social sería inadecuada para dar cuenta del aprendizaje de las ciencias, porque entonces naturalmente un individuo debería transformarse en científico en lugar de tratarse de un proceso geoculturalmente situado. Esta conexión es la que incorporamos al distinguir conocimiento privado de público. En este trabajo hacemos una descripción del conocimiento privado inicial. Necesitamos comprender el conocimiento privado experto para poder imaginar vías de transición. Si bien nuestras propias investigaciones en este sentido son incipientes y no están publicadas, a modo de hipótesis provisional tomamos los estudios de Clement (2008) y Nersessian (1984; 2008) para caracterizar esta forma de conocimiento. Nersessian ha estudiado momentos de cambio del conocimiento público observando los procesos de generación de conocimiento en sujetos que lideraron esos cambios. Clement en cambio hizo extensos estudios sobre cómo individuos formados en metodologías científicas generaban conocimiento nuevo para ellos pero que no lo era desde la perspectiva pública. En ambos casos resultó de gran importancia la generación de imágenes y la producción de analogías en forma de “experimentos pensados”. Se ha señalado a menudo la contradicción en los términos, porque en el pensamiento falta la *empíria*. Señalemos que la *empíria* no es la única característica de un experimento, pues la *empíria* incluye también la mera experiencia. El otro factor clave de un experimento es el control de variables, cosa sólo posible con una teoría que funcione normativamente. Nos gustaría aquí señalar la postura del realismo internalista (Lombardi, 2010) que pone a los modelos como mediadores entre las teorías y el mundo sensible. El conocimiento privado experto, al igual que el inicial, acudiría entonces a imaginar la *empíria*, pero a diferencia de este último eso se haría con control consciente de los modelos, que estarán caracterizados por variables y conceptualizaciones que tienen sentido en el marco teórico. Esta sería la vía por la cual la teoría es normativa en el marco del conocimiento privado experto.

Si ese es el caso, el paso del conocimiento inicial al experto depende en muy buena medida de desarrollar la conciencia metaconceptual, lo cual puede facilitarse ante la necesidad del estudiante de comunicar sus razonamientos a pares y a docentes. De un modo análogo al que Vygotsky plantea para la adquisición del lenguaje y las categorías de pensamiento (Vygotsky, Kozulin y Abadía, 1995), sería entonces la necesidad de comunicar y construir consensos lo que permitiría la paulatina incorporación de esa conciencia como diálogo interior. Proponemos, por lo tanto, que el mayor obstáculo para la adquisición del conocimiento experto no es la adquisición de los contenidos “correctos”, sino una sustancial transformación de las concepciones metodológicas y epistemológicas que le dan sustancia a esos contenidos y los vuelven “aplicables”. En este sentido, consideramos valiosas las propuestas de enseñanza de herramientas metodológicas, como la del huevo loco (Dumrauf y Espíndola, 2002), el “Pichi” (Cappannini et al., 1996; 1997) y el doble cono (Petrucci y Bergero, 2010). Los fundamentos metodológicos, epistemológicos y didácticos de estas propuestas pueden encontrarse en Petrucci (2014; 2017).

Los resultados de este trabajo permiten afirmar que resultará interesante profundizar el estudio del conocimiento privado experto e intermedio. Otros posibles estudios a futuro involucran la dimensión social, observando efectivamente los procesos que llevan a que los aprendices incorporen a sus conocimientos privados elementos y metodologías de un conocimiento público.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Espacio de Articulación Ciencias Básicas (ICPA UNTDF) como parte de sus actividades de investigación.

REFERENCIAS

Agresti, A. (2007). *An Introduction to Categorical Data Analysis*. (2.ª ed.). New Jersey, US: John Wiley & Sons.

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.

Badagnani, D. O. (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.

Badagnani, D., Terzzoli, M. C., y Schlaps, E. (2019) Evidencia experimental de la dualidad de recursos en el conocimiento privado inicial de la mecánica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 21-28.

Cappannini, O. M., Lúquez, V., Menegaz, A., Segovia, R. y Villate, G. (1996). Introducción de conceptos de metodología científica en un curso de Física de grado. *Memorias del Tercer Simposio de Investigadores en Educación en Física (193-199)*. Córdoba: APFA.

Cappannini, O., Cordero, S., Menegaz, A., Mordegli, C., Segovia, R. y Villate, G. (1997). Metodología científica en el aula: una experiencia innovadora en la formación docente". *V Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Murcia, España: Enseñanza de las Ciencias.

Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation*. Springer Science & Business Media.

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).

diSessa, A. A. (2018). A friendly introduction to "knowledge in pieces": Modeling types of knowledge and their roles in learning. En *Invited lectures from the 13th international congress on mathematical education* (pp. 65-84). Springer International Publishing.

Dumrauf, A. G. (2006): La mirada de los otros: algunas preguntas y reflexiones para un debate necesario acerca de la educación en ciencias hoy. *Memorias del SIEF8*, pp. 323-330. Gualeguaychú, Entre Ríos.

Dumrauf, A. G. y Espíndola, C. R. (2002). "El Huevo Loco": Una Propuesta de Introducción a la Metodología Científica en el Aula. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 34, 116-120.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 1, 64-73.

Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30,141-158.

Hestenes, D. y Jackson, J. (2007) Table II for the Force Concept Inventory (revised form 081695R) [online] accedida el 20/6/2020 en http://modeling.asu.edu/R&E/FCI-RevisedTable-II_2010.pdf

Huffman D y Heller P (1995) What does the force concept inventory actually measure? *Phys. Teach.* 33, 138–43

Ioannides, C. y Vosniadou, S. (2002). The changing meanings of force. *Cognitive science quarterly*, 2(1), 5-62.

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 and Ibrahim A (2013). Response times to conceptual questions *Am. J. Phys.*, 81, 703–6

Lombardi, O. (2010). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. *II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, 28 al 30 de octubre de 2009. Disponible en www.memoria.fahce.unlp.edu.ar

- Moreira, M.A. y Greca I. M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo, *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315.
- Nersessian, N. J. (1984). Aether/or: The creation of scientific concepts. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 15(3), 175-212.
- Nersessian, N. (2008). Model-based reasoning in scientific practice. En *Teaching scientific inquiry* (57-79). Brill Sense.
- Petrucci D. y Bergero, P. (2010). El doble cono para enseñar herramientas metodológicas útiles para el aprendizaje de física. *Actas del SIEF 10, Posadas*, octubre de 2010, 221-232.
- Petrucci, D. (2014). Herramientas metodológicas para aprender ciencias naturales. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 5(2), 1-37.
www.exactas.unca.edu.ar/riecyt/VOL%205%20NUM%202/A%20%20PETRUCCI.pdf
- Petrucci, D (2017). Visiones y actitudes hacia las Ciencias naturales: consecuencias para la enseñanza. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 12(1), 29-42. ppct.caicyt.gov.ar/index.php/reiec/issue/view/671
- 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* (2.ª ed.). Madrid: Morata.
- Raynaudo, G y Peralta, O. (2017). Cambio conceptual: una mirada desde las teorías de Piaget y Vygotsky. *Liberabit*, 23(1), 137-148. doi.org/10.24265/liberabit.2017.v23n1.10
- Vygotski, L. S., Kozulin, A. y Abadía, P. T. (1995). *Pensamiento y lenguaje* (97-115). Barcelona: Paidós.
- Vosniadou, S. (2013). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: 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>