

Primeros avances hacia la comprensión del rol de la interacción con pares y docentes en la evolución del conocimiento privado de la mecánica

First advances towards the understanding of the role of the interaction with peers and teachers in the evolution of private knowledge of mechanics

Daniel Badagnani^{1*} y María Cristina Terzzoli¹

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

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

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

Estudios previos conducidos por los autores permitieron desarrollar un modelo de la estructura del conocimiento inicial de la mecánica que llevaron al planteo de recomendaciones de aula, y al desarrollo de una propuesta de enseñanza que se implementó y se mejoró sistemáticamente durante los últimos cuatro años. Esta estrategia parte de la hipótesis de que se requiere de una interacción social para llevar a los individuos a adoptar esquemas normativos de conocimiento que, desde una perspectiva individual, no tendrían incentivos para sobrellevar. En este trabajo mostramos el primer estudio sistemático que pone a prueba esta hipótesis en condiciones controladas, a través del registro de un debate virtual en una actividad de ingreso universitario.

Palabras clave: Cambio conceptual; Cambio epistemológico; Innovación sistemática.

Abstract

Previous studies conducted by our group allowed us to develop a model for the cognitive structure of the mechanics initial private knowledge which led to the formulation of recommendations for teaching, and to the development of a teaching proposal which has been implemented and systematically improved over the last four years. This proposal is based on the hypothesis that social interaction is required for allowing the individuals to adopt normative knowledge schemes which, from an individual perspective, wouldn't have incentives to achieve. In this work we show the first systematic study which puts this hypothesis to test in controlled conditions, through the register of a debate during a virtual activity in a short course introducing university to freshmen.

Keywords: Conceptual change; Epistemological change; Systematic innovation.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la última década, hemos producido una serie de investigaciones sobre el conocimiento inicial de la Mecánica desde una perspectiva cognitiva individual (Badagnani, Petrucci y Cappannini, 2012, 2017; Badagnani, 2019;

Badagnani, Terzoli y Schlaps, 2019) de las que hemos extraído algunas consecuencias para la enseñanza (Badagnani, Terzoli, Schlaps y Petrucci, 2020). En resumen, podríamos sintetizar esas conclusiones así: el conocimiento privado inicial es dual, produciendo predicciones a través de simulaciones perceptivas de bajo costo cognitivo, análogas al “Sistema 1” descrito por Kahneman (2011), y justificándolas a través de un sistema de conceptualizaciones superficialmente reminiscente a las “teorías ingenuas” postuladas por los proponentes del llamado “cambio conceptual” (Vosniadou, 2008). La principal consecuencia para la enseñanza (Badagnani *et al.*, 2020) es que el sistema de creencias en esta instancia no es normativo, haciendo estas creencias esencialmente invulnerables al planteo de conflictos cognitivos con el fin de modificarlos. Un sistema normativo propio de los modelos hipotético-deductivos como la teoría de Newton da lugar a la necesidad de activar lo que Kahneman (2011) denomina “Sistema 2”, recursos cognitivamente mucho más costosos. En estudios como el llevado adelante por Clement, Zietsman y Monaghan (2005) muestra cómo un pensador experto puede emplear imágenes fuertemente controladas e intervenidas con conceptualizaciones para producir nuevo conocimiento a partir de un cuerpo normativo, y que a veces un pensador no experto produce visualizaciones análogas que le pueden servir para alcanzar el estadio experto, desarrollándolo. El problema que deseamos abordar es: ¿Cómo llega a adquirir esa habilidad un sujeto en el estadio inicial, que cuenta con un sistema que por un costo mucho menor le produce respuestas que le resultan altamente satisfactorias? ¿Cuál es el estímulo que puede llevarle a abandonar ese estadio evidentemente cómodo para buscar desarrollar un pensamiento basado en principios normativos, con las frustraciones que ello implica?

Pero en paralelo con estas investigaciones “de gabinete”, los autores desarrollamos una actividad de enseñanza en contextos de innovación sistemática, primero en el Taller de Enseñanza de Física de la UNLP (Petrucci, 2009), y luego en Física I y II del ICPA-UNTDF (Terzoli, Badagnani y Gel, 2022) donde producimos conocimiento menos riguroso y conjeturas de trabajo. Incluso el trabajo “de gabinete” citado más arriba da lugar a observaciones fortuitas que nos sirven como inspiración. En la toma de datos empleada en Badagnani (2019), que eran entrevistas individuales tomadas a voluntarios, ocurrió que algunos de ellos se encontraron en el pasillo y tras cierto debate volvieron al laboratorio a interrogar al entrevistador. En esa charla informal pusieron en juego recursos que no habían aparecido en absoluto en las entrevistas. Esta observación casual dio lugar al diseño de una estrategia de aula que venimos usando desde 2019, con éxito creciente. El aula es un sistema demasiado complejo como para producir certezas sobre las causas precisas de cada resultado. Este trabajo busca indagar en la hipótesis detrás de esa estrategia de aula: el germen de la adopción de esquemas normativos en el pensamiento es de raíz social y surge de la insatisfacción en el uso del sistema de conocimiento inicial cuando es necesario producir conocimiento compartido.

En este trabajo presentamos resultados preliminares de una investigación realizada a partir del análisis de un registro de una actividad propia de la estrategia mencionada más arriba, que se describe en la sección III. Previo a esto, en la sección II, ampliamos parte del marco teórico citado en esta sección para hacer el trabajo más autocontenido. En la sección IV presentamos un análisis preliminar de estos registros, mientras que en la sección V esbozamos las primeras conclusiones y las perspectivas que se abren para el estudio del desarrollo del conocimiento físico experto.

II. MARCO TEÓRICO: EL DEBATE “COHERENCIA” VERSUS “PIEZAS”

Existen dos miradas sobre cómo se estructura el conocimiento privado inicial: la “coherentista”, defendida por ejemplo en Vosniadou (2008), y la “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 científico, 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. Si sostenemos coherentemente esta concepción al diseñar secuencias didácticas, deberíamos concluir que la tarea del docente es reemplazar las “teorías ingenuas” de los alumnos por otras “científicamente correctas”, lo cual podría lograrse convenciendo a los estudiantes de su error a través de “conflictos cognitivos”. Esta propuesta, popularizada por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982), se encuentra hoy desacreditada (Vosniadou, 2008). En nuestra opinión, esta postura parte de una imagen excesivamente racionalista del ser humano, cuando desde Freud se acepta que nuestro costado racional es solo una parte de nuestra psique. Y si bien el psicoanálisis ha sido duramente criticado en cuanto a su seriedad científica, aspectos análogos al inconsciente han entrado al canon de la psicología experimental que ya no admiten discusión. Un buen ejemplo es el del psicólogo y premio nobel de Economía Daniel Kahneman, quien mediante una serie de experimentos ha demostrado que la mayor parte de las decisiones cotidianas se toma de manera inconsciente mediante lo que llama “Sistema 1”, la parte del aparato cognitivo que está en cierto sentido automatizada, mientras que se reserva las decisiones complejas y cognitivamente costosas al “Sistema 2”, ese del que somos conscientes cuando sentimos que razonamos (Kahneman, 2011). En la misma obra se habla irónicamente de los “econos”, los agentes que toman decisiones implícitos en las teorías económicas basadas en expectativas racionales, por oposición a los humanos

reales, frecuentemente irracionales e incapaces de explicar cómo tomaron la mayoría de sus decisiones. Parafraseando a Kahneman, podríamos decir que la postura coherentista sirve para enseñarle Física a “educanos” y no a verdaderos seres humanos. Esta perspectiva da por sentado implícitamente que los “educanos” usan las creencias que explicitan verbalmente de un modo normativo, cuando nuestros trabajos previos parecen indicar que se usan solo como racionalizaciones a posteriori de decisiones inconscientes (Badagnani *et al.* 2012, 2017; Badagnani, 2019; Badagnani *et al.* 2019), que describimos en más detalle más abajo en esta sección.

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 inspirada en corrientes de la inteligencia artificial del siglo XX 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. Sin embargo, en ella las teorías como estructuras lógicas con afirmaciones de carácter normativo se encuentran desdibujadas. ¿Cómo interactúan las piezas, jerarquizadas o no, con el lenguaje?

Nuestras investigaciones previas ya citadas nos han llevado a postular un sistema cognitivo inicial que opera de manera diferenciada: las predicciones se hacen en tiempos muy breves acudiendo a recursos más próximos al conocimiento en piezas, mientras que el lenguaje oral y escrito se usa para interpretar las preguntas disparando esos recursos en piezas, y para describir la respuesta, y racionalizarla en caso que al sujeto se le solicite. Esto es lo que hemos llamado “estructura dual”. Las piezas, aparentemente, serían simulaciones perceptivas, sobre todo visuales (esto es, el sujeto visualiza la situación como si estuviera ocurriendo ante sus ojos). Estas simulaciones se diferencian de los experimentos pensados descritos por Clement *et al.* (2005) en la ausencia de control de variables, el cual requiere de la habilidad de explicitar modelos para los objetos involucrados: un experimento pensado es ejecutado, en términos de Kahneman, por el Sistema 2, mientras que la simulación perceptiva es más propia del Sistema 1. Esta es la razón por la que las creencias explicitadas no operan como principios normativos, lo que lleva a lo que se ha denominado “activación contextual” de estas ideas (parece como si un sujeto tuviera varias creencias a la vez, y las activara en distintas ocasiones sin advertir contradicciones). Un sujeto en el estadio cognitivo inicial no parece tener incentivos para abandonar esta instancia, que le proporciona respuestas que le resultan altamente satisfactorias con un esfuerzo muy inferior al que le demanda un razonamiento a partir de principios normativos. ¿Cómo ocurre, entonces, el aprendizaje?

Observemos que todas las consideraciones vertidas en el párrafo anterior son estrictamente individuales. Pero el conocimiento científico se construye socialmente, por lo que no sería sorprendente que el incentivo para el aprendizaje tenga una importante componente comunitaria. De hecho, de acuerdo a Vygotsky (1979), la propia adquisición del lenguaje ocurriría de este modo. En este caso, lo que un sujeto debería adquirir es un modo particular de emplear el lenguaje, en modalidad hipotética deductiva. Esta es la hipótesis que ha guiado el diseño de secuencias didácticas para Física I en el ICPA-UNTDF, y es la hipótesis que buscamos poner a prueba en este trabajo.

III. UN PRIMER ANÁLISIS SISTEMÁTICO: METODOLOGÍA

El Curso de Iniciación Universitaria (CIU) de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF) incluye un espacio de 20 horas específico del Instituto de Ciencias Polares (ICPA). En el 2022 ese espacio se denominó Teorías y Métodos en la Biología, la Geología y las Ciencias Ambientales, y fue planificado e implementado por los autores. El propósito del espacio es motivar a las y los estudiantes que ingresan al ICPA mostrándoles aspectos y características de sus carreras, al tiempo que se les introducen ideas epistemológicas sofisticadas y las razones por las que las ideas ingenuas más habituales no son adecuadas para la práctica de las ciencias naturales. La modalidad fue virtual, con dos comisiones: COM10 (turno mañana) y COM11 (turno tarde). Decidimos implementar una modalidad de involucramiento interactivo virtual análoga a la que implementamos para Física I y II en el mismo instituto, y que se describe en detalle en una reciente narración de experiencia docente (Terzoli *et al.* 2022). La metodología involucra momentos de tarea grupal virtual (mediante un ensemble de salones *Meet*) y actividades nivel aula (virtual en *Meet*). Una novedad respecto de lo narrado en aquella publicación fue una adaptación de la metodología de lecciones con *clickers* (Mazur, 2009) mediante formas de Google (por detalles, consultar el Apéndice).

El primer taller, sincrónico de 3 horas de duración, se tituló “Teorías Científicas y Disciplinas”. Su propósito fue introducir a los participantes en la necesidad de introducir marcos teóricos y abstracciones para producir conocimiento compartido en una comunidad. Como disparador decidimos usar una actividad análoga a la primera que usamos en Física I con el mismo fin, y que sabemos que funciona: hacer que respondan individualmente a una pregunta análoga a los ítems del Force Concept Inventory (FCI, Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992), y que formen equipos entre quienes respondieron del mismo modo para pensar argumentos para persuadir a los otros equipos, para finalmente concluir en un debate. En esta oportunidad hemos decidido emplear la misma pregunta que hemos investigado

extensamente a nivel individual (Badagnani, 2019; Badagnani, *et al.*, 2019): *Un fitito que va a la máxima velocidad que le permite su motor embiste contra un camión con acoplado que está estacionado. ¿Cuál hace más fuerza?* (de ahora en más, PI, por “Pregunta Investigada”). Aprovechando el formato, decidimos grabar el debate (con el consentimiento de todos) en ambas comisiones para su análisis con fines de investigación. Asistieron a la actividad 41 estudiantes en la COM10 y 24 en la COM11.

La actividad tuvo el siguiente formato: en primer lugar presentábamos la PI, y pedíamos responderla con opciones múltiples a través de una forma de Google con las siguientes opciones: “El camión”, “El fitito”, “Los dos”, “Ninguno” y “Es imposible saber” (estas opciones son las mismas que empleamos en nuestro experimento sobre la hipótesis de estructura dual del conocimiento privado inicial, Badagnani, *et al.*, 2019). Cada asistente respondía individualmente desde su casa. Una vez que todos hubieran respondido, se presentaban los resultados y se formaban reuniones de *Meet* con quienes hubieran respondido del mismo modo, con la consigna de que durante media hora prepararan argumentos para convencer de su respuesta al resto. Esas reuniones no se grabaron y el equipo docente no intervino de ningún modo. Finalmente, todos los participantes regresaron a la reunión de *Meet* principal y debatieron durante media hora, con la moderación de los docentes que solamente concedían la palabra o leían intervenciones que se volcaban en el chat. Esta es la sesión que se grabó, para ambas comisiones. Luego del debate, y sin que el equipo docente intervenga respecto de las opciones ni valore las producciones, la pregunta se volvió a responder individualmente mediante la misma forma de Google, y los resultados compartidos. El teórico posterior fue sobre la importancia de contar con lenguaje en común y abstracciones para poder construir conocimiento compartido. Sobre la pregunta únicamente se dijo que una respuesta científica puede darse en el marco de la Física Newtoniana, que aprenderían en Física I medio año en el futuro.

Los registros de los debates en ambas comisiones se desgrabaron y se analizaron con criterios análogos a los empleados en Badagnani (2019), con el fin de comparar los recursos empleados por los sujetos al reflexionar en soledad con los empleados en el contexto de un debate entre pares.

IV. PRIMEROS RESULTADOS

Lo que ocurrió al nivel de los “clickers” antes (A) y después (D) del debate es lo esperable dado lo que sabemos tanto de estos como de la PI. En la COM10(A), 17 (41.5%) eligieron “el camión”, 15 (36.6%) eligieron “el fitito”, 8 (19.5%) eligieron “los dos” y 1 no votó. Luego del debate, COM10(D), 28 (68.3%) eligieron “el camión”, 5 (12.2%) eligieron “el fitito”, 6 (14.6%) eligieron “los dos”, 1 eligió “ninguno” y 1 eligió “es imposible saber”. En la COM11(A), 6 (25%) eligieron “el camión”, 10 (41.6%) eligieron “el fitito”, 4 (16.6%) eligieron “los dos” y 4 no votaron. Luego del debate, COM11(D), 4 (16.6%) eligieron “el camión”, 6 (25%) eligieron “el fitito”, 11 (45.8%) eligieron “los dos”, 1 eligió “ninguno” y 3 eligieron “es imposible saber” (hubieron 25 votos, creemos que alguien votó dos veces pero no lo pudimos confirmar). En la COM10 ocurrió un enorme desplazamiento hacia la alternativa más elegida inicialmente (mientras que ese desplazamiento entre la respuesta rápida individual y la reflexionada individual es entre indetectable y marginal, como mostramos en Badagnani, *et al.*, 2019). En cambio, en la COM11 ocurrió un desplazamiento mayoritario hacia las alternativas que no corresponden a una “misconception” del diseño del FCI (Hestenes, *et al.*, 1992). Claramente, el efecto del intercambio de ideas es enorme, como suele ser el caso cuando se usa la metodología “clicker” (Mazur, 2009).

Para analizar lo ocurrido entre las votaciones, leímos las desgrabaciones con las siguientes preguntas guía en mente (adaptadas de cómo se analizó la reflexión individual en Badagnani, 2019):

- ¿Qué recursos aparecen en el análisis?
- ¿Aparecieron conflictos? ¿Cómo se resolvieron?
- ¿Aparecieron inferencias? ¿Hubo una búsqueda de coherencia?
- ¿Fueron usados como principios algunas de las conceptualizaciones?
- ¿Cuáles fueron los criterios de validación?
- ¿Cómo llegó a estar cada sujeto satisfecho con su respuesta?

A continuación describiremos lo que ocurrió en los debates en función de estas preguntas.

En cuanto a los recursos empleados, vemos abundante evidencia de recursos no hallados en la reflexión individual. La simulación visual perceptiva, virtualmente la única que parece emplearse en la reflexión individual, aparece abundantemente también en el debate. Por otra parte, la discusión fue en términos muy diferentes en ambas comisiones, lo que se corresponde bien con las grandes diferencias en las votaciones posteriores al debate.

En la COM10 aparece un intento de cuantificar las fuerzas, sin que ninguno de los sujetos cuestione, ni trate de validar, el origen o la pertinencia de los cálculos. Para el camión los intentos de cálculo son del estilo “masa por gravedad”, mientras que en el caso del fitito ensayan fórmulas del tipo “masa por velocidad”. Si bien no aparece una búsqueda de validación teórica, sí se intenta usar la cuantificación para plantear escenarios y situaciones hipotéticas, como que si un fitito pudiera ir a una velocidad irrealmente alta la fuerza que hace este podría superar la del camión. Aparece varias veces la idea de que la prueba de que esa fuerza es superada sería que el camión se mueva, lo que constituye una incipiente forma de normatividad. Más adelante en el debate aparece una primera negociación de sentidos con el planteo de que las fuerzas de uno y otro serían de diferente carácter, y por lo tanto incomparables, lo cual deriva en un debate sobre el sentido de la pregunta y la apreciación de que esta es “re capciosa”. Aparece evidencia de que la conceptualización de unos es tomada y considerada por otros: *no si tipo la había pensado en que tipo Catalina tipo yo la verdad que... creo que tenés razón, con el tema... son dos fuerzas totalmente diferentes, una fuerza es de impacto y otra de resistencia por así decirlo, yo mucho de física no sé pero creo que se entiende*. Aquí se ve por lo tanto que los conflictos empiezan a dirimirse con herramientas muy diferentes que la mera convicción que genera una simulación visual perceptiva. Sin embargo aparecen dos elementos que limitan y coartan la producción de estos argumentos más sofisticados. Por un lado, el argumento del “cálculo” de la superioridad de la fuerza del camión aparece en boca de voceros particularmente escuchados, y nadie tiene los recursos para rebatir estas cifras aparentemente contundentes, y por otro lado las lógicas de identidad grupal empiezan a imponerse sobre el debate de ideas, como puede leerse en el siguiente intercambio:

—A mí no me termina de convencer.

—¿qué? Te golpeamos entre todos porque tenemos razón. [riendo]

El intercambio es amistoso en todo momento, pero las disidencias se ven claramente reprimidas en la discusión. Así, algunos terminan convencidos por cifras supuestamente contundentes, y otros porque aparece una opinión mayoritaria, aunque la votación final indica claramente que siguen circulando visiones disidentes acalladas. Otra pauta de la falta de confianza de muchos en la respuesta final es la búsqueda de la validación de los docentes con expresiones como *a usted no le convence profe, me parece*. Un momento interesante se vio cuando uno de los estudiantes recordó la Tercera Ley de Newton:

—A mí me enseñaron que las fuerzas van a ser iguales y contrarias. Capaz no tomé en cuenta eso de quien hace la mayor fuerza pero también no había entendido la pregunta, pero va por ese lado.

—Me parece que está hablando del principio de acción y reacción.

La aparición de una pieza normativa (y autorizada: es ciencia escolar) que contradice las opiniones mayoritarias dispara un debate sobre su significado y algunos nuevos recursos, como el planteo de situaciones límite hipotéticas como *Si, si fueran iguales eeh los dos volarían en pedazos, pero en este caso siempre va haber casi siempre va a haber una fuerza mayor que es la que se opone a la fuerza del otro*. La frase está estructurada como un condicional, como si se estuviera derivando lógicamente a partir de la Tercera Ley, aunque en rigor lo que se dispara es una nueva simulación perceptiva. Aun así, se generan intercambios sobre escenarios hipotéticos:

—No sé, yo me puse a pensar una situación hipotética de que pasa, tipo, como sería la situación de dos fititos a la máxima velocidad que tengan, estrolándose [sic] entre sí, tipo...

—Claro en ese caso los dos tendrían la máxima fuerza

—Claro

—Y pasaría lo que había planteado Iván de fuerzas iguales y...

Sobre el final, y con una gran diversidad de argumentos puesta a consideración, los participantes muestran una gran inseguridad sobre su producción: *Bueno, no se igual ahora ya veo que nos destrozan los profes los argumentos y quedamos en la miseria, eh, ojo, ojo*.

En la COM11 intentaron usar ciencia escolar desde el comienzo, invocando las leyes de Newton, aunque las intervenciones aparecían teñidas por ideas como “a mayor masa corresponde más fuerza”. Aparecen argumentos explícitos para rechazar la Tercera Ley: *Bueno, nosotros somos del team fitito, en realidad después debatiendo como que salieron otras cuestiones de que claramente donde hay una acción también hay una reacción pero había que defender, vamos a defender. También, bueno, aplica que la fuerza tiene que ver también con la masa y con la velocidad así que nosotros defendemos al fitito porque tiene esta fuerza inicial no habría una reacción, así que podemos decir que es la más fuerte o la que genera esta batalla de fuerzas, ¿no? No sé*. En el siguiente intercambio puede verse claramente una negociación de sentidos:

—En el grupo camión decíamos que de repente, más allá de que el camión y el acoplado estén quietos y el fitito en movimiento con mayor fuerza o con esa, tal vez, fuerza inicial que decía Estefanía recién, el camión lo que tiene es mas... es como mas inercia debido a su masa por más de que esté quieto. Entonces, también dudamos si habíamos elegido bien pero se nos ocurrió que venía por ese lado tal vez la idea de que hacía más fuerza el camión por más que esté quieto que el fitito por más que esté en movimiento.

—Claro pero la fuerza como se puede... eehh la fuerza que ejerce va a tener que ser igual a la del fitito para poder frenarlo, sino no creo que pueda hacer más sino que es una reacción a una fuerza externa.

—Por eso, tal vez lo que hablábamos nosotros era del concepto de resistencia.

Aparece una intervención interesante en que la idea “si el camión se mueve entonces la fuerza del fitito es mayor” es usada normativamente en el análisis de una situación hipotética: *Yo tengo una duda. La consigna se basó en una serie de supuestos, verdad? Yo hubiera preguntado si al final del choque el camión estacionado se terminó moviendo de su lugar. El fitito ejerce una fuerza y el camión otra pero si al final del choque el camión se mueve entonces el fitito hizo más fuerza pero si se frenaron en el lugar entonces el camión ejerció menos al menos una fuerza igual o mayor.* Esa intervención termina generando cierto consenso en que para responder se necesita saber qué pasó finalmente con el movimiento del camión, pasándose de la satisfacción con una experiencia pensada a la necesidad de contar con información empírica. Lo interesante es que esa demanda de información empírica se conecta con una contrastación de hipótesis alrededor de una idea usada normativamente, con lo que el grupo se aproximó a un pensamiento experimental. Más tarde aparece una incipiente muestra de conciencia metaconceptual: *Es como que al momento de empezar a tejer algo es como que empezamos a sacar otra cosa y se nos hacen nudos mentales o dudas existenciales y a mí me pasaba lo mismo que Estefanía, me puse a pensar y dije o sea se terminan anulando los dos, al final quien hace fuerza si los dos se anulan eh..., al final que pasa después fue todo un bollo.* Resulta interesante que una vez hecha la votación final apareció un voto para la opción “ninguno”, y quien había optado por esa respuesta se animó a defenderla: se trataba de alguien que pensaba que las fuerzas eran iguales, por lo que su respuesta era que ninguno hacía más fuerza que el otro. Es decir, se aplicó una lógica estricta. En el caso de la COM11 el resultado final fue de gran insatisfacción con las conclusiones alcanzadas.

V. DISCUSIÓN Y PROYECCIÓN FUTURA

Los resultados alcanzados son exploratorios, y las condiciones en que se produjeron no fueron las ideales para una investigación, teniendo en cuenta que los investigadores eran a su vez docentes, con objetivos de enseñanza. Sin embargo, se trata de una primera instancia en la que una estrategia de enseñanza que venía siendo empleada con aparente éxito pudo ser estudiada de cerca en sus aspectos cognitivos. La evidencia favorece la observación asistemática en el aula: el ámbito de discusión entre pares puede catalizar la adopción de metodologías metaconceptuales y epistemológicas imprescindibles para que los contenidos enseñados de Física logren interpretarse en su contexto hipotético-deductivo. En profundo contraste con lo observado en el caso de la reflexión individual en Badagnani (2019), la mera contrastación entre simulaciones perceptivas se vio desplazada como herramienta por negociaciones de sentidos, tanto del contenido de la pregunta a responder como del significado de terminología, analogías, planteo de hipótesis, análisis de casos límite y un incipiente uso de ideas en un sentido normativo. La confrontación con el otro y la necesidad de producir conocimiento en una comunidad debilitó mucho la credibilidad de las respuestas basadas en convicciones personales y abrió claramente la puerta a argumentaciones más sofisticadas.

Quisiéramos mencionar aquí el trabajo de Petrucci y Bergero (2010), que apunta similarmente a detectar recursos activados por una actividad comunitaria alrededor de una situación intrigante. En ese trabajo aparece evidencia de cómo un curso puede beneficiarse de activar la conciencia de los estudiantes acerca de las herramientas metodológicas. Creemos que los hallazgos presentados aquí se corresponden en buena medida con los de ese trabajo. Nos llama la atención una discrepancia en la que sería interesante ahondar: una de las conclusiones del trabajo es que los estudiantes raramente hacen uso de hipótesis, mientras que en esta investigación hemos atestiguado un uso abundante de estas. Esta discrepancia podría explicarse de dos maneras: una, esa actividad concernía a la interpretación de información experimental, en la que no había duda de qué era lo que ocurría, mientras que en nuestro caso se trata de predecir a partir de conocimiento abstracto. La otra diferencia es que Petrucci y Bergero (2010) estudiaron producciones escritas de una actividad fuertemente guiada, mientras que nosotros analizamos grabaciones de un debate oral en el que la intervención docente era únicamente de moderación.

Los resultados aquí presentados parecen apoyar la idea empleada de hecho en los cursos de Física I que los autores dictamos en ICPA-UNTDF: que la manera correcta de emplear un conflicto cognitivo no es contrastar las “ideas ingenuas de los estudiantes” con las “científicamente correctas”, sino para confrontar las convicciones privadas de los estudiantes y mostrarles la necesidad de la abstracción, el empleo de lenguaje consensuado y el sentido normativo

de las leyes físicas. Es decir, la ruptura es metodológica y epistemológica antes que conceptual. Y sobre todo muestra los límites de los estudios de corte exclusivamente cognitivista para producir recomendaciones para la enseñanza y la necesidad de complementarlos con un abordaje de la dimensión social del aprendizaje.

Nos proponemos dar continuidad a esta investigación por dos vías complementarias. Por un lado, planeamos continuar con investigaciones “de gabinete”, con alto control de variables, en las que actividades análogas a la descrita aquí se realicen con voluntarios y fuera de un contexto de enseñanza. Por otro, esperamos sistematizar nuestras prácticas y estudiarlas desde la perspectiva de la Innovación Sistemática (Jiménez y Petrucci, 2004) y con estrategias de Investigación Participativa (Francés *et al.*, 2015).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló como parte del proyecto PIDUNTDF B “Formación de redes de conocimiento para abordar la complejidad en Tierra del Fuego”. Los autores agradecen al ICPA-UNTDF por su apoyo a las actividades de innovación e investigación sobre la enseñanza de la Física para Ciencias Naturales.

REFERENCIAS

Badagnani, D. O., Petrucci, D., y Cappannini, O. (2012). Sobre los recursos cognitivos en pensadores no newtonianos. In *XI Simposio de Investigación en Enseñanza de la Física (SIEF) (Esquel, 2012)*.

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. 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. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/24664>

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. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26522>.

Badagnani, D., Terzzoli, M. C., Schlaps, E., y Petrucci, D. (2020). Patrón de respuestas a preguntas conceptuales sobre Mecánica Newtoniana: implicancias para el aprendizaje. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32, 25-32. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/30963>.

Clement, J., Zietsman, A., Monaghan, J. (2005). Imagery in science learning in students and experts. In *Visualization in science education* (pp. 169-184). Springer, Dordrecht.

diSessa, A. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cogn. Sci.*, 28, 843-900.

Francés, F., Alaminos, A., Penalva-Verdú, C., y Santacreu, Ó. (2015). *La investigación participativa: métodos y técnicas*. Pydlos.

Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158.

Jiménez, M. R., y Petrucci, D. (2004). La innovación sistemática: un análisis continuo de la práctica docente universitaria de ciencias. *Revista Investigación en la Escuela*, 52, 79-89.

Kahneman, D. (2011). *Think fast, think slow*. Farrar, Straus and Giroux, New York.

Mazur, E. (2009). Farewell, lecture? *Science*, 323(5910), 50-51.

Petrucci, D. (2009). El Taller de Enseñanza de Física de la UNLP como innovación: diseño, desarrollo y evaluación.

Petrucci, D., y Bergero, P. (2010). El doble cono para enseñar herramientas metodológicas útiles para el aprendizaje de física. *Actas del SIEF*, 10, 221-232.

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.

Terzoli, M. C., Badagnani, D., y Gel, M. (2022). Enseñar Física en la universidad en tiempos de pandemia: desafíos y aprendizajes. *Revista de Enseñanza de la Física*, en prensa.

Vygotsky, L. S. (1979). *Pensamiento y lenguaje*. Paidós. Buenos Aires .

Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International handbook of research on conceptual change* (Vol. 259). New York: Routledge.

APÉNDICE

IMPLEMENTACIÓN DE *CLICKERS* CON COSTO CERO

En primer lugar, describamos brevemente en qué consiste el *clicker* y cómo se usa. Se trata de un dispositivo comercializado en EEUU a partir de la propuesta de Mazur (2009): cada estudiante cuenta con una botonera que le permite responder anónimamente preguntas, que el docente procesa y muestra al aula en tiempo real. De este modo, el docente puede comprobar hasta qué punto una noción ha sido comprendida por el auditorio y decidir si continuar, profundizar la exposición o proponer un debate. Durante la década y fracción transcurrida desde entonces se han popularizado enormemente los smartphones y la conectividad a Internet, tanto por datos como por redes inalámbricas en instituciones educativas, de modo que en virtualmente cualquier aula urbana la mayoría de los estudiantes cuentan con acceso a la web. Esto permite implementar un *clicker* a través de formas de Google, de la siguiente manera: por cada pregunta que se desee hacer se puede hacer una forma con un único inciso, distribuyendo los enlaces por servicio de mensajería o mediante un código QR. El docente contará con la sección resultados, que le permite visualizar cuántas respuestas han llegado en tiempo real, ver y mostrar los resultados mediante diagramas de torta, guardar los resultados para su análisis posterior, borrar las respuestas y volver a hacer la pregunta más tarde (por ejemplo, luego de un debate). Los autores tenemos el propósito de exponer este desarrollo con más detalle en una narración de aula futura, incluyendo el marco de uso y resultados.