

# Actividades colaborativas sobre conceptos de mecánica en sistemas físicos no puntuales

Collaborative activities on mechanics concepts of non-punctual physical systems

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Nicolás Budini<sup>1,2</sup>, Silvia Giorgi<sup>1</sup>, Leandro M. Sarmiento<sup>3</sup>,  
Cristina Cámara<sup>1,4</sup> y Ricardo Carreri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, S3000AOM, Provincia de Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Física del Litoral (UNL-CONICET), Güemes 3450, S3000GLN, Provincia de Santa Fe, Argentina.

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, X2400SQF, San Francisco, Provincia de Córdoba, Argentina.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, 86-Kreder 2805, 3080HOF, Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

E-mail: nicolas.budini@ifis.unl.edu.ar

## Resumen

Se presentan resultados de actividades llevadas a cabo por estudiantes del ciclo inicial universitario, relacionadas con los conceptos de mecánica en sistemas físicos no puntuales. Dichas actividades se realizaron en el contexto de la modalidad de enseñanza denominada instrucción entre pares, la cual involucra instancias de aprendizaje colaborativo. La implementación de esta modalidad pone especial énfasis en mejorar la conceptualización de los contenidos de física por parte de los estudiantes. Se utilizaron recursos tecnológicos que posibilitaron una retroalimentación inmediata entre docentes y estudiantes y que permitieron detectar y discutir en el momento dificultades conceptuales generales. Los resultados encontrados alientan a continuar y ampliar la implementación de actividades del tipo que aquí se presenta; no obstante, del análisis de los mismos se desprenden advertencias que son señaladas para alertar a aquellos docentes interesados en aplicar esta metodología en sus clases de física.

**Palabras claves:** Mecánica de sistemas no puntuales; Nivel inicial universitario; Enseñanza y aprendizaje; Instrucción entre pares; TIC.

## Abstract

We present results of activities carried out by students of a first undergraduate physics course, which were related to the concepts of mechanics in non-punctual physical systems. These activities were performed in the context of the teaching-learning modality known as *peer instruction*, which involves collaborative learning instances. The implementation of this modality emphasizes particularly on improving the conceptualization of physics by students. We have made use of technological resources that allowed an immediate feedback between teachers and students which quickly helped detecting general conceptual misunderstandings. The results obtained in this work push us to continue and broaden the scope of the activities shown. However, by analyzing these results we detected and pointed out some warnings that should be taken into account by those teachers willing to implement the peer instruction modality on their physics lessons.

**Keywords:** Mechanics of non-punctual systems; Undergraduate level; Teaching and learning; Peer instruction; Conceptual questions; TIC.

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio mecánico de sistemas físicos no puntuales presenta dificultades a los estudiantes del ciclo inicial universitario. El origen de la mismas se debe, entre otras cosas, al hecho de tener que conceptualizar magnitudes físicas vectoriales perpendiculares al plano de movimiento del sistema, tales como la velocidad y aceleración angulares (Menikhein y otros, 2012 y 2009; Cámara y Giorgi, 2000), el momento de

fuerza y el momento cinético (que además dependen del punto elegido como referencia para evaluarlos), así como también otro tipo de magnitudes como el momento de inercia, que generalmente se utiliza como cantidad escalar (Cámara y Giorgi, 2000), y nuevas magnitudes escalares como el trabajo del momento de fuerza y la energía cinética de rotación.

La experiencia didáctica de los autores permite decir que los estudiantes presentan dificultades frente a la transición conceptual que conlleva el tratamiento de la segunda ley de Newton, desde su aplicación a sistemas físicos puntuales hasta su aplicación en sistemas no puntuales.

Al respecto, cabe señalar que la modelización de un sistema físico como partícula en dinámica implica dibujar el diagrama del cuerpo libre con todas las fuerzas concurrentes en un punto (la partícula), de manera que no se consideran los efectos de rotación. Cuando se avanza en el estudio dinámico de sistemas con distribuciones espaciales de masa no resulta inmediato para los estudiantes que la física de lo que en los temas introductorios se denominaba partícula ahora pasa a ser la física del centro de masa de un sistema (discreto o continuo) de partículas. Esto se ve agravado según los resultados arrojados por un estudio sobre libros de texto de uso generalizado en el ciclo inicial universitario, llevado a cabo por Giorgi y otros (2014), en el que se encontró que pocos autores aluden que dicha partícula es el centro de masa del sistema. Pareciera que los autores de estos libros dan por sentado que al tratar sistemas físicos no puntuales serán los mismos estudiantes quienes conceptualicen el hecho de que “la partícula” es el centro de masa. Es decir, dan por entendido que el conocimiento de la fuerza neta que actúa sobre un sistema másico (puntual primero y no puntual después) brinda únicamente información acerca del estado de movimiento del centro de masa del sistema. Para completar el estudio del movimiento del sistema alrededor de un eje que pasa por el centro de masa se debe contemplar, además, el torque neto de fuerzas externas alrededor de dicho eje.

Con el fin de promover en los estudiantes la conceptualización de magnitudes físicas asociadas a la mecánica de sistemas físicos no puntuales se implementaron actividades en el marco de la modalidad de enseñanza desarrollada por Erik Mazur (1997), denominada *instrucción entre pares* (IP), en el contexto del cursado de la asignatura Física I, correspondiente al ciclo inicial de las carreras científico-tecnológicas que se ofrecen en la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Esta modalidad ya ha sido descrita en un trabajo anterior por Budini y otros (2016).

Mazur (1997) señala su preocupación ante el hecho de que los estudiantes pueden desempeñarse adecuadamente en la resolución de problemas numéricos sin que esto garantice que los mismos comprendan realmente los conceptos físicos involucrados. Este investigador encontró que estudiantes que podían resolver adecuadamente problemas numéricos o cuantitativos que involucran un determinado concepto no fueron capaces de contestar preguntas de tipo cualitativas cuyas respuestas implicaban aplicar el mismo concepto. A partir de esto el investigador propuso generar instancias de aprendizaje más propicias para que los estudiantes aprendan física conceptualmente, en contraposición al mero hecho de aplicar fórmulas aprendidas de memoria de manera algorítmica y, de lo cual surgió la modalidad de IP. La base de esta modalidad de enseñanza consiste en que los estudiantes aprendan, interaccionando principalmente con compañeros (o pares) y con el docente, a manejar conceptos y analizar situaciones desde un punto de vista conceptual o cualitativo, desalentando el uso de fórmulas en las que sólo se deben reemplazar números para obtener un resultado numérico determinado.

El objetivo general de la aplicación de la *instrucción entre pares* en el contexto descrito consiste en conocer si con esta modalidad de enseñanza, basada en instancias de aprendizaje colaborativas que involucran actividades de manejo conceptual de los contenidos de Física I, mejora el desempeño académico de los estudiantes en la asignatura.

En un trabajo anterior se informaron resultados obtenidos de la implementación de la IP en clases en las que se abordaron contenidos de cinemática del punto (Budini y otros, 2016). En este trabajo se busca describir actividades sobre mecánica de sistemas físicos no puntuales, implementadas según la modalidad IP, y socializar no sólo los resultados alcanzados en el desempeño de los estudiantes sino también qué aspectos deben tenerse en consideración por parte de los docentes a la hora de implementarla.

Las actividades estuvieron centradas en la formulación de las denominadas *preguntas conceptuales*, que conforman la base metodológica de la IP, las cuales fueron diseñadas por Mazur (1997) para estudiantes de cursos de física introductoria. Se seleccionaron tres preguntas que involucran conceptos físicos básicos, en el contexto en el que fueron aplicadas, relacionados con mecánica de sistemas físicos no puntuales. Se señalan algunas ventajas y advertencias que podrían ser de utilidad para los docentes interesados en implementar dicha modalidad en sus clases de física.

## II. MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS

Para que el aprendizaje sea significativo los estudiantes deben desarrollar las capacidades que les permitan transformar y reconstruir los conocimientos que reciben. En este sentido, la enseñanza de la física debe promover en los mismos la comprensión de los contenidos de manera tal que puedan aplicarlos en situaciones diversas.

Martínez Narváez (2008), en su trabajo sobre la teoría psicológica de Vygotsky, destaca que la misma se centra en la actividad del sujeto considerando que el mismo responde a los estímulos transformándolos. Para este psicólogo la influencia del contexto es determinante en el desarrollo del sujeto y sostiene que el contexto social influye fuertemente en el aprendizaje, en cómo se piensa y en lo que se piensa, formando parte del proceso de desarrollo y moldeando los procesos cognitivos. Según Vygotsky (1989), la concepción del desarrollo sobre las funciones psicológicas superiores aparece primero en el plano social, como función compartida entre dos personas (el sujeto y el *otro*), y en un segundo momento como función del sujeto, un solo individuo. La transición se logra a través de las condiciones favorables del contexto y de la acción de los *otros*, así como también por la formación que ya posee el sujeto como consecuencia de la educación y experiencias anteriores. Esta compleja relación hace referencia a la categoría *zona de desarrollo próximo*, definida por este psicólogo como la distancia entre el nivel real de desarrollo del sujeto, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema en colaboración con, o bajo la guía de, *otro* (Vygotsky, 1989). En este análisis se puede apreciar el papel mediador esencial no sólo de los docentes, sino también de los tipos de estrategias didácticas que utilizan en los procesos de enseñanza, siendo en este sentido las estrategias que involucran instancias de aprendizaje colaborativas unas de las que se espera que propicien más la conceptualización de contenidos por parte de los alumnos.

La forma de trabajar del docente es determinante, ya que el mismo debería brindar el apoyo y las condiciones necesarias para que los sujetos puedan desarrollar, y continúen desarrollando consecuentemente, sus potencialidades. Siendo el que aprende un ser que está en permanente actividad, son los educadores a quienes les correspondería actuar, propiciándole sus potencialidades de manera que pueda alcanzar su propio desarrollo a través de su propio aprendizaje.

La apropiación de los conocimientos como factor esencial en el desarrollo del sujeto debe ser concebida como un proceso en el que resulta indispensable la participación activa del mismo; en este proceso el sujeto no solo interactúa con los objetos materiales y culturales sino que está inmerso en un proceso de interrelación permanente y activa con otros sujetos que lo rodean: docentes, compañeros, etc. En ese sentido es de destacar la importancia de las interrelaciones en el estudiante, la comunicación que establece con los docentes y compañeros; este proceso de apropiación, de asimilación activa, es un medio esencial para su formación. Los docentes y compañeros se constituyen en los mediadores fundamentales que promueven, a través de procesos interpersonales, que el sujeto se apropie de esos conocimientos.

En el contexto del aprendizaje de las ciencias la propuesta constructivista de Ausubel, Novak y Hanesian (1991) se basa en que el estudiante construya representaciones sobre las que pueda operar en diferentes situaciones y no recurrir a la reproducción memorística de definiciones y al uso de fórmulas. Plantean lo que llaman la interiorización o asimilación de conceptos, que se da en los estudiantes por medio de la instrucción, con base en los conceptos previamente adquiridos por los mismos en sus relaciones con el medio circundante. Este proceso da lugar a la construcción de nuevas representaciones que, se espera, sean más cercanas a las aceptadas por la comunidad científica. Sostienen que no toda situación de aprendizaje, sea en el contexto de educación formal o no, puede resultar significativa al sujeto. Es decir, no siempre los procesos de enseñanza conducen a un aprendizaje significativo. El sujeto tendrá este tipo de aprendizaje cuando pueda incorporar la información que recibe a las estructuras de conocimiento que posee, es decir cuando el nuevo material adquiere significado para el sujeto a partir de sus conocimientos anteriores.

Por su parte, como se dijo anteriormente, Vygotsky (1989) sostiene que cualquier función en el desarrollo del sujeto aparece en escena dos veces, en dos planos: primero como algo social, después como algo psicológico; primero como una categoría interpersonal, después dentro del sujeto como una categoría intrapersonal. Los aportes de la teoría vygotskiana a la concepción del proceso educativo son indiscutibles. La enseñanza debe tener en cuenta el desarrollo alcanzado por el sujeto, y se debe proyectar hacia lo que el sujeto debe lograr en el futuro como producto de este propio proceso; es decir, haciendo realidad las posibilidades que se expresan en la llamada *zona de desarrollo próximo*.

La propia actividad del sujeto en interacción social resulta un elemento fundamental a tener en consideración en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por una parte, el sujeto necesita orientación del docente y, por la otra, él necesita hacer, participar activamente, para desarrollar sus capacidades. En el proceso de interacción y actividad en colaboración con los *otros* ocurre la apropiación del conocimiento.

En concordancia con las ideas de Vigotsky (1989) y Ausubel y otros (1991), los resultados derivados de la investigación sobre la enseñanza de la física muestran la conveniencia de que los estudiantes se involucren activamente en su proceso de aprendizaje, en el contexto de la construcción de su conocimiento (Redish, 2003; Sokoloff y Thornton, 2004; Camilloni, 2012). Esta visión sostiene que los conceptos se instauran en la estructura cognitiva del estudiante y brindan apoyo a las nuevas ideas, sirven de anclaje, permitiendo que el nuevo conocimiento no sea adquirido de manera memorística. La meta de la actividad de aprendizaje es, en este sentido, la adquisición de un cuerpo claro, estable y organizado de conocimientos. Una vez adquirido este conocimiento, la nueva estructura cognoscitiva es la variable más importante que influye en la capacidad del estudiante para adquirir conocimientos nuevos dentro del mismo campo.

Una visión más reciente del aprendizaje, en concordancia con lo anterior, establece que el objetivo de la enseñanza puede ser visto a través de una *reconstrucción conceptual* por parte de los estudiantes (Kattmann, 2008, citado por Treagust y Duit, 2009). Coincidiendo con Ausubel (1991), este proceso denota itinerarios de aprendizaje de los estudiantes desde concepciones anteriores a la enseñanza, hacia representaciones más cercanas a las consensuadas por la comunidad científica, el mismo se puede propiciar desde mecanismos de aprendizaje intencionales, suponiendo una interacción continua docente–estudiante, estudiante–estudiante y estudiante–materiales impartidos en los contextos de las distintas instancias de enseñanza. No se debe perder de vista que los docentes, a través de las distintas estrategias que implementan en sus clases, buscan finalmente propiciar en los estudiantes la internalización apropiada de los fenómenos físicos.

Por otro lado, la enseñanza y el aprendizaje de la física no pueden despegarse actualmente del empleo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). El docente, teniendo en cuenta la realidad del estudiante, debe orientar desde su disciplina actividades de aprendizaje que apunten al desarrollo de valores, habilidades y conocimientos significativos en una sociedad cada vez más tecnológica (Forinash y Wisman, 2014). Las TIC son herramientas poderosas de la cultura que pueden favorecer el aprendizaje en los estudiantes, cuando son usadas adecuadamente en los distintos contextos de enseñanza, generando motivación en los mismos al introducir elementos que son propios de su realidad.

Este trabajo se llevó a cabo en clases en las que se implementa la IP. Esta modalidad de enseñanza involucra instancias de *aprendizaje colaborativo* (AC), en las que se espera promover el aprendizaje del alumno basado en el trabajo en pequeños grupos, en los que los estudiantes, con diferentes niveles de habilidad, realizan actividades para mejorar su comprensión sobre un tema. De acuerdo con Vigotsky (1989) y con Kattmann (2008, citado por Treagust y Duit, 2009) el AC brinda un marco propicio para reconstruir conocimientos, y parte de concebir a la educación como un proceso de socio–construcción que permite hacer explícitas diferentes perspectivas para abordar un determinado problema, lo cual conlleva desarrollar capacidades interpersonales para reelaborar una nueva alternativa. Las clases basadas en AC son más amenas y más dinámicas que las tradicionales, ya que los estudiantes aprenden en un ambiente más relajado y flexible. Se coincide con Calzadilla (2002) en señalar que el AC no sólo conduce a los estudiantes al logro mutuo de un nuevo nivel de conocimiento sino también de satisfacción.

En el contexto de cursado de Física I en la FIQ–UNL, la modalidad IP se pone en marcha en *clases complementarias* (CC) de teoría no obligatorias (Budini y otros, 2016). Las mismas se realizan luego que los estudiantes hayan tenido un contacto previo con el tema a abordar, de manera de enfocar la clase en los conceptos físicos básicos más relevantes. Budini y otros (2016) ya señalaron que el diseño de estas clases requiere tener en cuenta los siguientes puntos claves: (1) identificar las cuestiones que más dificultades presentan a los estudiantes y/o elegir unos pocos conceptos físicos involucrados en las mismas para reforzar en las CC; (2) diseñar actividades interactivas alrededor de esos pocos conceptos que resulten motivadoras, es decir que sean participativas, amenas y colaborativas; (3) formular preguntas conceptuales (Mazur, 1997) alrededor de los conceptos que se desean reforzar, previamente seleccionadas, para que los estudiantes respondan en el momento.

Las CC se inician con una breve exposición del docente ( $\approx 20$  min), a modo de repaso de los conceptos a abordar. La IP se pone en marcha presentando a los estudiantes *preguntas conceptuales* acerca de los conceptos y relaciones cuyo aprendizaje se busca reforzar. En el trabajo de Budini y otros (2016) ya se mencionó que las *preguntas conceptuales* están diseñadas con respuestas de opción múltiple en la que sólo una es la correcta. Hay dos instancias en que estas preguntas son respondidas por los estudiantes, primero cada estudiante elige individualmente (sin interactuar con sus compañeros) una respuesta y una auto valoración del grado de confianza con el cual realiza la elección, la otra instancia es posterior a la discusión que el estudiante lleva a cabo con sus compañeros vecinos acerca de las posibles respuestas a la pregunta formulada, y se concreta a través de un nuevo registro de elección de respuesta y grado de confianza en el formulario web. A medida que los estudiantes responden estas preguntas, reciben en el momento inmediato posterior a la segunda instancia de elección la retroalimentación por parte del docente. Es decir que los estudiantes, cuentan con la información de las respuestas dadas por toda la clase, tanto individualmente como posteriormente a la discusión entre pares, inmediatamente después de la segunda

selección entre las posibles respuestas y el grado de confianza con la que el mismo estudiante valora su elección. Este aspecto es muy importante en la IP ya que permite que el docente, ante toda la clase y en el momento, pueda aclarar y discutir por qué una de las opciones de respuesta es la correcta y por qué las otras son incorrectas. Luego se continúa con la formulación de otra pregunta conceptual.

Con la implementación de estas clases se busca, por un lado, motivar a los estudiantes a aprender la física conceptualmente y, por otro, mejorar el desempeño académico de los mismos. Se señala como un aspecto marcadamente positivo el hecho que en las CC los estudiantes pueden reflexionar acerca de la retroalimentación que reciben por parte del docente en el momento para aclarar los conceptos y mejorar sus metas de aprendizaje.

La modalidad IP implica una mayor responsabilidad de parte de los estudiantes, ya que tienen que leer sobre el tema antes de asistir a las CC. Sin embargo, la experiencia de los autores de este trabajo permite afirmar que los estudiantes con algún grado de compromiso acerca de su aprendizaje no ofrecen resistencia a esta condición, con la convicción de que van a aprovechar mejor estas clases.

La experiencia dice que la manera de estudiar de los alumnos está fuertemente condicionada por la modalidad en que van a ser evaluados. Normalmente la mayoría de los exámenes de física son diseñados incorporando, por un lado, preguntas que involucran desarrollos teóricos (como ser deducciones, explicación de leyes y principios, definiciones, etc.) que pueden ser contestadas en base a conocimientos adquiridos de memoria y, por otro lado, problemas orientados más a poner a prueba los conocimientos matemáticos que las habilidades de pensamiento analítico, como son la mayoría de los presentes en los libros de texto. Es así que los alumnos condicionan su manera de estudiar para poder resolver este tipo de exámenes. La aplicación de esta modalidad de enseñanza IP aspira a más, a que los alumnos construyan conocimientos básicos que les sirvan de anclaje para la adquisición de conocimientos más complejos a lo largo de su formación universitaria, no para acordárselos de memoria sólo para aprobar la materia. Es así que se sostiene que son los docentes, a través de las estrategias didácticas que ponen en práctica en sus clases y las modalidades de evaluación a sus alumnos, los responsables de aspirar a lograr una mejor formación en los mismos, incorporando a sus diseños de clases estrategias no tradicionales de enseñanza como la IP, ya probada en otros contextos y que se encuentra en proceso de prueba en el marco de las actividades que se muestran en este trabajo.

### III. LA DINÁMICA DE LAS CLASES BASADAS EN LA *INSTRUCCIÓN ENTRE PARES*

El éxito de la modalidad IP depende en gran medida de la calidad y relevancia de las *preguntas conceptuales* descriptas por Budini y otros (2016). En el contexto del cursado de Física I en la FIQ, las actividades se desarrollan proyectando en una pantalla cada pregunta y las opciones posibles de respuestas. El docente lee en voz alta la pregunta para asegurarse de que no haya confusiones sobre el enunciado; los estudiantes cuentan con dos minutos para elegir individualmente (sin interactuar con sus compañeros) la opción que consideran correcta y registrarla en un formulario web accediendo al mismo a través de sus *smartphones* (es de señalar que la FIQ ofrece acceso a Internet gratuito a docentes y estudiantes, quien no posea *smartphone* lo puede realizar en las *notebooks* que la FIQ pone a disposición de los estudiantes). También, con la elección de una respuesta cada estudiante registra el nivel de confianza con el cual consideran que hacen su elección (Muy seguro, Todavía pensando y Poco seguro). Luego se otorgan alrededor de cinco minutos para que los estudiantes discutan con sus vecinos (discusión entre pares, propiamente dicha) acerca de qué opción seleccionaron y por qué, de tal manera que ellos mismos elaboren los argumentos que los llevaron a seleccionar tal o cual opción, en esta etapa es aconsejable que el docente intervenga para orientar las discusiones y recabar información acerca de cómo están pensando los estudiantes. Luego de esta discusión los estudiantes vuelven a registrar las respuestas y niveles de confianza en el formulario. De esta manera, aquellos que hayan cambiado de idea al terminar la discusión pueden modificar su respuesta y nivel de confianza. En una última instancia se muestra a toda la clase la proporción de respuestas y niveles de confianza, antes y después de la discusión entre ellos, y se discute entre todos (el docente guía la discusión ante la clase completa) cuál es la respuesta correcta y por qué.

La discusión de los estudiantes con sus compañeros luego de la primera elección obliga a los mismos a pensar a través de los argumentos que están siendo desarrollados por ellos mismos en grupos (AC) y les brinda (así como al profesor) una forma de evaluar el grado de comprensión que han logrado del concepto. Este nuevo formato de clase da lugar a una participación más activa por parte de los estudiantes, ya que al ser menos rígidas que las convencionales generan un ambiente más propicio para que los mismos exterioricen respuestas a veces inesperadas a las preguntas conceptuales.

El uso de formularios web a los que se pueden acceder a través de dispositivos móviles resulta muy eficiente para tener un panorama inmediato de la distribución de respuestas y niveles de confianza. Esto también permite cuantificar la eficacia de la discusión entre compañeros. Además de la ventaja consisten-

te en que los estudiantes puedan contar con realimentación inmediata por parte del docente, es importante porque, por un lado el estudiante puede aclarar sus dudas en el momento, y por otro quedan registros de las opciones elegidas por los estudiantes antes y después de las discusiones entre ellos que pueden ser provechosos para el docente. Así, este método genera un enorme cuerpo de datos.

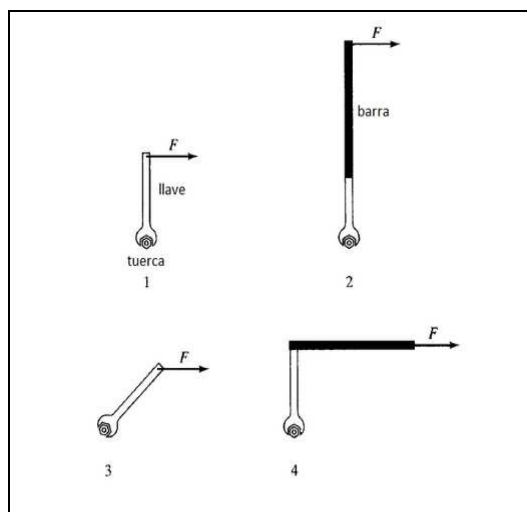
La experiencia de Mazur (1997) demostró que a través de la IP siempre hay un aumento, y nunca una disminución, en el porcentaje de respuestas correctas y también en el grado de confianza. Sin embargo, la aplicación de la IP en la asignatura Física I de la FIQ-UNL en algunas ocasiones ha arrojado resultados que merecen ser advertidos a los docentes interesados en aplicar esta modalidad de enseñanza. En este trabajo se pretende socializar resultados derivados de la aplicación de estrategias basadas en la IP en el abordaje de contenidos relacionados con mecánica de sistemas físicos no puntuales y alertar a los docentes interesados en aplicarla en sus clases de física acerca de algunas ventajas e inconvenientes de interés didáctico derivados de su aplicación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan resultados obtenidos de implementar la modalidad IP en una CC a través de la formulación a los estudiantes de tres preguntas conceptuales sobre mecánica de sistemas físicos no puntuales, con diferentes grados de dificultad, que fueron extraídas del libro de Mazur (1997), incluyendo las opciones de respuestas y gráficos, y traducidas *ad hoc*.

##### A. Pregunta 1

La primera pregunta trató sobre el concepto de momento de fuerza. Se planteó la siguiente situación: “Se usa una llave de boca para intentar aflojar una tuerca vieja y oxidada. ¿Cuál de los métodos mostrados es más efectivo para aflojar la tuerca? Listarlos en orden desde el más eficiente al menos eficiente”. En la Fig. 1 se muestran las distintas opciones. El método más adecuado es el 2, mientras que el orden en grado creciente de dificultad para aflojar la tuerca es 2–1–4–3.



**FIGURA 1.** Distintas situaciones para aflojar una tuerca (pregunta conceptual de la página 146 de Mazur, 1997).

Los resultados registrados por los ( $n = 19$ ) estudiantes al trabajar esta pregunta bajo la modalidad de IP mostraron que antes de la discusión entre pares el 68,4% de los estudiantes optó por la situación 2. El 47,4% de los estudiantes lo hizo muy seguro y un 42,1% todavía pensando. Estos resultados se presentan en términos absolutos en la Fig. 2.

Luego de la discusión entre ellos el porcentaje de opciones correctas subió al 78,9% con un porcentaje de 66,7% de estudiantes muy seguros y un 33,3% todavía pensando. Se registró un aumento en el porcentaje de respuestas correctas luego de la discusión entre pares, no obstante, es de destacar que lo que se considera más valioso derivado de esta actividad consistió en el aumento que se observa en la confianza con la que se dieron las respuestas. Al hecho del aumento del porcentaje de respuestas dadas con mucha seguridad, se suma que ningún estudiante contestó “*poco seguro*”.

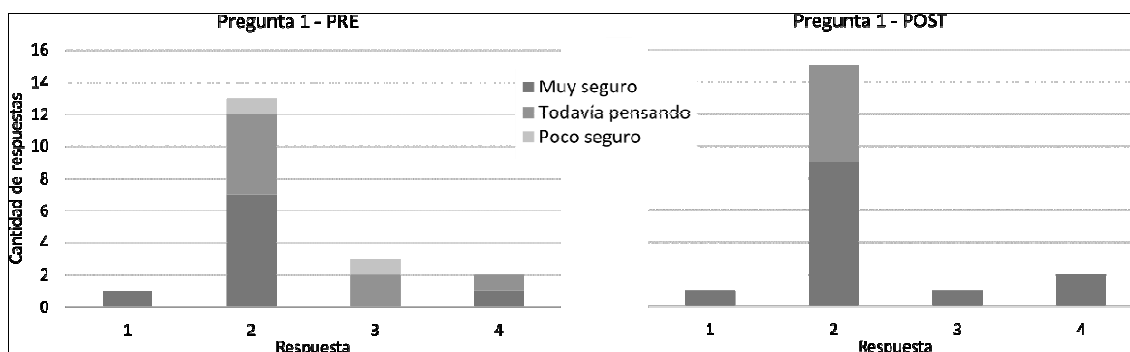


FIGURA 2. Resultados obtenidos antes (izquierda) y después (derecha) de la implementación de la IP para la primera pregunta presentada a los estudiantes. Los grises representan el nivel de confianza en la respuesta dada.

**B. Pregunta 2**

A continuación se formuló una pregunta relacionada con la situación que se muestra en la figura 3:

*Sobre una mancuerna, formada por una varilla con dos masas en sus extremos, se aplica una fuerza durante un intervalo de tiempo  $t$ . Primero se aplica como se muestra en (a) y luego como se muestra en (b). ¿En qué caso el centro de masa de la mancuerna adquiere mayor velocidad?*

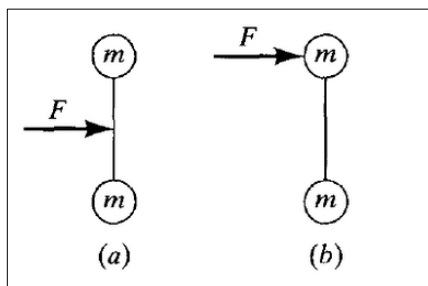


FIGURA 3. Se aplica una fuerza a una mancuerna de dos manera diferentes (pregunta conceptual de la página 146 de Mazur, 1997).

Las opciones de respuestas fueron: “en (a)”; “en (b)”; “No hay diferencia”; y “La respuesta depende de la inercia rotacional de la mancuerna”. La respuesta correcta consiste en que no hay diferencia, ya que se pregunta por el centro de masa de la mancuerna para lo cual basta con analizar la fuerza externa neta aplicada. Debido a que la fuerza actúa durante el mismo intervalo de tiempo en ambos casos el cambio de cantidad de movimiento del centro de masa del sistema es el mismo, entonces la velocidad del centro de masa es igual en ambos casos. Se registraron 15 respuestas.

La respuesta individual más elegida fue la opción (a) con un porcentaje del 66,7%, sólo el 13,3% contestó que no hay diferencia. Cabe señalar que respecto del grado de confianza, sólo un 33,3% de alumnos contestó de manera muy segura y la mayoría (60%) todavía pensando.

Si bien resultó desalentador que luego de la discusión, por un lado, el porcentaje de opciones de la respuesta (a) ascendió al 80% y el porcentaje de respuestas correctas bajó al 6,7%, por otro, teniendo en cuenta al grado de confianza, un 50% de alumnos contestó de manera muy segura, sólo un 28,6% todavía pensando y un 21,4% poco seguro; las repuestas obtenidas dieron lugar, en el momento, a trabajar la segunda ley de Newton aplicada a sistemas físicos no puntuales con los estudiantes.

Estos resultados, que se presentan en términos absolutos en la Fig. 4, demostraron que los estudiantes no habían conceptualizado aún la segunda ley de Newton aplicada a sistemas de partículas. Luego de la discusión con la intervención del docente respecto a la situación abordada, se continuó con la pregunta siguiente.

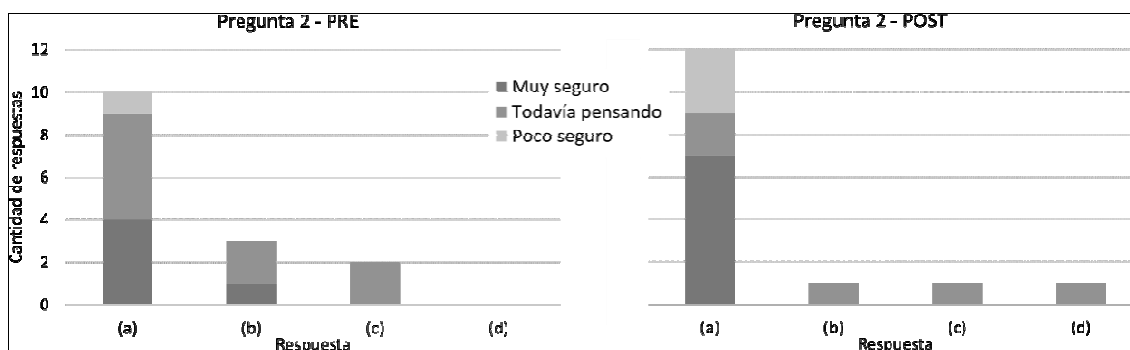


FIGURA 4. Resultados obtenidos antes (izquierda) y después (derecha) de la implementación de la IP para la segunda pregunta presentada a los estudiantes. Los grises representan el nivel de confianza en la respuesta dada.

### C. Pregunta 3

Esta pregunta (Mazur, 1997, p. 147) versó sobre la misma situación mostrada en la pregunta anterior y consistió en responder sobre el caso en el que la mancuerna adquiere la mayor energía. La opción correcta es la (b) dado que al trabajo de la fuerza  $F$  se suma el trabajo del momento de  $F$ . Si las velocidades de centro de masa son las mismas, las energías cinéticas del centro de masa deben ser las mismas, pero en el caso (b) también existe trabajo del momento de la fuerza que hace que el sistema varíe su estado de rotación, por lo que también adquiere energía cinética de rotación.

En las respuestas individuales ( $n= 15$ ) se observó un 46,7% de aciertos, y 33,3% contestó que no hay diferencia. Un 40% de las respuestas dadas fue con mucha seguridad, un 33,3% todavía pensando y un 26,7% poco seguro. Estos resultados se presentan en términos absolutos en la Fig. 5.

Luego de la discusión entre pares el porcentaje de aciertos aumentó a 66,7% y se mantuvo el 33,3% restante de respuestas que consideraban que no había diferencia. También resultó algo más alto el porcentaje de estudiantes que contestó muy seguro, que en esta instancia fue de 46,7%, y la misma proporción de alumnos todavía pensando.

En esta pregunta se observó un notable aumento de respuestas acertadas con un pequeño aumento en el porcentaje de alumnos que contestó de manera muy segura. El posible aumento de respuestas correctas pudo verse afectado por la discusión de la pregunta anterior en la que los estudiantes analizaron que la rapidez del centro de masa es la misma y que en este caso el sistema adquiere también energía cinética de rotación.

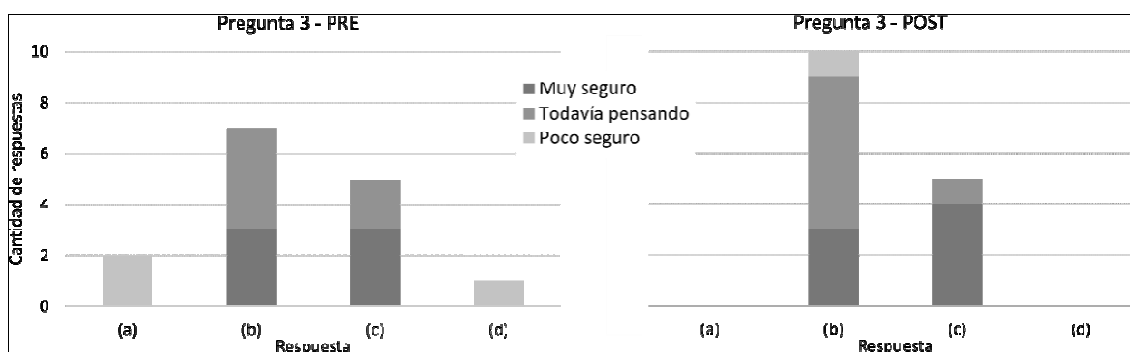


FIGURA 5. Resultados obtenidos antes (izquierda) y después (derecha) de la implementación de la IP para la tercera pregunta presentada a los estudiantes. Los grises representan el nivel de confianza en la respuesta dada.

## V. CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS PARA LA ENSEÑANZA

En un curso de física introductoria, dictado en la FIQ–UNL, se implementó la modalidad de enseñanza con instancias de aprendizaje colaborativo denominada *instrucción entre pares*, que fue probada con buenos resultados en universidades estadounidenses.

A partir de las preguntas formuladas los estudiantes trabajaron sobre distintos conceptos físicos asociados a la mecánica de sistemas físicos no puntuales, como el momento de fuerza, la segunda ley de Newton aplicada a un sistema físico con distribución de masa, el trabajo de momento de fuerza y la energía cinética de rotación.



Se considera un aspecto positivo el hecho consistente en que en las clases en las cuales se aplica la modalidad IP se pueda contar con TIC como medios que permiten que los estudiantes tengan explicaciones inmediatas acerca de las opciones de respuestas correctas e incorrectas y puedan reflexionar en el momento acerca de las opciones que ellos mismos eligieron antes y luego de la discusión con sus compañeros.

Del análisis de los resultados mostrados se acuerda en que a partir de la aplicación de dicha modalidad se consigue que ante una pregunta conceptual los estudiantes mejoren sus respuestas y niveles de confianza con la discusión entre pares.

Los casos en los que lo anterior no ocurre, como en la segunda pregunta formulada, pueden destinarse como disparadores para abordar otras preguntas conceptuales como la tercera. Luego de la discusión de la segunda pregunta con la intervención del docente se avanzó en el tratamiento del trabajo de momento de fuerza. Respecto a este último concepto se señala que en muchos de los problemas tradicionales de cuerpos redondos en roto-traslación, generalmente se considera con fines simplificadores que en la rodadura sin deslizamiento la fuerza de rozamiento “no trabaja”. Entrando en detalle en la conceptualización de este aspecto, cabe mencionar que lo que ocurre es que se puede afirmar lo anterior porque se compensa el trabajo de la fuerza de rozamiento con el trabajo del momento de dicha fuerza. Se sostiene que esta aclaración a la hora de abordar problemas del tipo de los mencionados permite a los alumnos construir representaciones más abarcadoras acerca del comportamiento de la fuerza de rozamiento en sistemas en roto-traslación sin deslizamiento.

No obstante, cabe destacar que hubo casos de estudiantes que luego de la discusión cambiaron sus respuestas correctas a incorrectas. En estos casos resulta crucial que el docente pueda intervenir inmediatamente, lo cual se pudo concretar gracias a la rápida retroalimentación que permitió el uso de formularios digitales para registrar las respuestas.

Dado que los resultados mostrados se derivan de la aplicación de la nueva modalidad en una clase, se concluye que la misma resulta beneficiosa para los estudiantes a corto plazo. Se espera que estos resultados se reflejen en las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas formuladas en las distintas instancias de evaluación a lo largo del cursado de la asignatura, así como también en la promoción final de la misma.

Por último, ya que con la discusión entre pares se dieron casos de migraciones de respuestas correctas a incorrectas, se enfatiza en que es de suma importancia la inmediata retroalimentación del docente en la discusión final con los estudiantes para aclarar las respuestas en el momento.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo en el marco del proyecto CAI+D–UNL, código: 50120150100122LI.

## REFERENCIAS

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1991). *Psicología educacional, un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

Budini, N., Giorgi, S., Sarmiento, L., Cámara, C., Carreri, R., Marino, L. y Gómez, C. (2016). Implementación de actividades colaborativas en las clases de Física del ciclo inicial universitario, *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(Extra), 187–195.

Calzadilla, M. E. (2002). Aprendizaje colaborativo y tecnologías de la información y la comunicación, *Revista Iberoamericana de Educación*, 1(10), 1–10.

Cámara, C. y Giorgi, S. (2000). Las dificultades de los estudiantes universitarios en el estudio de la dinámica del cuerpo rígido. Presentado en el *V Simposio de Investigación en Educación en Física*, 7–9 de Octubre, Santa Fe, Argentina.

Camilloni, A. (2012). La evaluación de trabajos elaborados en grupo, en Camilloni, A. (Ed.). *La Evaluación Significativa*, 151–176. Argentina: Paidós Educador.

Forinash, K. y Wisman, R. (2014). Using Technology to Provide an Interactive Learning Experience. Presentado en la *International Conference on Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice*, 7–12 de Julio, Palermo, Italia.

Giorgi, S., Cámara, C., Marino, L., Carreri, R. y Bonazzola, M. (2014). Análisis de contenidos de Mecánica en libros de texto utilizados en la enseñanza de la Física en el ciclo inicial de carreras universitarias, *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Extra), 145–156.

Martínez Narváez, J. (2008). La teoría del aprendizaje y desarrollo de Vygotsky, *Innovar en educación Revista de innovación pedagógica y curricular*. En: <https://innovemos.wordpress.com/2008/03/03/la-teoria-del-aprendizaje-y-desarrollo-de-vygotsky/>. Consulta en junio de 2017.

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction. A User's Manual*. Estados Unidos: Prentice Hall.

Menikhein, M. C., Aveleyra, E. y Pérez, F. (2009). Un enfoque para la enseñanza de la energía de un sistema de partículas, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 10(19), 21–28.

Menikhein, M. C., Aveleyra, E. y Pérez, F. (2012). Un enfoque para la enseñanza de la Cinemática de un cuerpo rígido, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 1(2), 27–36.

Redish, E. F. (2003). *Teaching Physics with the Physics Suite*. USA: John Wiley & Sons.

Sokoloff, D. y Thornton, R. (2004). *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics*. USA: John Wiley & Sons.

Treagust D. y Duit R. (2009). Multiple Perspectives of Conceptual Change in Science and the Challenges Ahead. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(2), 89–104.

Vigotsky, L. (1989). *El desarrollo de los procesos superiores*, Barcelona: Crítica.