

Aprendiendo Cálculo a través de la Instrucción por Pares Apoyada en el Uso de Clickers

Norma L. Miller

Universidad Tecnológica de Panamá

norma.miller@utp.ac.pa

Resumen— Este documento reporta nuestra experiencia introduciendo la metodología de instrucción por pares en la enseñanza del cálculo en la Universidad Tecnológica de Panamá. Durante las sesiones de instrucción por pares los estudiantes analizaron y discutieron preguntas conceptuales; capturaron sus respuestas mediante un sistema de votación inalámbrico (clickers). Nuestros resultados sugieren que la discusión entre pares de las preguntas planteadas, y posterior intervención del docente, contribuyó a aclarar dudas y subsanar errores conceptuales. Esta estrategia pedagógica resultó altamente motivadora para los estudiantes, induciéndolos a participar más en clase y a utilizar más su libro de texto, incluso para leer teoría. Como beneficio adicional, dos tercios de los estudiantes reportó que su interés por las matemáticas aumentó a raíz de haber tomado este curso.

Palabras claves— Aprendizaje del cálculo, clickers, enseñanza del cálculo, errores conceptuales, instrucción por pares, involucramiento interactivo.

Abstract— This document reports our experience introducing the methodology of peer instruction to the teaching of calculus at the Technological University of Panama. During the peer instruction sessions students analyzed and discussed conceptual questions; responses were captured via a wireless voting system (clickers). Our results suggest that the discussion among peers of the questions and subsequent

teacher intervention, contributed to the clarification of doubts and misconceptions. This pedagogical strategy turned out to be highly motivating for the students, inducing them to participate more in class and to use their textbook more, even to study theory. As an additional benefit, two thirds of the students reported that their interest in mathematics increased as a direct result of having taken this course.

Keywords— Learning calculus, clickers, teaching calculus, conceptual errors, peer instruction, interactive engagement.

Autor: Norma Miller

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 16 de julio de 2013

Fecha de aceptación: 27 de mayo de 2014

1. Introducción

Debido al considerable porcentaje de estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá que no aprueban cálculo, nos hemos dado a la tarea de monitorear, desde hace varios años, el desempeño de los estudiantes con el fin de comprender mejor las dificultades específicas que afrontan para aprobar esta asignatura. Nuestra preocupación por la falta de entendimiento de los

conceptos fundamentales del cálculo, incluso por aquellos estudiantes que han obtenido notas de A y B, nos ha llevado a experimentar en nuestras clases con diferentes recursos y estrategias pedagógicas, como gráficas dinámicas, simulaciones y applets, mapas conceptuales, y más recientemente, la instrucción por pares (en inglés, peer instruction). La motivación para implementar esta metodología surgió a raíz de la visita que realizara el Dr. Mazur a la UTP en marzo del 2010. Allí conocimos esta estrategia de enseñanza y los beneficios considerables obtenidos con ella en la enseñanza de la física. En la siguiente sección se resumen estos antecedentes.

1.1 Antecedentes de la instrucción por pares

En el campo de la física, el desarrollo y aplicación del “Inventario de Conceptos de Fuerza” (ICF) [1], una prueba que mide el entendimiento de los conceptos básicos sobre fuerza y movimiento que poseen los estudiantes, vino a poner de manifiesto una preocupante realidad: primero, los estudiantes llegan a los cursos de física con un sistema de creencias e intuiciones acerca del movimiento; segundo, este sistema lo utilizan para interpretar no solo los fenómenos físicos relacionados con el movimiento, sino los conceptos de mecánica Newtoniana que se enseñan en los cursos de física introductoria; y tercero, este conjunto de ideas previas, muchas de las cuales son erróneas, es altamente resistente a ser cambiado bajo un esquema convencional de enseñanza, donde el docente es protagonista, y los estudiantes son una audiencia básicamente pasiva; es decir, se observan pocos cambios en el entendimiento conceptual del estudiante, al pasar por los cursos, incluso en aquellos estudiantes que sacan notas altas [2].

Una manera de medir el beneficio que un estudiante obtiene de un curso es con la ganancia [3], una cantidad sin unidades que mide la mejora lograda por el estudiante respecto a la mejora posible, y se calcula mediante la fórmula:

$$G = \text{Prom Pos} - \text{Prom Pos}100\% - \text{Prom Pre} \quad (1)$$

En física, los estudios han mostrado que la ganancia promedio con metodologías de enseñanza convencionales es de 0.25, independientemente del estilo particular de enseñanza del docente [3]. Este pobre resultado se atribuye en gran parte al énfasis puesto en enseñar estrategias de resolución de problemas o “recetitas”, en detrimento de una comprensión sólida de los conceptos subyacentes [4]. Esta forma de enseñar redundante, además, en una atención dispersa y pocas oportunidades para pensar de forma crítica sobre los argumentos presentados. En cambio, el uso de estrategias de involucramiento interactivo en las que el estudiante tiene un mayor protagonismo en las clases, ha resultado en ganancias de entre 0.41 – 0.60 [3].

Una de las estrategias de involucramiento interactivo más exitosas ha sido la instrucción por pares descrita a continuación.

1.2 Instrucción por pares, ¿qué es?

Esta metodología, desarrollada por Mazur [4], toma su nombre de la interacción entre estudiantes (pares) que se genera en torno a preguntas conceptuales de opción múltiple, diseñadas para enfocar su atención sobre los conceptos fundamentales de la disciplina. Al hacer esto, se propicia la reflexión cuidadosa y detallada sobre los argumentos presentados por el docente, y se proveen oportunidades para que el estudiante evalúe la comprensión que ha logrado de los conceptos estudiados. Se fomentan igualmente actitudes propias de un científico como lo son formular preguntas, sopesar la validez de los argumentos de otros, y sustentar adecuadamente los propios.

Quizá el aspecto más retador para el docente de la implementación de esta metodología es la formulación de buenas preguntas conceptuales. Una buena pregunta conceptual se caracteriza por 1) enfocarse en un solo concepto a la vez, 2) tener alternativas adecuadas de respuesta, y 3) no responderse mediante la aplicación de una fórmula.

1.3 Los clickers

Existen diferentes maneras para que el estudiante consigne sus respuestas, desde tarjetones de cartoncillo hasta sistemas de votación electrónica, que constan de dispositivos conocidos como “clickers” (uno por estudiante) a través del cual se envía la respuesta, y un receptor USB que transmite en tiempo real las respuestas de los estudiantes a la computadora del docente. El software asociado recopila, procesa, y despliega las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas.

Más allá de resultar divertido, el uso de esta tecnología por sí sola, desprovista del ingrediente de discusión entre pares, no acarrea ningún beneficio en cuanto al aprendizaje de los conceptos [5]. No obstante esta forma de capturar la información posee múltiples ventajas de otra índole: despliega de forma rápida y exacta el recuento de respuestas; provee realimentación inmediata acerca del grado de comprensión sobre determinado concepto; propicia la participación de todos los estudiantes, al permitirles expresarse desde el anonimato sin temor a pasar pena en caso de equivocación; y genera una base de datos la cual es una rica fuente para la reflexión y la investigación sobre la labor docente.

1.4 Factores que inciden en el impacto de la instrucción por pares

Diversas investigaciones han encontrado algunos factores que inciden en el impacto de la instrucción por pares. Se ha demostrado, por ejemplo, que las prácticas evaluativas del docente inciden en el comportamiento de los estudiantes durante las sesiones de IPP [6]; en particular, en una situación de alto riesgo (“high-stakes”) para el estudiante, debido a que el docente penaliza respuestas incorrectas, las discusiones tienden a estar dominadas por estudiantes con mayor conocimiento del tema, y es menos probable que la votación refleje la diversidad de ideas que

realmente existe; lo contrario ocurre cuando no se penalizan los errores (“low-stakes”) [7]. Por otra parte, se ha encontrado que diferentes “culturas de aula” impuestas (consciente o inconscientemente) por los docentes, se reflejan en la percepción que tiene el estudiante acerca de la instrucción por pares y las prácticas intelectuales que el docente valora y fomenta [8].

1.5 Instrucción por pares en cálculo

En cálculo aún no se cuenta con una prueba validada y de amplio uso análoga al ICF de física. Se ha desarrollado un Inventario de Conceptos de Cálculo [9], pero el mismo está todavía en fase de validación. No obstante, se sabe de manera empírica que el aprendizaje del cálculo Adolece de problemas muy similares a los que aquejan al aprendizaje de la física. Esta situación, aunada al éxito logrado en la física con la instrucción por pares, ha llevado a docentes de matemáticas a experimentar también con esta metodología. En la literatura se registran algunas experiencias de implementación del IPP en cálculo. Por ejemplo, se ha estudiado [10] la discusión entre pares de “buenas preguntas”, y los resultados sugieren que el beneficio se correlaciona con la profundidad de razonamiento exigida por las preguntas. En este mismo estudio se observó un mayor beneficio para personas de minorías subrepresentadas en el grupo, así como un mejor desempeño en exámenes convencionales. En otro estudio [11], se ha encontrado que a través de la instrucción por pares los estudiantes participan más en clase y comprenden mejor el material.

1.6 Objetivo del estudio

El objetivo general de este estudio fue el de contribuir a mejorar el aprendizaje de los conceptos del cálculo de estudiantes de la UTP. Los objetivos específicos: a) obtener experiencia de primera mano (“know-how”) sobre la implementación de la instrucción por pares en la enseñanza del cálculo; b) evaluar los resultados de la implementación de esta

metodología; y c) compartir los conocimientos y habilidades adquiridas con colegas de matemáticas y de otras disciplinas.

Cabe señalar que el presente estudio se enmarca en el espíritu de un movimiento denominado *Scholarship of Teaching and Learning* [12], el cual busca revalorar la docencia universitaria haciéndola más similar al trabajo de investigación; en este sentido, un ejercicio de reflexión informal, se transforma en un análisis sistemático, y un aula de clase se convierte en el escenario o campo donde el docente realiza las indagaciones formales sobre su propia labor de enseñanza, con el propósito de hacer más transparente lo que hace para que el estudiante aprenda.

2. Metodología

El estudio se realizó en el marco de un curso de Cálculo II, materia impartida a estudiantes de primer año de ingeniería. Se trabajó con dos grupos: el grupo 1 tenía 27 estudiantes, de los cuales sólo 3 eran mujeres; el grupo 2, tenía 34 estudiantes, 13 mujeres.

En vista de la falta de una prueba análoga al ICF¹, el estudio no tuvo la típica estructura de pre-prueba / intervención / pos-prueba. Lo que se hizo fue aplicar, el primer día de clases, una encuesta anónima, en la que se pedía a los estudiantes, entre otras cosas, información acerca de su nivel de interés, participación, concentración, y dedicación en tiempo en su anterior curso de matemáticas (Cálculo I), así como sus expectativas para el uso de la tecnología en la clase de Cálculo II. Una versión ampliada de este cuestionario se aplicó nuevamente al final del curso. Se contó adicionalmente con los datos recopilados por el software vinculado a los clickers.

Al inicio del semestre se le asignó un clicker a cada estudiante, el cual utilizaría a lo largo de todo el curso; de esta manera, para cada grupo, los datos

¹ El autor [9] estuvo anuente a enviarnos el Inventario de Conceptos de Cálculo que ha desarrollado; sin embargo, no recibimos la prueba a tiempo para aplicarla en este estudio.

asociados a determinado clicker corresponderían siempre al mismo estudiante. Antes de realizar la primera actividad se hizo una pequeña práctica para familiarizar a los estudiantes con la mecánica de uso del dispositivo.

Se planearon un total de 5 actividades de IPP, de 5-7 preguntas cada una, y con duración de 2-hrs clase (90 minutos). En adición a estas actividades pre-programadas, el sistema de votación se utilizó también en modo de improvisación para sondear el entendimiento de conceptos que estaban siendo explicados en el momento. La implementación de las sesiones de IPP se apegó en gran medida a lo recomendado por Mazur, a saber:

- **Planteamiento:** El docente plantea la pregunta conceptual, y se asegura de que los estudiantes la comprendan.
- **Reflexión:** Los estudiantes reflexionan individualmente y en silencio durante 1 ½ - 2 minutos sobre la pregunta.
- **1ª votación:** Los estudiantes eligen y capturan su respuesta con los clickers. Los resultados se despliegan.
- **Discusión:** Los estudiantes identifican a un par cuya respuesta difiere de la propia, y durante 2-3 minutos intentan convencerse mutuamente de por qué la elección de cada uno es la correcta.
- **2ª votación:** Los estudiantes eligen y capturan su respuesta por segunda vez. Se despliegan los resultados.
- **Justificación:** El docente invita a los estudiantes a explicar el porqué de las opciones elegidas.
- **Explicación:** El docente interviene para aclarar dudas o malentendidos conceptuales que han sido expuestos por proceso.

Durante la etapa de discusión, se animaba a los estudiantes a pararse y moverse por el salón para buscar compañeros con quien compartir y argumentar sobre sus respuestas. Este período de “convenza al vecino” es la parte esencial de la estrategia.

Es importante señalar que para que la metodología funcione adecuadamente se requiere que aproximadamente la mitad del grupo haya elegido la respuesta correcta. Si la pregunta resulta demasiado difícil para el grupo y un alto porcentaje la saca mal, lo más recomendable es no proceder al período de discusión ni hacer una segunda votación, sino clarificar de una vez los errores de concepto que mantiene la mayor parte del grupo. Por el contrario, si la pregunta resultara demasiado simple y la mayoría del grupo la saca bien, tampoco se procede con la discusión sino que simplemente se pasa a la siguiente pregunta.

Quizá la parte que más trabajo lleva en la implementación de la instrucción por pares sea la formulación de buenas preguntas conceptuales. En comparación con las matemáticas, en física es relativamente fácil plantear una pregunta conceptual que permita explorar el entendimiento del estudiante. De hecho, existen recopilaciones de preguntas conceptuales listas para ser utilizadas por los docentes de física.² En cálculo, sin embargo, no hay tanto material disponible. Proyectos como el "GoodQuestions Project" de Cornell University [13] han puesto a disposición de los docentes de cálculo una serie de preguntas que, como se indica en el propio sitio Web, "estimulan la curiosidad y el interés del estudiante en la materia", "ofrecen la oportunidad de formular conjeturas y argumentar sobre su validez", y "permiten explorar sus conceptos previos y darse cuenta de y corregir errores arraigados". Para fines del presente estudio, este listado de preguntas fue un punto de partida útil. Sin embargo, no fue suficiente y hubo que desarrollar una serie de preguntas adicionales, cónsonas con las necesidades específicas de nuestro curso. El siguiente ejemplo contrasta una pregunta convencional, que pide aplicar el concepto de "punto crítico", con una pregunta conceptual que explora el entendimiento que el estudiante tiene de

² En [4], por ejemplo, se pueden encontrar listados de buenas preguntas conceptuales sobre diversos temas que se enseñan en una típica secuencia de física de primer y segundo año de universidad.

dicho concepto:

- **Pregunta convencional:** "Halle los puntos críticos de la función $f(x)$."
- **Pregunta conceptual:** "Si $f(x)$ tiene un punto crítico en c , entonces la función necesariamente tiene un máximo o un mínimo en c . (Cierto/Falso)".

Es esencial que a la hora de evaluar a los estudiantes las pruebas contengan tanto preguntas conceptuales como preguntas convencionales (problemas de desarrollo numérico), ya que los exámenes determinan en gran medida la manera en que el estudiante estudia, y por ende, lo que aprende y cómo lo aprende [4]. Si se quiere dar mayor relieve a lo conceptual, hay que evaluar lo conceptual. Contrario a lo que se podría pensar, las preguntas conceptuales no son más sencillas, y un buen desempeño en lo conceptual, tiende a estar asociado a un buen desempeño en lo convencional, pero no a la inversa. Mazur recomienda un balance entre el peso que se les dé en una prueba a los dos tipos de preguntas. En su opinión esto favorece un cambio de actitud desde el principio hacia el material y hacia el aprendizaje por parte del estudiante, a la vez que evita beneficiar a aquellos que, sin comprender los conceptos, logran resolver los problemas, por encima de aquellos que poseen una comprensión de la teoría subyacente.

3. Resultados

Desde el segundo semestre del 2010 y el primero del 2011, comenzamos a implementar, de manera exploratoria, la instrucción por pares, primero plasmando las respuestas en hojas de papel, y luego utilizando clickers, gracias al apoyo de la empresa EDUPAN que nos facilitó el equipo. Los datos que se presentan a continuación se obtuvieron durante el segundo semestre del año 2011.

Con el grupo 1 se realizaron las 5 sesiones de IPP que se tenían planificadas; con el grupo 2 sólo se pudieron realizar 4, debido al gran número de días festivos que se dieron durante el semestre. La tabla 1 presenta información acerca del desempeño

en las preguntas planteadas en las diferentes sesiones de IPP. Vemos que se plantearon un total de 37 preguntas, de las cuales 24 le fueron formuladas al grupo 1 y 13 al grupo 2. En la mayor parte de estas preguntas se completaron todos los pasos de la instrucción por pares descritos en la

sección anterior. En algunos casos, sin embargo, el nivel de la pregunta resultó demasiado elevado o demasiado simple para el grupo. En el grupo 1 hubo 3 preguntas que no pasaron a la etapa de discusión, y en el grupo 2 hubo 6.

Tabla 1. Resumen del desempeño durante las sesiones de instrucción por pares en dos grupos de cálculo II.

GRUPO	Actividades de IPP realizadas	Número de preguntas planteadas	Número de preguntas replanteadas después de IPP	% Preguntas con más respuestas correctas después de IPP	% Promedio de estudiantes con más respuestas correctas después de IPP
Grupo 1	5	24	21	81%	36% (27%)
Grupo 2	4	13	7	71%	12% (21%)
Combinado	9	37	28	79%	30% (27%)

Para el combinado de los dos grupos, el 79% de las preguntas sometidas a segunda votación registró un aumento en el número de respuestas correctas. Más aún, el promedio (ponderado por el número de estudiantes en cada grupo) del porcentaje de estudiantes que mejoró, por pregunta, fue de 30%, con una desviación estándar de 27%. El alto valor de la desviación estándar en ambos grupos revela la variación en el desempeño de los estudiantes entre una pregunta y otra, lo cual es un reflejo directo del nivel de dificultad de las preguntas. Igualmente, las

diferencias en porcentaje de estudiantes que mejoran, significativamente mayor para el grupo 1 que para el grupo 2 probablemente guarda relación con las características de los estudiantes de cada grupo.

En la figura 1 se ilustra el cambio positivo en el entendimiento de los estudiantes producto de la discusión entre pares en uno de los grupos. Nótese que, previo a la discusión, la respuesta correcta (la "A") no había sido la respuesta más votada; apenas 8 de 28 estudiantes eligieron esta opción.

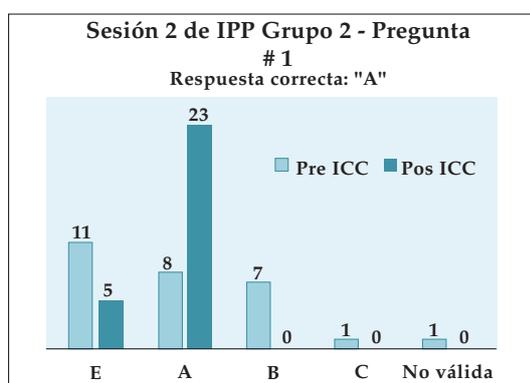


Figura 1. Ejemplo de resultados de votación antes y después del período de convencimiento entre pares.

3.1 Consideraciones y actitudes de los estudiantes antes y después del curso

En esta sección se presentan los resultados de los cuestionarios aplicados a los estudiantes al inicio y al final del curso, donde tuvieron la oportunidad de plasmar sus expectativas para, y percepciones sobre, la clase. Primeramente, con respecto al posible beneficio de usar diferentes tipos de tecnología en el curso de Cálculo II, un 70% de los estudiantes consideraba que "podría ayudarle a aprender mejor", 65% que "podría hacer la clase más interesante y divertida", y 28% que "podría hacer que participara más en clase". Apenas un

4% no esperaba ningún beneficio del uso de la tecnología. La percepción de los estudiantes al final del curso puede verse en la tabla 2.

Tabla 2. Opinión de los estudiantes al final de curso acerca del uso de tecnología en Cálculo II.

Para mí, el uso que hicimos de la tecnología en Cálculo II (selecciona todos los que apliquen):	
No aportó ningún beneficio	4%
Hizo la clase más interesante y divertida	80%
Me ayudó a aprender mejor	53%
Me motivó a participar más	45%
Otro (especifique)	0%
Total de respuestas	N=49

En comparación con lo que respondieron el primer día de clases, se ve que el uso de la tecnología superó las expectativas en cuanto a “hacer la clase más interesante y divertida” (80% versus 70%) y “motivar al estudiante a participar más” (45% versus 28%), pero interesantemente se quedó corta en el aspecto de “ayudar a aprender mejor” (53% versus 65%).

Habiendo experimentado diferentes tecnologías a lo largo del curso de Cálculo II, en el cuestionario final se les preguntó específicamente cuáles recomendarían al docente continuar usando en el futuro. Como puede verse en la tabla 3, en primer lugar, con un 90% de aceptación, están las actividades de instrucción por pares con clickers. Los estudiantes realmente respondieron con mucho entusiasmo a esta metodología, como se verá más adelante en sus comentarios. Por otra parte, también le asignaron un alto valor al hecho de poder mantenerse en contacto frecuente con el docente a través del correo electrónico, y de tener los materiales del curso disponibles en la plataforma Moodle.

Tabla 3. Opinión de los estudiantes sobre qué actividades debería seguir realizando el docente.

¿Cuáles de las siguientes actividades recomendarías que siga haciendo el docente? (selecciona todas las que consideras que te sirvieron):	
Hacer actividades de instrucción por pares con clickers	90%
Tener los documentos del curso disponibles a través de Moodle	80%
Utilizar un foro de preguntas en Moodle	76%
Sugerir páginas Web con simulaciones	61%
Utilizar correo electrónico para estar en contacto con los estudiantes	86%
Total de respuestas	N=49

Dándole seguimiento al tema de la instrucción por pares, a continuación se transcriben algunos de los comentarios expresados por los estudiantes sobre esta metodología de aprendizaje. Por el lado positivo, manifestaron que:

- Fue una forma muy interesante de comparar respuestas y de informarme de errores comunes.
- Hace bien didáctica la clase, y cambia la rutina de todos los días [de] estar solo mirando al tablero y escuchar, con eso tenemos la oportunidad que el docente sepa con mayor certeza las dudas y debilidades que tenemos. ¡No cualquiera lo hace!
- Puedo participar en las diferentes preguntas de una forma más divertida y entretenida y aprender más.
- De esta manera se resuelven las preguntas que a veces el estudiante no se atreve a preguntar.
- [La metodología de IPP] hace que las clases sean más entretenidas, menos monótonas y por supuesto el momento en el que discutimos las respuestas entre nosotros ayuda a tener un mayor dominio del tema debido que para defender o escoger la respuesta correcta se debe poder argumentar, y para saber argumentar hay que tener conocimientos del tema.
- Faltaron más sesiones de IPP

Como se podría esperar, hubo también algunos comentarios negativos o menos entusiastas como los siguientes:

- *En mi opinión [la metodología] no me gustó mucho, ya que a veces me enredaba más; prefiero la explicación del profesor sin hacer uso de eso.*
- *[La metodología] me ayudó a entender más, pero no me gustaba tener que pararme...*
- *Yo no la elegí porque a pesar de que son sesiones que me aclaran muchas dudas no me gusta estar hablando con las personas y sentirme que me equivoco, motivo por el cual no me paro y no converso con otra persona, pero SI ME HA AYUDADO A ENTENDER BASTANTE³ y más como lo ha hecho [el docente] este semestre que sube las preguntas en Moodle y las puedo buscar en Internet.*

Dos preguntas importantes planteadas a los estudiantes versaban acerca de su inclinación a hacer preguntas en clase, la una, y el uso que le dieron al libro de texto, la otra (tablas 4 y 5, respectivamente). Las respuestas a la primera pregunta dadas al final del curso de Cálculo II contrastan de manera importante con lo expresado al inicio (referido a su curso anterior, Cálculo I). Como lo revela la tabla 4, el porcentaje de estudiantes que “preguntaba mucho” aumentó en un 20% en Cálculo II respecto a Cálculo I. Es razonable suponer que este aumento provino del grupo que “preguntaba de vez en cuando”, dado que el porcentaje de estudiantes que “nunca preguntaba” no presentó cambios importantes (apenas una disminución del 4%).

Tabla 4. Disposición del estudiante a hacer preguntas en clase.

En este curso yo era de los que:		
	Cálculo I	Cálculo II
Preguntaba mucho	2%	22%
Preguntaba de vez en cuando	74%	57%
Nunca preguntaba	24%	20%
Total de respuestas	N=54	N=49

³ Mayúsculas son del estudiante.

En cuanto al uso del texto, el cambio más significativo fue “para leer la teoría”, con un aumento de 32%. Cabe suponer que este incremento está vinculado con el énfasis que se hizo en lo conceptual durante las sesiones de IPP, y reforzado en los exámenes parciales, los cuales tenían un porcentaje considerable de contenido conceptual. También se observa que prácticamente la totalidad de los estudiantes (96%) utilizaron su libro para “practicar problemas”, un incremento de 20% respecto al porcentaje en Cálculo I. Finalmente, disminuyó a 0% el porcentaje de estudiantes que nunca utilizaron su texto.

Tabla 5. Uso dado al libro de texto durante curso de cálculo II en comparación con curso anterior.

El libro de texto de Cálculo II lo utilicé para: (selecciona todos los que apliquen):		
	Cálculo I	Cálculo II
Practicar problemas	76%	96%
Estudiar los ejemplos hechos	74%	75%
Leer la teoría	43%	75%
No lo utilicé	4%	0%
Total de respuestas	N=54	N=48

Respecto al efecto que tuvo el curso en el interés por las matemáticas, un resultado muy satisfactorio fue el de que un 63% de los estudiantes indicaron que su interés por la materia aumentó a raíz de haber tomado el curso de cálculo II (tabla 6).

Tabla 6. Efecto del curso de cálculo II en el interés por las matemáticas.

A raíz de este curso mi interés por las matemáticas:	
Quedó igual que antes	33%
Aumentó	63%
Disminuyó	4%
Total de respuestas	N=48

4. Discusión

Los resultados de esta primera experiencia de implementación de la instrucción por pares en la UTP descritos en la sección anterior, corroboran en gran medida lo reportado en el estudio de Mazur [4] en cuanto al aumento del porcentaje de respuestas correctas en la segunda votación, luego que los estudiantes intercambiaran respuestas y argumentos. La principal diferencia es que Mazur encuentra que el porcentaje de respuestas correctas aumenta en el 100% de las preguntas planteadas, mientras que en nuestro estudio el aumento se dio en un 79% de las preguntas; en el 21% restante (6 de 28 preguntas) el porcentaje de respuestas correctas de hecho disminuyó. Sin embargo, cabe señalar que en 3 casos la disminución fue del 5% o menos, lo que equivale a 1 ó 2 personas sumándose a la respuesta incorrecta en un grupo de más de 20 estudiantes.

Por otra parte, el hecho de que, en promedio, el porcentaje de estudiantes que mejoraron después de la discusión resultara significativamente diferente para los dos grupos (36% para el grupo 1 y 12% para el grupo 2) sospechamos guarda relación con las características de los dos grupos: el grupo 1 proviene de una carrera con mayor exigencia matemática que el grupo 2, y por lo tanto suele atraer a estudiantes con mayor facilidad para esta disciplina.

Una crítica que se le podría formular a la estrategia de instrucción por pares es que los estudiantes realmente no cambian sus concepciones erradas, sino que simplemente optan por elegir la misma respuesta que aquellos pares considerados los más entendidos en la materia. La literatura indica que una forma de desincentivar este comportamiento es crear las condiciones para que la instrucción por pares sea una actividad de colaboración, en vez de competencia; y una actividad en la que predomine el esfuerzo por hacer sentido (entender), en vez de solamente buscar la respuesta correcta. Investigaciones

sobre el tema (ej., [6] y [7]) han demostrado que las prácticas evaluativas del docente tienen un gran impacto sobre el discurso entre estudiantes y la manera en que votan. En particular, prácticas evaluativas de bajo riesgo o de bajas repercusiones para el estudiante (*“low-stakes”*), favorecen mayor disensión en la discusión y mayor independencia en la votación. En nuestro estudio, le hicimos saber a los estudiantes desde el inicio (y lo reiteramos a lo largo del semestre) que la evaluación en las sesiones de IPP dependía únicamente de su participación, y no de elegir la respuesta correcta. Creemos que esto contribuyó a forjar un clima de franco y abierto debate en el aula.

Por otra parte, hubiese sido deseable contar con una herramienta, análoga al ICF de física, que aportase evidencia adicional de la efectividad del método. Como se mencionó anteriormente, existe un *“Inventario de Conceptos de Cálculo”*, y aunque la prueba aún no está validada, nuestra intención era aplicarla antes y después de la intervención. Infortunadamente, no fue posible hacerlo ya que no se pudo obtener la prueba a tiempo. No obstante, consideramos que los resultados de los cuestionarios, y especialmente los comentarios de los estudiantes, dan fe de la seriedad con que se tomaron las discusiones durante la implementación de la estrategia.

Las opiniones vertidas en los cuestionarios son reveladoras y conducen a algunas reflexiones importantes. Por ejemplo, el hecho de que las expectativas en cuanto a aprender mejor con la tecnología estaban algo infladas inicialmente, puede deberse a una tendencia a pensar que el mero hecho de usar tecnología en la educación redonda automáticamente en un mayor aprendizaje (una idea que Papert [14] llama *“tecnocentrismo”*), sin atención a cómo y para qué se utiliza esa tecnología. Una vez confrontados con determinada tecnología, sobre todo si se trata de *“herramientas para pensar”* (*mindtools*), el estudiante se ve obligado a realizar un esfuerzo importante; esto es

particularmente cierto cuando debe desaprender ideas previas erróneas, como suele ser el caso en matemáticas y física. En tal caso, el estudiante puede tener la impresión de no haber aprendido tanto – a pesar de haber estado más interesado, divertido, y participativo en la clase – cuando en realidad ha sido lo contrario: éstas son justamente las condiciones bajo las cuales el aprendizaje puede volverse realmente significativo para el estudiante.

Lo que resulta innegable es el impacto positivo que tuvo la estrategia de IPP implementada mediante el uso de clickers. Un 90% de los estudiantes recomendaron seguir trabajando con esta metodología. Incluso aquellos a quienes por algún motivo u otro no les agradaba, reconocían su valor pedagógico (como se aprecia en sus comentarios). Desde el punto de vista del docente, trabajar con el sistema de votación por clickers tuvo importantes beneficios: 1) favoreció la participación de todos los estudiantes; 2) permitió al docente tener realimentación inmediata sobre la efectividad de la enseñanza; 3) reveló errores de concepto y permitió corregirlos oportunamente; 4) contribuyó a un ambiente de cuestionamiento crítico y respetuoso a la diversidad de ideas planteadas; y 5) estimuló la búsqueda de argumentos válidos para la sustentación de las ideas.

A pesar de todas estas bondades, algunos colegas nos han manifestado su preocupación que durante el período de discusión pueda perderse el control sobre el grupo y volverse “un relajo”. En este sentido debemos decir que, nuestra experiencia, después de haber trabajado a lo largo de año y medio con 6 grupos diferentes de estudiantes de primer año, ha sido exactamente la opuesta. No solamente no se ha perdido en ningún momento el control de la situación, sino que son los propios estudiantes quienes inducen a algunos compañeros inquietos a comportarse de acuerdo a las reglas establecidas. La principal dificultad que tuvimos, si se le puede llamar así, fue conseguir que esperaran pacientemente una vez que habían votado, hasta

tanto iniciara el período de discusión; estaban ansiosos por compartir sus respuestas de una vez. También encontramos que, más que discutir en pares, tienden a formarse pequeños grupos de discusión. Habría que ver si este comportamiento guarda relación con la juventud de los estudiantes, la cultura gregaria del latinoamericano, o algún otro factor.

Otro aspecto fundamental para el aprendizaje es el relacionado con hacer preguntas, en particular preguntar en clase. Como regla general, son pocos los estudiantes que frecuentemente piden clarificación acerca de sus dudas, tal y como lo refleja el cuestionario inicial (2%). Con la implementación del IPP este porcentaje se incrementó hasta 22%, mientras que el de estudiantes que nunca preguntaban disminuyó un 4%. Consideramos que este cambio de actitud es de gran valor en el sentido de empoderar y comprometer al alumno cada vez más con su propio aprendizaje.

Cabe destacar también la importancia que le atribuyen a estar en comunicación con el docente (86%) y a tener disponibles en línea los materiales del curso (80%). Nuevamente, se trata de elementos que otorgan autonomía al estudiante y le transfieren la responsabilidad de hacerse cargo de su propio proceso de aprender.

Finalmente, es particularmente satisfactorio el dato de que para dos terceras partes de los estudiantes participantes, su interés por las matemáticas aumentó a raíz de su experiencia en este curso. Si bien se trata de estudiantes de ingeniería quienes, se presume, tienen una disposición positiva (o al menos no negativa) hacia la materia, el que 63% manifiesten un mayor interés como resultado del curso, y que para un 52% ese interés supere al de todas sus otras asignaturas, es sumamente alentador.

5. Conclusiones

El trabajo que hemos presentado consistió en implementar la metodología de instrucción por

pares en un curso de Cálculo II en la Universidad Tecnológica de Panamá. Nuestros resultados sugieren que las discusiones contextualizadas entre los estudiantes, en un entorno de bajo riesgo, mejoraron su comprensión acerca de importantes conceptos teóricos del cálculo. Para constatarlo de manera más rigurosa, en futuras iteraciones del trabajo se aplicaría el Inventario de Conceptos de Cálculo, o una prueba similar, al inicio y al final del curso. Por lo pronto, lo que no cabe duda es que la metodología resultó sumamente motivadora

para los estudiantes, quienes ven en la misma la posibilidad de aprender más, aclarar sus dudas, y divertirse en el camino.

6. Agradecimientos

El autor agradece a la empresa EDUPAN, por facilitar el equipo de clickers que hizo posible la realización de esta investigación. Gracias también a los estudiantes de los grupos participantes por su cooperación y su entusiasmo durante las sesiones de instrucción por pares.

Referencias Bibliográficas

- [1] D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, "Force Concept Inventory," *The Physics Teacher*, vol. 30, March 1992, pp. 141-158.
- [2] I. A. Halloun and D. Hestenes, "The initial knowledge state of college physics students," *Am. J. Phys.*, 53(11), November 1985, pp. 1043-1048.
- [3] R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *Am. J. Phys.*, 66(1), January 1998, pp. 64-74.
- [4] E. Mazur, *Peer instruction: A user's manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- [5] E. Judson and D. Sawada, "Learning from past and present: Electronic response systems in college lecture halls," *J. Comput. Math. Sci. Teach.*, vol. 21, 2002, pp. 167-181.
- [6] M. C. James, "The effect of grading incentive on student discourse in peer instruction," *Am. J. Phys.*, 74(8), 2006, pp. 689-691.
- [7] M. C. James, F. Barbieri, and P. Garcia, "What are they talking about? Lessons learned from a study of peer instruction," *Astron. Educ. Rev.*, vol. 7, issue 1, 2008, p. 37.
- [8] C. Turpen and N. D. Finkelstein, "The construction of different classroom norms during peer instruction: Students perceive differences," *Phys. Rev. ST Physics Ed. Research*, vol. 6, number 2, November 2010, p. 020123.
- [9] J. Epstein, "Development and validation of the calculus concept inventory," in *Proc. 9th Int. Conf. on Mathematics Education in a Global Community*, vol. 9, Charlotte, NC, 2007, pp. 165-170.
- [10] R. L. Miller, E. Santana-Vega, and M. S. Terrell, "Can good questions and peer discussion improve calculus instruction," *Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies*, vol. 16, number 3, 2006, pp. 193-203.
- [11] A. Lucas, "Using peer instruction and I-clickers to enhance student participation in calculus," *Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies*, vol. 19, issue 3, April 2009, pp. 219-231.
- [12] E. Boyer, *Scholarship reconsidered: Priorities of the professoriate*. Princeton, NJ: Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, 1990.
- [13] Mathematics Department, Cornell University, Good Questions Project, Cornell University. [Online]. Disponible: <http://www.math.cornell.edu/~GoodQuestions/materials.html>
- [14] S. Papert, "A Critique of Technocentrism in Thinking About the School of the Future," in *Children in an Information Age: Opportunities for Creativity, Innovation, and New Activities*, Sofia, Bulgaria, May 1987. [Online]. disponible: <http://www.papert.org/articles/ACritiqueofTechnocentrism.html>