

TUTORIAL + SIMULACIÓN

PARA ENSEÑAR CINEMÁTICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR

Autor: SUÁREZ SURATY, Mauricio Sebastián

Procedencia institucional: Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales
Universidad Nacional de San Luis (UNSL).

Dirección electrónica: profesormauriciosuarez@gmail.com

Eje Temático. Desafíos y alternativas en la enseñanza y el aprendizaje

Campo metodológico: investigación

Palabras Claves: movimiento circular, aprendizaje activo, aprendizaje conceptual, tutorial para física introductoria, simulación (TIC)

Resumen

En general, un movimiento puede clasificarse en lineal o curvilíneo. Dentro de este último, resulta de gran relevancia para la Física y el currículo de formación técnica, aquel donde la trayectoria descrita corresponde a una circunferencia; denominado movimiento circular. Fundamental en el estudio de cualquier máquina, y en la idealización de fenómenos naturales.

Tal relevancia no se refleja en el tratamiento habitual, que tiene este Tópico, en los planes de estudio, y en las clases de Física de Educación Secundaria. Pues, cuando se enseña, se lo hace de una forma tradicional, propiciando un aprendizaje pasivo, descontextualizado y memorístico del tema.

Este proyecto desarrolla la secuencia didáctica denominada: **Tutorial¹+ Simulación²**, como estrategia de Aprendizaje Activo, que pone énfasis en el rol del estudiante en el proceso de construcción de su propio conocimiento. Y pretende determinar, si tal secuencia favorece el Aprendizaje Conceptual del Movimiento Circular, en alumnos de un cuarto año de una escuela preuniversitaria. En contraste

¹ Con este término, se hace referencia al Tutorial denominado Movimiento Rotacional, y desarrollado, como estrategia de enseñanza para Física Introductoria, por L. C McDermott y P. S. Shaffer, & P.E.G., U. Washington. (1998).

² En cuanto a la simulación, se emplea una de las aplicaciones del Programa PHET Interactive Simulations, desarrollada por la Universidad de Colorado.

a una Metodología Tradicional de Enseñanza de la Física.

“Toda la vida es un círculo. Y, dentro de cada vida, hay círculos más pequeños. Cada siete años una parte de nuestra vida cierra un círculo. Nosotros comprendemos la vida en círculos...”

Pensamiento de los aborígenes Lakota

1. Introducción

Newton fue uno de los primeros en darse cuenta de la importancia del Movimiento Circular (Tipler, 2006). La misma, no solo radica en el estudio idealizado de la mecánica de los cielos, o de la naturaleza, si no que en realidad, está presente en casi todas las máquinas y herramientas que utilizamos en nuestra vida diaria. Pues, el movimiento circular es un logro humano, que nos permite producir trabajo de la manera muy eficiente, y divertirnos, experimentando los efectos de la aceleración en nuestros propios cuerpos.

Lo expuesto anteriormente, es sintetizado maravillosamente, por Mumford (1971) en *Técnica y Civilización*:

El movimiento circular, uno de los atributos más útiles y frecuentes de una máquina completamente perfeccionada es, cosa curiosa, uno de los movimientos menos observables en la naturaleza: incluso las estrellas no describen una órbita circular, y excepto los rotíferos, el hombre mismo, en algunas danzas y volteretas, es el exponente principal del movimiento rotatorio. (p.12)

Lamentablemente, el estudio del Movimiento Circular, casi no se tiene en cuenta, en las planificaciones y programas de Física, perteneciente al Ciclo Orientado de la Educación Secundaria (COES). Así por ejemplo, en solo 3 (tres), de los 10 (diez) espacios curriculares de Física que existen en la EIDFS, se contempla su estudio. Y en ocasiones, se lo deja de lado, cuando los tiempos no alcanzan, en desmedro de

otros tópicos de Física.

Investigaciones en Enseñanza de la Física, como las llevadas a cabo por Mashood y Singh (2012), sobre cinemática rotacional, señalan que a menudo, este tópico, recibe poca atención. Citando literalmente a estos investigadores:

La Cinemática Rotacional de la partícula plantea serias dificultades a los estudiantes como los maestros. Dificultades de los alumnos en la comprensión básica de los conceptos fundamentales de Mecánica Newtoniana como la velocidad (v) y aceleración (a), se han investigado repetidamente. Sin embargo, sus homólogos de rotación, velocidad angular (ω) y aceleración angular (α), permanece relativamente inexplorado. (p. 1)

La escasa importancia que se le da a este tópico fundamental de Física, trae consecuencias negativas en el corto y el largo plazo. Especialmente, si tenemos en cuenta que esta Institución (EIDFS) pertenece Universidad Nacional de San Juan.

Esta característica de EIDFS requiere que sus estudiantes obtengan no una formación técnica, sino también propedéutica, pues gran parte de sus egresados seguirán estudios de grado, relacionados con las ciencias exactas o la ingeniería.

Este problema, no es exclusivo de este Instituto Pre-Universitario. En dicho sentido, Benegas (2007) sostiene:

La realidad socioeducativa en muchos sistemas educativos, incluyendo el español y los de diversos países latinoamericanos, indica que existe un muy bajo nivel de logro de los estudiantes de ciencias que ingresan en la universidad, tanto en Matemáticas como en otras disciplinas científicas como la Física. (p.32)

Pero, tal vez, el problema más importante radica, no en lo que se enseña, o se deja de enseñar, si no en la manera que se lo hace habitualmente. Es decir, de una forma tradicional, que favorece el aprendizaje memorístico y repetitivo, la pasividad del alumno; que no tiene en cuenta sus ideas previas, motivaciones e intereses, ni el contexto en el que se desarrolla el mismo.

Benegas (2007), agrega que en los últimos 25 años, se han experimentados enormes avances en la comprensión de los temas de "Física Básica", y el desarrollo del curriculum para superarlas. Los trabajos sobre las concepciones alternativas que presentan los estudiantes, a través de diagnósticos especializado, han sido tomado como bases para desarrollar metodologías activas de aprendizaje, que han demostrados, en numerosas oportunidades, ser más efectivas que la instrucción tradicional.

De este modo, el siguiente Proyecto de Tesis plantea una propuesta didáctica, perteneciente a la Enseñanza para el Aprendizaje Activo (Active Learning), denominada Tutoriales para Física Introdutoria, desarrollada por el Grupo de Educación de la Física, que dirige Lillian McDermott, para los cursos introductorios de Física que se dictan en la Universidad de Washington en Seattle (USA). Cursos que han obtenido niveles de logros claramente superiores a los de las clases tradicionales.

Cabe destacar, que los Tutoriales presentan dos ventajas muy convenientes, para esta propuesta didáctica:

Primero, la disponibilidad en español, del Tutorial llamado Movimiento Rotacional, creado en 1998, por McDermott, Shaffer, y el Grupo de Educación de la Física, de la Universidad de Washington.

Segundo, la versatilidad y flexibilidad propia que demuestran, adaptándose a distintas programaciones didácticas; y complementándose con otras estrategias de Aprendizaje Activo; como el uso de Programas de Simulación en Física.

El Proyecto Tutorial + Simulación, introduce las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), en la Enseñanza de la Física del nivel secundario. “Hoy estamos frente a un nuevo paradigma, en una cultura transmediática, y digital definida por la participación, la horizontalidad, la adaptabilidad, y la ubicuidad” (Aristizábal, 2013, Educación y crisis. Perfil.com)

Por lo tanto, si se pretende desarrollar una propuesta didáctica activa, centrada en el alumno, es imperioso lograr. Como dice Aristizábal (2013), en el ensayo Educación y crisis:

Que los chicos participen, innoven y creen. Que dejen de ser meros transeúntes que pasan. Y la inserción, en todos los planos de la formación, de las TIC´s puede permitir que muchos, e incluso todos, alcancen el grado de participación en las relaciones de producción del conocimiento que siempre estuvo reservado a unos pocos. (Revista electrónica Perfil.com)

Cabe destacar, que en el ámbito de la Enseñanza de la Física, existe una gran cantidad de recursos TIC, que poseen una potencialidad inconmensurable. Solo basta mencionar, celulares con cámaras digitales y cronómetros, programas analizadores de movimiento, videos educativos, simuladores de fenómenos físicos con interactividades y test de comprensión, o programas de uso masivo para

procesar datos y construir gráficos, interfaces en las prácticas experimentales, laboratorios remotos, plataformas con foros y documentos colaborativos, etc. Y muchos de ellos, están al alcance de todos, pues poseen licencia libre cuando se emplean con fines educativos.

Sin embargo, hasta el momento son escasos los estudios serios que midieron el impacto de estas tecnologías en el aula, especialmente en el aprendizaje de la Física del Movimiento Circular.

Además, no puede dejarse de lado otro aspecto fundamental. Que son los lineamientos nacionales en el ámbito de la Educación. Que indudablemente apuntan a la inclusión de las TIC's en el aula, a través de distintas iniciativas, como el Plan Conectar Igual, el Portal Educar; con recursos y materiales para los profesores y alumnos, y programas de capacitación docente como la Especialización en TIC's, o el Programa Nacional de Fortalecimiento de las Ciencias Naturales, los canales de televisión como Encuentro, o Paka Paka, con sus contenidos educativos, o las muestras desarrolladas en Tecnópolis, entre otros; que denotan las políticas nacionales en educación.

Dicha, políticas se encuentran enmarcadas legalmente, en el Capítulo I Disposiciones Generales, en marco del Sistema Educativo Nacional, dado por la Ley Nacional de Educación, que establece: Desarrollar las capacidades necesarias para la comprensión y utilización inteligente y crítica de los nuevos lenguajes producidos en el campo de las tecnologías de la información y la comunicación.

El presente Proyecto de Tesis: Tutoriales + Simulación, contempla la normativa dispuesta en la Ley Nacional de Educación, al incluir las TIC's en su propuesta didáctica para la Enseñanza de los Conceptos Cinemáticos del Movimiento Circular.

Objetivos

Este Proyecto de Tesis, que complementa Tutorial + Simulación, como una estrategia didáctica, basada en el Aprendizaje Activo, para desarrollar en los estudiantes secundarios la comprensión de los conceptos fundamentales del Movimiento Circular; plantea lo siguiente:

Hipótesis de Trabajo

La Secuencia Didáctica: **Tutorial + Simulación**, favorece el Aprendizaje Conceptual en los estudiantes de cuarto año de la EIDFS, sobre el Movimiento Circular.

Objetivo General

Determinar si la Secuencia Didáctica: **Tutorial + Simulación**, favorece el Aprendizaje Conceptual en los estudiantes de cuarto año de la EIDFS, sobre el Movimiento Circular; en relación, a una Metodología Tradicional de Enseñanza en las Clases de Física.

Objetivos Específicos

Se espera que los estudiantes:

- Logren y manifiesten comprensión de los Conceptos Básicos del Movimiento Circular, luego de la implementación de la secuencia didáctica.
- Trabajen de forma activa y colaborativa en la construcción de sus propios conocimientos, a través de las actividades con Tutoriales y Simulaciones.

2. Referentes teóricos - conceptuales

Como estrategia de enseñanza para favorecer el aprendizaje conceptual del movimiento circular, se desarrolló una propuesta didáctica enmarcada en el Aprendizaje Activo.

Reciben este nombre las estrategias de aprendizaje, que introducen a los estudiantes en un Ciclo de Aprendizaje Constructivista, que comprende la experimentación directa de fenómenos físicos. Y comienza con la predicción, seguida por la discusión entre pares en el interior de grupos pequeños, luego la observación de la experiencia, y finalmente la comparación entre el resultado experimental y las predicciones. Benegas, et al. (2009)

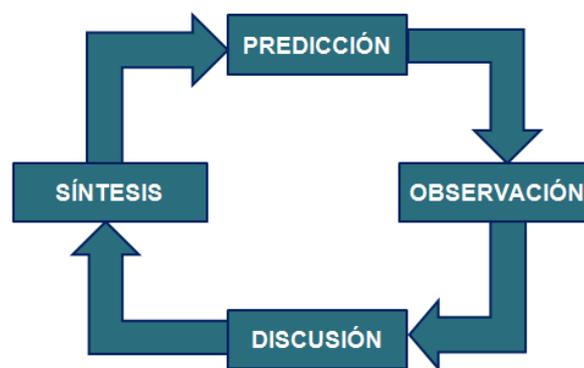


Figura 1. Ciclo de Aprendizaje Activo (PODS)

Fuente: BENEGAS, JULIO et al. (2009). *Aprendizaje Activo de la Física II: Mecánica*. 2^{do} Taller Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física: Mecánica, Córdoba, impreso en UNSL.

Este ciclo le permite, al estudiante, exponerte y compara sus concepciones acerca del mundo físico, que tenía antes de las clases, con las leyes de la física que se manifiestan durante la experiencia.

Las estrategias basadas en el Aprendizaje Activo, han demostrado un mejoramiento mensurable en la comprensión conceptual de la Física, reproducen el proceso científico en el aula, y ayudan al desarrollo de capacidades de razonamiento, en comparación con las prácticas tradicionales de enseñanza, que apuntan aprendizaje pasivo.

A continuación, se presenta un cuadro que establece algunos puntos de comparación entre ambos tipos de aprendizajes; pues se tendrán en cuenta en el diseño de las secuencias didácticas, del cuasi-experimento que plantea este Proyecto de Tesis. El cual consiste en el desarrollo de sendas Metodologías

Didácticas, es decir, el Aprendizaje Pasivo (o Tradicional) y el Aprendizaje Activo, a dos grupos de estudiantes, pertenecientes a dos cursos distintos, de cuarto año del Instituto Pre – Universitario Escuela Industrial Domingo Faustino Sarmiento, dependiente de la UNSJ.

APRENDIZAJE PASIVO	APRENDIZAJE ACTIVO
Enseña contenidos.	Enseña a aprender.
El profesor y los libros: autoridad y la única fuente de conocimiento.	Las observaciones del mundo físico son la autoridad y fuente de conocimiento. El profesor y los libros de texto son una guía en el proceso de aprendizaje.
Las creencias estudiantiles no son explícitamente desafiadas.	Ciclo de aprendizaje que desafía a los estudiantes a exponer y comparar sus predicciones (basadas en sus creencias) con el resultado de experimentos.
Los estudiantes observan diferencias entre sus creencias y lo enseña el profesor.	Los estudiantes transforman sus creencias cuando ven las diferencias entre ellas y sus propias observaciones.
Desalienta la colaboración entre pares.	Estimula el trabajo colaborativo.
En clases se presentan “hechos” de la física, con poca referencia experimental.	Observación clara los experimentos reales, utilizando los laboratorios basados en computadora para observar las mediciones en tiempo real.
Laboratorio para confirmar lo “aprendido”.	Laboratorio para aprender conceptos.

Figura 2. Comparación de entornos educativos: Aprendizaje Pasivo vs. Aprendizaje Activo.

Fuente: BENEGAS, JULIO et al. (2009). *Aprendizaje Activo de la Física II: Mecánica*. 2^{do} Taller Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física: Mecánica, Córdoba, impreso en UNSL.

Dentro del Aprendizaje Activo, una de las estrategias didácticas más probadas, que ha obtenido excelentes resultados en la enseñanza de distintos tópicos de Física, son los Tutoriales para Física Introductoria; estrategia desarrollada por el Grupo de Educación de la Física de la Universidad de Washington en Seattle (USA).

Los Tutoriales, hacen foco en el aprendizaje conceptual, y el desarrollo de las habilidades de razonamiento en el estudiante. Y como se señaló anteriormente,

pueden adaptarse a distintas implementaciones didácticas; incluso pueden completar la clase expositiva tradicional, o suplementarla. Sin embargo, es necesario un ambiente en el cual el docente la discusión entre pares, en torno a dificultades, resultados y conclusiones, tanto en el ámbito del aula o como durante las tareas extra-escolares.

Cada Tutorial, sea cual sea, el tópico de Física que trata, consta de tres pasos básicos: evocar en los estudiantes las ideas de los conceptos a trabajar en el Tutorial, confrontar esas ideas con las evidencias observacionales percibidas por los propios estudiantes, y finalmente resolver las discrepancias entre lo que los estudiantes esperan, y los resultados que se obtuvieron en el trabajo con el material. De esta manera, se encuentran presentes, todos los elementos del Ciclo para el Aprendizaje Activo (PODS).

Cabe destacar, que al aplicar una estrategia didáctica, basada en el Aprendizaje Activo, como son los Tutoriales, no se pretende lograr un cambio conceptual en los estudiantes, en el sentido de conseguir un “reemplazo conceptual”. Moreira y Greca (2003).

Para Marcos Antonio Moreira, el cambio conceptual en el sentido de reemplazo de una concepción (alternativa) por otra (científica) no tiene sentido. “Todo cambio, de hecho es cambio de alguna cosa: el cambio presupone que algo cambia” (Moreira y Greca, 2003, p.12).

Sin embargo, presupone todavía que, durante el cambio, esa cosa debe permanecer en sí misma. “Podemos decir que una hoja verde cambia cuando queda amarilla, pero no podemos afirmar que hubo cambio si la reemplazamos por una hoja amarilla.” (Moreira y Greca, 2003, p.13).

Es decir, cuando en el subtítulo de este proyecto, se habla de favorecer el aprendizaje conceptual del movimiento circular, se lo hace en el sentido que indica, evolución, desarrollo, enriquecimiento conceptual y discriminación de significados, que resultan en ideas más promisorias porque no implican cambio de conceptos o de significados.

Una de las características que poseen las estrategias didácticas basadas en el Aprendizaje Activo, es que hacen un fuerte uso de la tecnología. Pues, muchas aplicaciones informáticas desarrolladas para la Física permiten modelar, simular graficar, y tomar mediciones en tiempos reales. Con esto, se ha logrado cambios significativos en las Prácticas de Laboratorio de Física.

Dada estas ventajas que brindan las aplicaciones informáticas, los simuladores de fenómenos físicos, constituyen una herramienta muy conveniente para complementar con las estrategias de Aprendizaje Activo, en este caso como Laboratorio del Tutorial, pues le permiten al estudiante interactuar con el programa, simulando distintas situaciones físicas, cambiando adecuadamente las variables de contorno. Obteniendo efectos, valores, gráficas y modelos de manera inmediata, basados en las leyes físicas, para contrastar sus predicciones.

Un proyecto colaborativo que integre el uso de TIC, requiere que demos lugar al trabajo en grupo y también demanda que lo organicemos y lo pautemos para convertirlo en una óptima oportunidad de enseñanza. Por lo cual, se requiere de un enfoque metodológico, para gestionar y planificar las propuestas de integración de tecnologías en las aulas, para hacerlo de una manera adecuada.

El modelo TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), constituye un marco teórico-metodológico, desarrollado con este fin. Sus autores (Koehler y Mishra ,2006; Harris, 2012) sostienen que para lograr un uso adecuado de la tecnología en la enseñanza requiere el desarrollo de un conocimiento complejo (conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinar) contextualizado.

Además, se proponen que este marco teórico-conceptual sirva no solo para unificar las propuestas de integración de tecnologías en la educación, sino también para transformarla formación docente y su práctica profesional.

El TPACK no solo considera las tres fuentes de conocimiento que menciona anteriormente, la disciplinar, la pedagógica y la tecnológica, sino que enfatiza cuatro formas nuevas de conocimiento que se generan en la intersección de unos saberes con otros. Para representar esto, se valen de este diagrama:

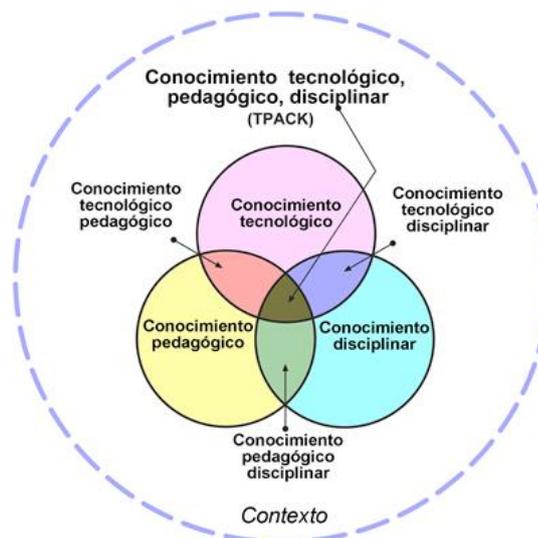


Figura 3. Modelo TPACK

Fuente: Koehler, M. (2011). *Technological Pedagogical Content Knowledge*. Recuperado de <http://www.matt-koehler.com/tpack/wp-content/uploads/TPACK-new.png>

Por esta razón, el marco teórico identifica algunos de los conocimientos necesarios para que los docentes puedan integrar la tecnología en la enseñanza sin olvidar la naturaleza compleja, multifacética y contextualizada de estos conocimientos.

La intersección de los tres tipos de conocimiento resulta en el conocimiento tecnológico pedagógico disciplinar, que constituye el eje central del TPACK. Y La integración de la tecnología en la enseñanza de un contenido disciplinar requiere el desarrollo de una sensibilidad que atienda a la relación dinámica y transaccional entre los tres componentes.

Las tecnologías digitales actuales (computadoras, programas, dispositivos), en su constante evolución y cambio, impiden que se vuelvan un lugar común y requieren el desarrollo de habilidades y estrategias para aprender continuamente cómo usar las nuevas versiones, los nuevos modelos, las nuevas aplicaciones. Estas tecnologías digitales tienen potencial para modificar la naturaleza de una clase ya que juegan un papel esencial en la manera en que se pueden representar, ilustrar, ejemplificar, explicar y demostrar las ideas y conceptos de una disciplina para hacerlos más asequibles a los alumnos. “Saber cómo utilizar tecnología no es lo mismo que saber cómo enseñar con tecnología” (Mishra y Koehler, 2006, p. 1033)

3. Aspectos metodológicos

En el estudio se propuso, como metodología de investigación, la comparación de grupos de estudiantes; previamente establecidos. Por lo que si bien, más adelante se referencia uno de estos como “grupo control”, se reconoce que no podemos establecer la existencia de un grupo control, propiamente dicho, pues la elección de los mismos no se hizo al azar, y los grupos de comparación no son idénticos. Como sucede en estos tipos de estudios, la metodología de investigación tuvo las características de un estudio cuasi experimental.

Ambos grupos estuvieron constituidos por estudiantes regulares de 4° año de Ciclo Orientado de la Escuela Industrial Domingo Faustino Sarmiento. Aunque cada grupo de alumnos pertenecían a distintos Trayectos Técnicos Profesionales (TTP).

De este modo, el grupo control, en el cual se aplicó una Enseñanza de Tipo Tradicional, corresponde al 4° año de la Especialidad Minería. Curso, en el cual normalmente me desempeño como Profesor de Física; y tuvo un número de 18 estudiantes, con una carga horaria semanal de tres horas cátedras consecutivas (3ra, 4ta y 5ta) de 40 minutos cada una, los días jueves.

Buscando la mayor honestidad intelectual, en el estudio de comparación, se escogió para implementar las Metodologías Activas de Aprendizaje un grupo, que a priori, presenta mayores desventajas pedagógicas. Se optó, como grupo experimental, 4° año de la Especialidad Automotores con una población de 26 estudiantes. Este grupo posee igual carga horaria semanal a la del grupo control, en el espacio curricular de Física, pero sus horas están separadas (3ra, 6ta, 7ma) los días viernes; y regularmente, el espacio está a cargo de una colega de la Institución.

En el grupo experimental, se aplicó la metodología de Tutoriales, complementada con la utilización de Simulaciones Interactivas PHET, desarrollado por Profesores de la Universidad de Colorado; que están bajo licencia de Creative Commons GNU

General Public License.³

En este caso, las respuestas vertidas por los estudiantes, en sus trabajos durante la Clase de Tutorial, y la Tarea del Tutorial, fueron analizadas y puestas a prueba a través de las actividades que los estudiantes llevaron a cabo con el Programa PHET Interactive Simulations, utilizando la Simulación denominada Revolución Mariquita.

La Metodología Tutorial + Simulación, desarrollada con el grupo experimental, como la Metodología Tradicional de Enseñanza, aplicada al grupo control, constituyen la variable independiente.

En correspondencia, la variable dependiente en el estudio, correspondió a la comprensión y los patrones de razonamiento demostrados por los estudiantes de ambos grupos, sobre los Conceptos Cinemáticos relativos al Movimiento Circular. Esta última variable, se midió con el Test de Cinemática de Rotación de la Partícula (Inventory on Rotational Kinematics of a Particle) creado, desarrollado y validado por Mashood y Singh (2012), pertenecientes al Centro Homi Bhabha para la Educación Científica, Instituto Tata de Investigación Fundamental, Mumbai, India. De acá en más, se referenciará a esta prueba de comprensión como Test IRKP.

El Test, consta de 18 preguntas o artículos, con respuestas de opción múltiple, destinadas a dilucidar concepciones erróneas y patrones inadecuados de razonamiento, que usualmente presentan los estudiantes en la comprensión de los conceptos de velocidad angular (ω) y aceleración angular (α), propios del movimiento circular; y en correspondencia con los objetivos de instrucción de este estudio; y la planificación anual los Espacios Curriculares de Física de 4° año, de los TTP de Minas y Automotores, de la EIDFS.

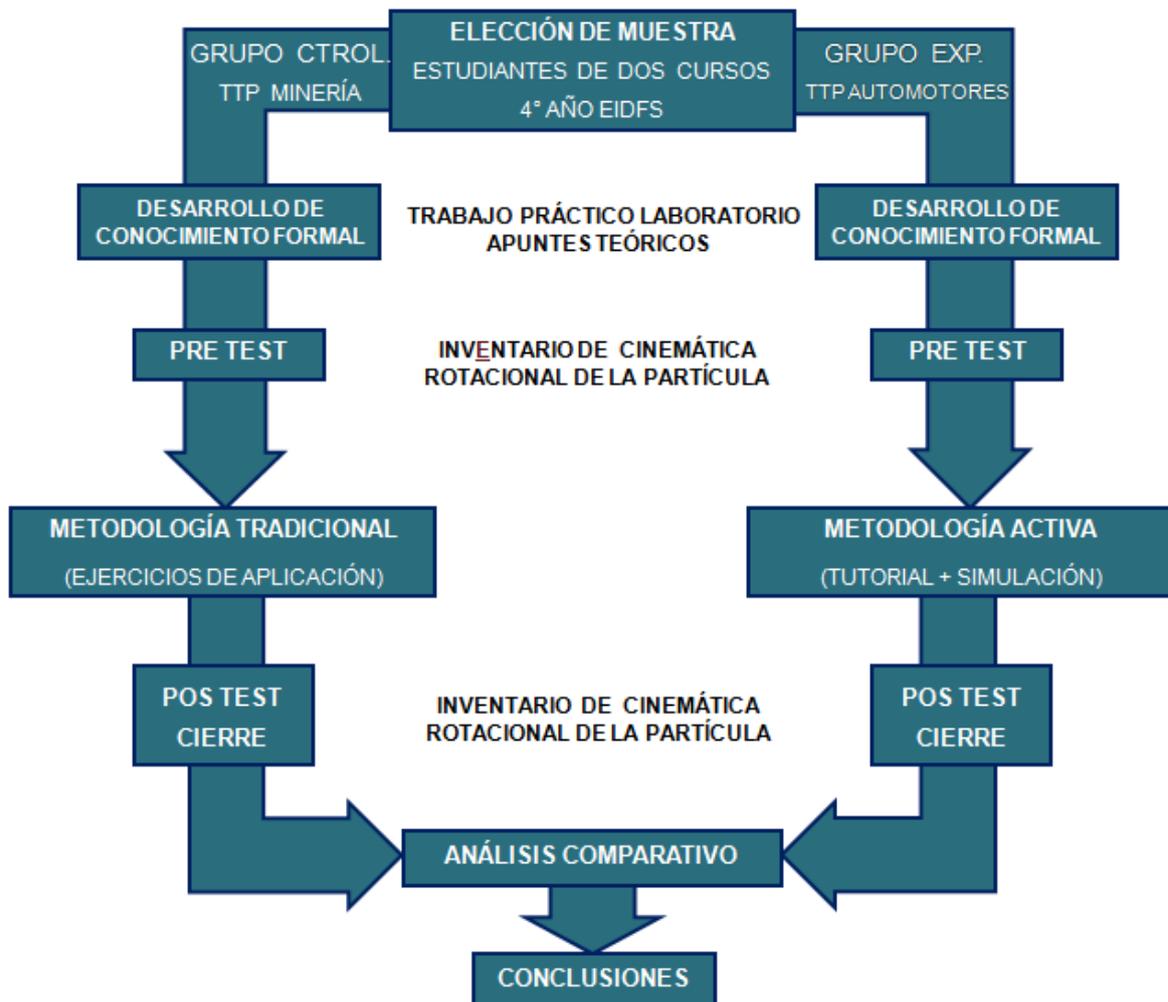
Para emplear este instrumento, como así lo indican sus creadores, es necesario un conocimiento formal del tema, Movimiento Circular, para responder las cuestiones que en él se plantean.

El conocimiento formal se construyó utilizando idéntica metodología y materiales en ambos grupos, durante las dos primeras clases, que tienen carácter teórico – prácticas. Y posteriormente, se aplicó el instrumento de medición, antes y después de desarrollar las Metodologías de Enseñanza Tradicional y Activa en los respectivos

³ Las simulaciones interactivas desarrolladas por Simulaciones Interactivas PhET pueden ser libremente usadas y/o redistribuidas por terceras partes (ejemplo: estudiantes, educadores, distritos escolares, museos, editores, vendedores, etc.). El uso no comercial y comercial está permitido. Todos los usos requiere reconocimiento del trabajo.

grupos de estudios.

El siguiente esquema da cuenta de la experiencia llevada a cabo.



e:

TIC en el Proceso de Enseñanza y Aprendizaje, como se mencionó anteriormente, se adoptó el Modelo TPACK, como marco de referencia para la integración de las nuevas tecnologías en el aula.

Dicho modelo, exige la toma de ciertas decisiones por parte del educador. Las mismas, se exponen a continuación:

- **Decisiones Curriculares:** Los estudiantes deberán lograr una comprensión acabada de los conceptos cinemáticos fundamentales del Movimiento Circular.

- **Decisiones Pedagógicas:** Implementar una propuesta de trabajo interactiva, a través de la aplicación del Tutorial denominado “Movimiento Rotacional”, complementada con la simulación “Revolución Mariquita” del Programa de Simulación PHET, como laboratorio del Tutorial. Con la intención de transformar las concepciones erróneas de los estudiantes, en otras científicamente más adecuadas, y reforzarlas con actividades de ejercitación sobre esta aplicación informática.
- **Decisiones Tecnológicas:** Filmar con los estudiantes la Práctica de Laboratorio, proyectarla, y analizar las características principales del Movimiento Circular. Diseñar e implementar actividades con el Programa PHET Interactive Simulations.
- **Decisiones Curriculares-Pedagógicas-Tecnológicas:** Desarrollar, en todo momento, una Metodología Activa de Aprendizaje, centrada en la complementación de los Tutoriales con el trabajo interactivo en el Programa de Simulación PHET, con el fin de alcanzar un aprendizaje conceptual de la Cinemática del Movimiento Circular.

En relación a la Estrategia Didáctica de Tutoriales, es necesario indicar el modo en que la misma se aplicará, y se complementará con el Programa PHET Interactive Simulations. Para esto debemos detallar las partes que constituyen cualquier Tutorial para Física Introductoria. (Benegas, 2009; Mcdermott y Shaffer, 1998)

- **Pre-Test:** Esta prueba preliminar, en ocasiones se puede aplicar. Es de utilidad para lograr que los estudiantes comiencen a pensar o evocar, los conceptos que más tarde se tratarán en el Tutorial, propiamente dicho. Consta de unas pocas preguntas, que ayuda a que los estudiantes comprendan que se espera que aprenda, “alistándolos” para la el aprendizaje.

También, el Pre-Test del Tutorial, informa al instructor, sobre el estado de conocimiento de los alumnos, y sobre otras dificultades que algunos pueden tener con el material del curso.

En la secuencia didáctica Tutorial + Simulación, no se aplicó el Pre-Test del Tutorial, en el grupo experimental, pues el estado de conocimiento sobre el tema, se cotejó mediante el Test IRKP.

- **Tutorial:** Constituye la tarea central de la metodología, que hacen hincapié en los conceptos fundamentales del curso. Y durante el mismo, los estudiantes

trabajan en pequeños grupos de 3 o 4 integrantes con lápiz y papel para su resolución. Y que puede ser complementado con algún dispositivo experimental; con los cuales cada grupo obtiene, por inducción y generalización, la ley física estudiada.

El instructor no debe dar, en ningún caso, las soluciones; sino hacer preguntas dirigidas para ayudar a los estudiantes a encontrar sus propias respuestas, a través de discusiones con los compañeros y los instructores. Las discusiones requieren de la participación activa de los alumnos, y la misma debe tenerse en cuenta para la calificación final.

- **Tarea del Tutorial:** Esta actividad, como su nombre los indica, se realiza fuera de clase, y en forma individual. Y se asigna y se recoge en las clases de Tutorial. La tarea asociada con el tutorial refuerza y amplía el material cubierto en las hojas de trabajo. La resolución de los problemas planteados en la tarea, serán analizados en la clase siguiente, discutiendo sobre las dudas remanentes, y controlando y afirmando los conceptos adquiridos.

En síntesis, a partir de estas Decisiones Curriculares-Pedagógicas-Tecnológicas, que comprenden el Enfoque T-PACK, y la Metodología de trabajo ya establecidas por los Tutoriales, se constituyó la Secuencia Didáctica Tutorial + Simulación.

4. Resultados esperados

Determinar el grado de mejora en la comprensión de los conceptos cinemáticos fundamentales del movimiento circular obtenido por los estudiantes (grupo experimental) que fueron instruidos mediante la Metodología Activa de Aprendizaje.

Establecer si la Estrategia Didáctica de Tutorial “Movimiento Rotacional” complementada con la animación “Revolución Mariquita” del Programa PHET Interactive Simulations, constituye una propuesta metodológica que favorece significativamente el aprendizaje conceptual del movimiento circular.

Resultados alcanzados

En esta sección, se exhiben los resultados obtenidos, por los estudiantes (pertenecientes a los Grupos Experimental y Control) en el Test de Cinemática

Rotacional de la Partícula (IRKP), de Mashood y Singh (2012), que consta de 18 preguntas, de tipo opción múltiple.

Se presenta un análisis general de los resultados obtenidos; centrado en las respuestas a las preguntas en las que tuvo injerencia directa la instrucción, que corresponden a las primeras 14 preguntas del Test IRKP. Como comparativo se informa también el resultado de las preguntas 15 a 18, cuya temática no fue desarrollada en la instrucción (tradicional o experimental). Dicho análisis, posteriormente, da lugar a las conclusiones más relevantes de este estudio.

EL Grupo Control, constituido por 18 estudiantes de 4° año de la Especialidad Minería, fue instruido mediante Estrategias Didácticas de tipo Tradicional. Mientras que el Grupo Experimental (constituido por 26 estudiantes de 4° año de la Especialidad Automotores) siguió la Secuencia Didáctica Tutorial + Simulación, propuesta didáctica alternativa, enmarcada en las líneas de Aprendizaje Activo de la Física.

El objetivo general era determinar si esta propuesta didáctica favorece, en estudiantes de 4° año de la EIDFS, el Aprendizaje Conceptual de temas básicos de Movimiento Circular; en comparación con la Metodología Tradicional de Enseñanza, seguida hasta ahora, en las Clases de Física.

En primer lugar, se analiza el conocimiento previo, de ambos grupos de estudio, antes de la instrucción (Pre Test).

La Figura 4 presenta el desempeño medio estudiantil, por pregunta, de los grupos experimental y control en la totalidad de preguntas (18 preguntas) del Test IRKP.

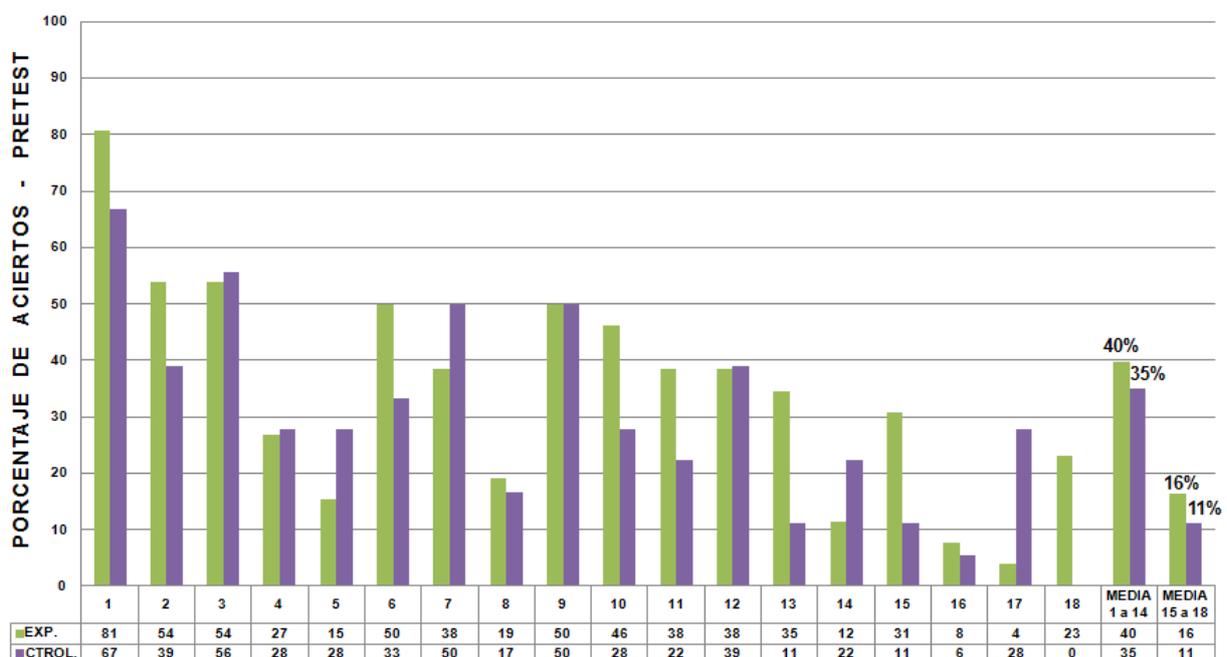


Figura 4: Porcentaje de aciertos por pregunta, en el Test IRKP, para el grupo experimental y control, antes de la instrucción. en las dos últimas categorías se comparan los porcentajes medios obtenidos en las preguntas con injerencia directa de la instrucción (preguntas 1 a 14); así como en las preguntas 15 a 18, cuya temática no fue tratada explícitamente por las estrategias didácticas.

Se observa que antes de la instrucción no existe una diferencia significativa entre los dos grupos de estudio. En las preguntas de interés de este experimento (1 a 14) la media fue de 40% y 35% para los grupos experimental y control, respectivamente. Tampoco, hay diferencia, en las preguntas 15 a 18. Desde este modo, se puede afirmar que ambos grupos son estadísticamente equivalentes, al menos, desde el punto de vista del conocimiento previo del tema específico de esta instrucción.

Dicha equivalencia se reflejada también, en la Figura 5; en la que se compara el porcentaje de estudiantes en ambos grupos de estudio, separados por cuartiles de rendimiento pre instrucción.

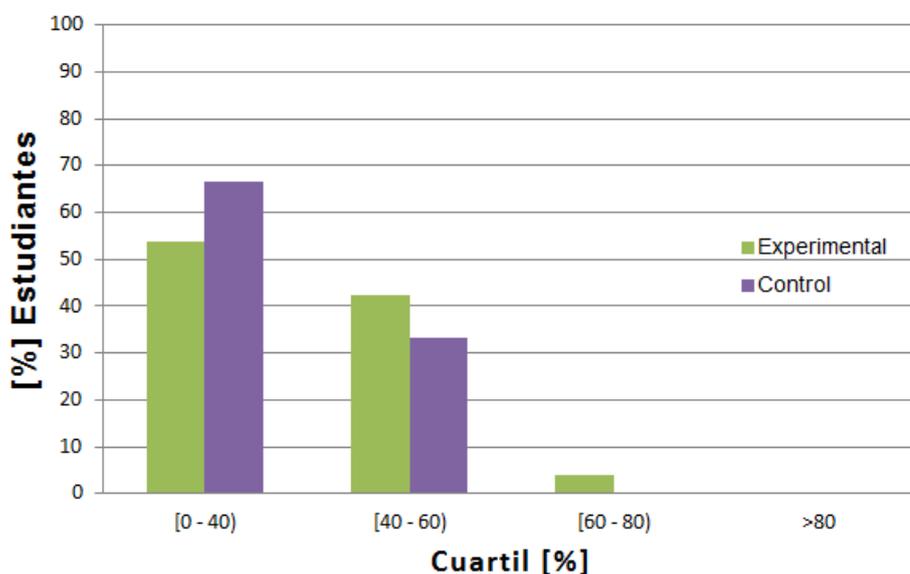


Figura 5: Agrupación de porcentajes de estudiantes en cuartiles de rendimiento. Correspondientes al desempeño de los estudiantes de los grupos experimental y control, en las preguntas de interés (1 a 14) del Test IRKP, aplicado antes de la instrucción.

Cabe destacar, que tanto en el grupo experimental, como en el grupo control, la

mayoría de los estudiantes tienen un rendimiento inferior al 40%, y que ninguno de los estudiantes alcanza el cuartil de rendimiento más alto. Si bien existe pequeña diferencia en el rendimiento a favor del grupo experimental, la misma no es estadísticamente significativa; aspecto de relevancia para este trabajo de comparación de grupos.

La Figura 6 muestra el rendimiento estudiantil de los dos grupos después de llevarse a cabo la instrucción (Post Test).

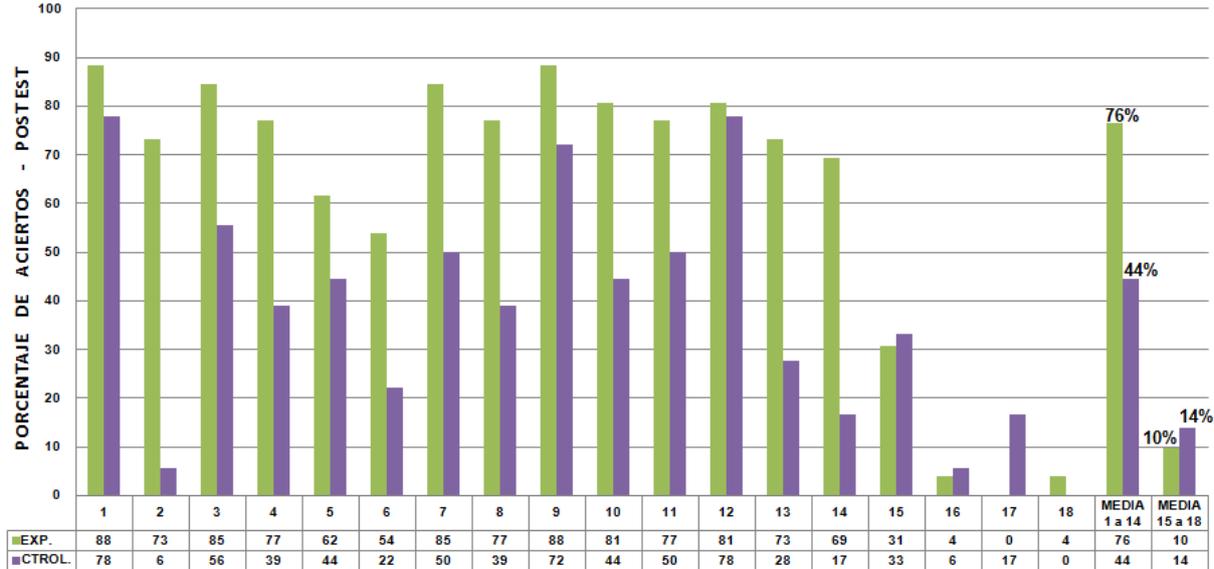


Figura 6: Porcentaje de aciertos por pregunta, para el grupo experimental y control, post instrucción. Las dos últimas categorías a la derecha representan el rendimiento medio en las preguntas de interés (1 a 14); y en las no cubiertas por la instrucción (15 a 18).

Como es notorio, el grupo experimental muestra porcentajes de aciertos, en el Test IRKP, mucho mayores en todas las preguntas de interés, comparado con el grupo control, con un rendimiento medio de toda la clase bastante elevado (76 %), frente al bajo rendimiento (46%) del grupo control.

Esta disparidad en el rendimiento de los dos grupos bajo estudio se observa aún más claramente en la Figura 7, que representa el porcentaje de estudiantes en de cada grupo, según cuartiles de rendimiento después de la instrucción.

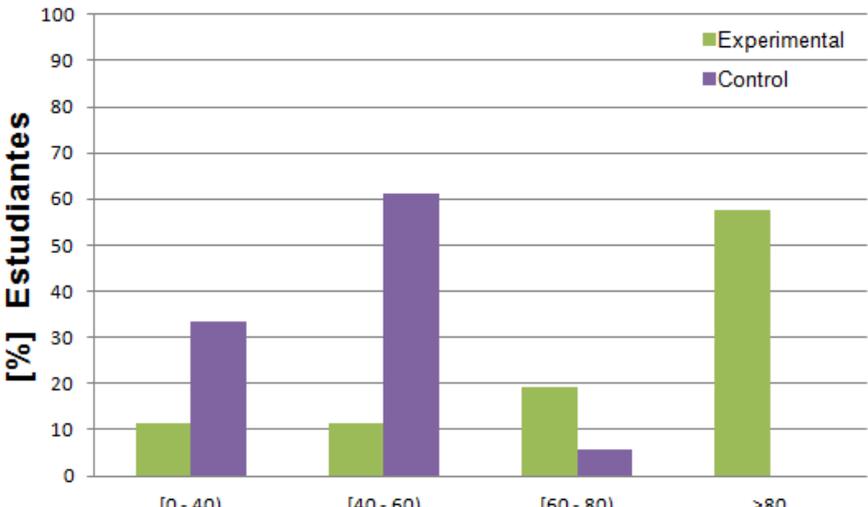


Figura 7: Distribución de estudiantes según cuartiles de rendimiento post instrucción, de los grupos experimental y control, en las preguntas 1 a 14 del Test IRKP.

Se observa que la mayoría (58%) de los estudiantes del grupo experimental, se ubica en el cuartil de mayor rendimiento, y un 19%, ocupa el tercer cuartil, denotando un excelente rendimiento de más de $\frac{3}{4}$ parte de la clase. En contraposición, la mayoría (61%) de los estudiantes del grupo control, tiene un rendimiento bajo, en el segundo cuartil de rendimiento, e inclusive un 33% ocupa el cuartil de rendimiento inferior. Ninguno de los estudiantes de este grupo alcanza el cuartil superior.

En otras palabras, el 77% de los estudiantes del grupo experimental, denota un rendimiento bueno o muy bueno ($> 60\%$). Mientras que el 94% de los estudiantes del grupo control obtienen un rendimiento bajo o regular ($< 60\%$).

En cuanto a las preguntas (15 a 18), cuya temática no fue tratada por las propuestas didácticas, los rendimientos fueron muy bajo, 10% y 14%, en los grupos experimental y control, respectivamente; como expresa la Figura 6. Estos porcentajes, resultan muy similares a los obtenidos antes de la instrucción (16% y 11%, respectivamente), según muestra la Figura 4.

Todos estos resultados se sintetizan en la Tabla 1, que representa el rendimiento porcentual de ambos grupos, antes y después de la instrucción.

Tabla 1. Rendimiento medio y ganancia normalizada en el Test IRKP

Test IRKP	Porcentajes de Aciertos			
	(preguntas 1 a 14)		(preguntas 15 a 18)	
Grupo	Control	Experimental	Control	Experimental
Pre Test	35 %	40 %	11 %	16 %
Post Test	44 %	76 %	14 %	10 %
Ganancia Normalizada (g)	0,15	0,61	0,04	-0,07

Nota. Rendimiento medio de los grupos control y experimental antes y después de la instrucción (Pre

Test y Post Test), para las preguntas de interés (1 a 14), y las no cubiertas por la instrucción (15 a 18). La última fila muestra la ganancia normalizada (g) para cada caso.

El análisis de resultados se completa con un parámetro de medida denominado *ganancia de aprendizaje normalizada* o también conocida como *ganancia de Hake*.

Este parámetro estadístico es ampliamente conocido y utilizado para cuantificar el impacto que tiene una determinada estrategia didáctica en el aprendizaje conceptual, independiente del conocimiento inicial (Pre-Test), permitiendo la mejor comparación de de diversos grupos de estudiantes. La expresión matemática de la ganancia de Hake (g) es:

$$g = \frac{\% \text{ postest} - \% \text{ pretest}}{100 - \% \text{ pretest}}$$

El símbolo %, indica rendimiento medio porcentual de toda la clase, en el test correspondiente.

Hake (1998) propuso discriminar el rendimiento estudiantil en tres rangos de ganancia: ganancia baja ($g \leq 0,3$), ganancia media ($0,3 < g < 0,7$) y alta ($g \geq 0,7$).

A continuación, se presenta un análisis pormenorizado de las ganancias normalizadas para cada estudiante, así como la ganancia media de todo el grupo, considerando el rendimiento las preguntas de interés (1 a 14).

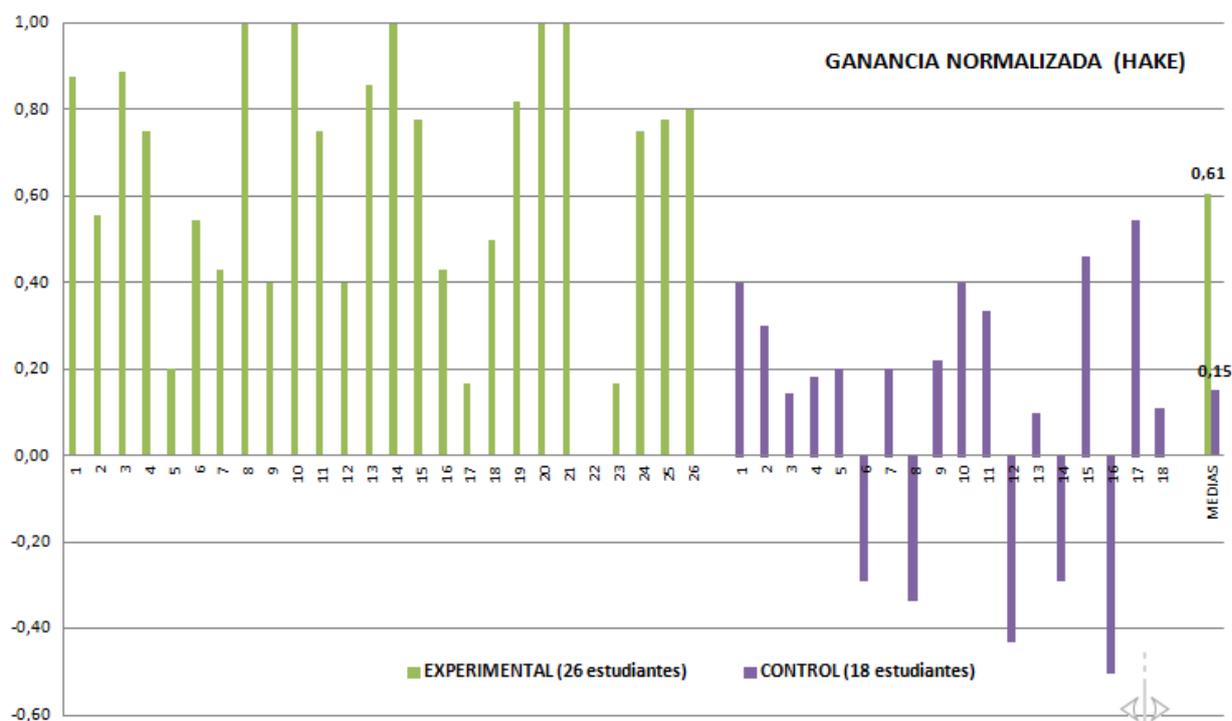


Figura 8: Ganancia normalizada por estudiante de los grupos control y experimental. Las dos barras a la derecha muestran la ganancia normalizada media de cada grupo.

Como se observa en la Figura 8, la ganancias obtenidas por los estudiantes del grupo experimental son evidentemente superiores a las obtenidas individualmente por los alumnos el grupo control. Correspondientemente, la ganancia normalizada media del grupo experimental ($g_E = 0,61$) es claramente mayor a la obtenida por el grupo control ($g_C = 0,15$).

Si bien, tanto el promedio de ganancia normalizada ($g_E = 0,61$) en el grupo experimental no alcanza el rango de ganancia alta ($g \geq 0,7$) sugerido por Hake, la mayoría de los estudiantes de este grupo, de modo individual, si lo logra.

No sucede lo mismo en el grupo control, pues tanto el desempeño individual de la mayoría de los estudiantes, como el colectivo, expresado mediante la ganancia normalizada grupal ($g_C = 0,15$) se encuentran muy por debajo del límite de ganancia baja ($g \leq 0,3$).

Todos estos resultados están tabulados (ver Tabla 2) y expresados gráficamente a continuación en la Figura 9.

Tabla 2. Distribución de estudiantes según rangos de ganancia normalizada.

Rango de ganancia	N° de estudiantes		Porcentaje de estudiantes	
	Control	Experimental	Control	Experimental
Baja $g \leq 0,3$	13	4	72 %	15 %
Media $0,3 < g < 0,7$	5	7	28 %	27 %
Alta $g \geq 0,7$	0	15	0 %	58 %
Total	18	26	100 %	100 %

Nota: Número y Porcentaje de estudiantes, de ambos grupos de estudio, discriminados según los rangos de ganancia normalizada de Hake.

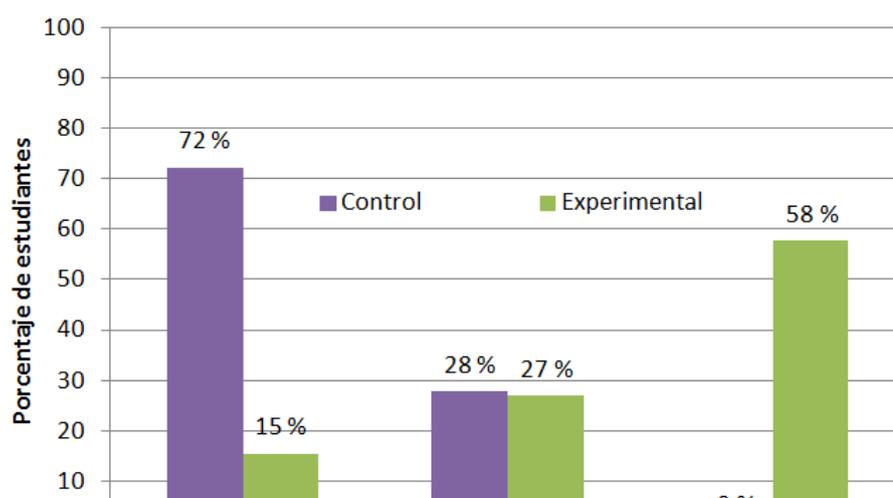


Figura 9: Distribución porcentual de estudiantes según rangos de ganancia normalizada.

Así, el 58 % de los estudiantes del grupo experimental se encuentran en el rango de ganancia alta ($g \geq 0,7$), mientras que el 72 % de los estudiantes del grupo control obtiene una ganancia baja ($g < 0,3$), y ninguno alcanza una ganancia alta.

Conclusiones

Seguidamente, se presentan las conclusiones más relevantes, de esta investigación de tipo cuasi experimental, en cual se comparó el desempeño estudiantil en un test de respuestas de opción múltiple destinado a evaluar el Conocimiento Conceptual sobre Temas Básicos de Cinemática Rotacional, de dos grupos de estudiantes de 4° año del instituto pre-universitario Escuela Industrial Domingo F. Sarmiento. Estos grupos fueron instruidos mediante dos estrategias didácticas diferenciadas: la tradicional, centrada en la labor del docente (grupo control) y una experimental, basada en la utilización de Tutoriales para Física Introductoria (Mc Dermott Y Shaffer, 2001) con simulación, en el grupo experimental.

Nuestros resultados muestran con claridad que la estrategia didáctica Tutorial + Simulación, alineada en las llamadas estrategias para el Aprendizaje Activo, posibilitó que los estudiantes del grupo experimental trabajaran en forma activa y colaborativa en la construcción de sus propios conocimientos, logrando muy buena comprensión de los Conceptos Cinemáticos Fundamentales del Movimiento Circular. El 58% de los ellos lograron, después de la instrucción, un rendimiento muy exitoso, superior al 80%, en las preguntas de interés, mientras que, colectivamente, alcanzaron un rendimiento grupal del 76%.

Por el contrario, la mayoría de los estudiantes del grupo control (61%) mostraron un pobre nivel de conocimiento conceptual, un bajo desempeño, alcanzando, de manera colectiva, solo un rendimiento media de 44%.

En cuanto el objetivo general planteado en este proyecto de investigación, se

puede afirmar que, según los resultados de ganancia normalizada media de ambos grupos, el grupo experimental mostró un excelente aprendizaje conceptual de estos temas de Movimiento Circular, obteniendo en promedio una ganancia normalizada de 0,61, con el 58% de sus estudiantes logrando una ganancia en el rango máximo de ganancias de Hake.

En contraposición, los estudiantes instruidos mediante la estrategia de tipo tradicional, promedian una ganancia muy baja ($g_C = 0,15$), con el 72% de ellos ubicados en el rango de ganancia más bajo. Más aun, ninguno de los estudiantes del grupo alcanzó el rango de ganancia alta.

5. Bibliografía

BENEGAS, JULIO (2007). *Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física*. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol 1, N° 1, Sept. 2007

BENEGAS, JULIO et al. (2009). *Aprendizaje Activo de la Física II: Mecánica*. 2^{do} Taller Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física: Mecánica, Córdoba, impreso en UNSL, 2.009.

HARRIS, JUDI (2012). *Judi Harris explica el modelo TPACK*. Canal audiovisual del Encuentro Internacional de Educación (2012-2013) Fundación Telefónica. Chile. Recuperado el 29 de Mayo de 2014. http://youtu.be/HDwWg_g0JGE

KOEHLER, MATTHEW Y MISHRA, PUNYA (2006). *Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge*". *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. Recuperado el 29 de Mayo de 2014. http://punya.educ.msu.edu/publications/journal_articles/mishra-koehlertcr2006.pdf

MCDERMOTT L.C.; SHAFFER P.S. *Tutorials in Introductory Physics*. Department Physics. University of Washington. Recuperado el 29 de Mayo de 2014. <http://depts.washington.edu/uwphyttl/>

MASHOOD K K & SINGH V A (2012). *An inventory on rotational kinematics of a particle: unraveling misconceptions and pitfalls in reasoning*. Eur. J. Phys., v. 33, n. 5, p. 1301. Recuperado el 29 de Mayo de 2014, de la base de datos IOP PUBLISHING LTD. <http://iopscience.iop.org/0143-0807/33/5/1301/>

MUMFORD, L. (1971). *Técnica y Civilización*. Madrid, España: Editorial Alianza.

MASHOOD K K & SINGH V A (2012). *Variation in angular velocity and angular acceleration of a particle in rectilinear motion*. Eur. J. Phys., v. 33, n. 3, p. 473. Recuperado el 29 de Mayo de 2014, de la base de datos IOP PUBLISHING LTD. <http://iopscience.iop.org/0143-0807/33/3/473>

MOREIRA, MARCO ANTONIO; GRECA, ILEANA MARIA (2003). *Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo*. Ciência e Educação, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

PABLO ARISTIZÁBAL (2013). *Educación y crisis*. Columnistas, Perfil.com. Publicado en Edición Impresa de Perfil, el 16 de Junio de 2013. Recuperado el 29 de Mayo de 2014. <http://www.perfil.com/columnistas/Educacion-y-crisis-20130616-0064.html>

TIPLER, P. (2006). *Física preuniversitaria. Volume 1. 6° Edición*. Ed.Reverté