

Mejora de los resultados de aprendizaje en física para ingenieros a través de enseñanza justo a tiempo (JiTT)

David A. Miranda, *Senior Member, IEEE*, A.R. Lizcano-Dallos, *Member, IEEE*, y Edgar F. Pinzón¹

Title— Improving the physics learning outcomes of engineering students through just in time teaching (JiTT).

Resumen— En este trabajo se estima el impacto, durante cinco semestres, de una metodología basada en la enseñanza justo a tiempo (JiTT) en laboratorios de física ofrecidos a estudiantes de ingeniería. En esta investigación se exploró la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el impacto de la implementación de la enseñanza justo a tiempo (JiTT) en los resultados académicos de los estudiantes medidos a través de las calificaciones finales de los estudiantes que cursaron laboratorio de física? Para examinar esta pregunta de investigación, se realizó un análisis estadístico consistente en comparar las calificaciones finales de los estudiantes antes y después de la implementación del JiTT. El análisis estadístico realizado mostró un incremento de los estudiantes con calificación final de 4.0/5.0 respecto a las calificaciones antes de implementar el JiTT. A partir de un análisis ANOVA se encontró una diferencia estadística significativa ($p < 0.005$) entre las calificaciones obtenidas por estudiantes que cursaron laboratorios de Física I y Física II antes y después de implementar JiTT; en contraste, las calificaciones finales para los estudiantes de laboratorio de Física III no mostraron una diferencia significativa en su calificación final antes y después de implementar JiTT. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que la implementación de JiTT mejora la distribución de las calificaciones en los valores más altos, lo cual sugiere que los estudiantes logran mejores resultados de aprendizaje; en los laboratorios de Física 3, sin embargo, se requiere realizar un esfuerzo adicional para obtener un incremento similar (o mayor) en las calificaciones finales, como se observó para Física I y II.

Index Terms— Aprendizaje activo, aprendizaje, laboratorios, educación en física.

¹Submission date: April 6, 2020.

Este trabajo fue financiado por la Vicerrectoría Académica de la Universidad Industrial de Santander – Proyecto ExPerTIC 2018.

David A. Miranda es profesor de la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia. (e-mail: dalemir@uis.edu.co).

A. R. Lizcano-Dallos es profesora del Centro para el Desarrollo de la Enseñanza – CEDEDUIS, de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia. (e-mail: alizcano@uis.edu.co).

Edgar F. Pinzón estuvo contratado por la Vicerrectoría Académica de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia. Actualmente se encuentra en la *Universidade Estadual Paulista* (UNESP), Araraquara, Brazil. (e-mail: edgarfisico21@gmail.com)

I. INTRODUCCIÓN

La mejora en el proceso de aprendizaje de estudiantes de ciencia e ingeniería es un área de investigación e innovación donde las metodologías del aprendizaje activo y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han adquirido una gran relevancia [1-5]. La enseñanza justo a tiempo (JiTT), es una estrategia del aprendizaje activo apoyada en las TIC que mejora el proceso de aprendizaje de los estudiantes a través de orientaciones de estudio para que estos preparen el material de la clase, permitiéndoles adquirir conocimientos básicos antes de la interacción con el profesor; a su vez, el profesor puede conocer el estado de los estudiantes antes de la clase y adaptarla a tiempo con el fin de mejorar el aprendizaje de sus estudiantes, enfocando las actividades a realizar en clase a las necesidades de los estudiantes [5-6]. Al involucrar mejor en su propio proceso de aprendizaje a los estudiantes y al centrar la clase en sus necesidades, a partir del JiTT, se mejoran los resultados de aprendizaje, incluyendo las calificaciones del curso [5-6, 8]. Por lo tanto, al analizar las calificaciones antes y después de utilizar JiTT es posible estimar el impacto de su implementación.

El JiTT ha sido implementado satisfactoriamente en cursos teóricos, pero poco esfuerzo se ha hecho en su implementación en laboratorios [5-6, 8, 11-12, 14-19]. En un curso teórico, JiTT permite a los estudiantes preparar el material de clase antes de esta, de tal manera que el profesor pueda conocer los aspectos que los estudiantes necesitan reforzar para su aprendizaje. Es evidente que la preparación de un laboratorio difiere de los cursos teóricos; sin embargo, el JiTT puede ser relevante para orientar a los estudiantes en conceptos y habilidades a ser aplicadas en sesiones de laboratorio.

En este trabajo reportamos la implementación de JiTT en laboratorios de cursos de Física I (mecánica clásica), II (electromagnetismo) y III (ondas y partículas); además, se estima la mejora de los resultados de aprendizaje de los estudiantes por medio de la comparación de las calificaciones finales durante cinco semestres, antes y después de la implementación del JiTT.

II. ANTECEDENTES

El aprendizaje activo se compone de estrategias de enseñanza que involucran al estudiante en su proceso de

aprendizaje durante la clase, en contraste con los métodos de enseñanza tradicional donde los estudiantes participan de manera pasiva en su proceso de aprendizaje [7, 20-21]. La aplicación del aprendizaje activo en cursos de ciencia e ingeniería incluye la integración de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) [3]. Las TIC, como las plataformas en línea, le brindan al profesor herramientas para publicar y desarrollar actividades de aprendizaje, así como un conjunto de datos cuantificables para medir la efectividad de las estrategias para mejorar el rendimiento de los estudiantes [9]. La JiTT es una estrategia del aprendizaje activo que combina la enseñanza en línea (asincrónica) y la presencial (sincrónica), lo que permite al estudiante comprender un tópico antes de las sesiones de clase [6], [10]. La JiTT es útil para entender nuevos conceptos y eliminar conceptos erróneos dado que esta estrategia relaciona las actividades en clase con las actividades en línea realizadas por los estudiantes fuera de clase [6]. Con la JiTT los estudiantes responden preguntas propuestas por el profesor de acuerdo con la lectura sugerida y el material de trabajo previamente publicado en la plataforma de aprendizaje. Entonces, el profesor evalúa el entendimiento de conceptos críticos y detecta brechas de aprendizaje antes de la clase; esto suministra elementos a los profesores para adaptar las actividades de clase con ejercicios que permitan a los estudiantes mejorar su comprensión de los conceptos [11].

La integración de las TIC y JiTT ha permitido estimar la efectividad de JiTT en el rendimiento académico de los estudiantes, estimación obtenida al comparar el rendimiento académico (notas) de los estudiantes en cursos donde se implementó JiTT con el rendimiento académico (notas) de estudiantes en cursos donde no se implementó JiTT [11]. Se han reportado estudios que estiman los efectos de JiTT en los logros académicos de los estudiantes de ingeniería que toman cursos de física [12]-[16].

En un curso introductorio de termodinámica para estudiantes de segundo año se estimó la utilidad de JiTT [17]; en dicho estudio, se realizó una comparación del rendimiento académico entre los temas del curso y los grupos de estudiantes a los que se les aplicó o no la estrategia JiTT. Así mismo, el desempeño de los estudiantes se evaluó a través de cuestionarios y exámenes en clase [17]; se encontró que el desempeño del grupo que cubrió un tema y luego recibió retroalimentación de JiTT fue 9% más alto que el del grupo homólogo que no realizó ejercicios de JiTT. En general, comparar el desempeño de los estudiantes entre los cinco temas del curso donde se incorporó JiTT y los del curso donde no se incorporó JiTT, muestra pequeños resultados positivos. Los comentarios de los estudiantes sobre la estrategia JiTT mostraron que más del 85% de los estudiantes encontraron útil la JiTT para motivar la gestión adecuada del tiempo y la responsabilidad [17].

Otro estudio interesante del efecto de JiTT se realizó en un curso de biomecánica de pregrado [18], que evaluó tres grupos: no JiTT, JiTT basado en matemáticas y JiTT basado

en conceptos. La aplicación de exámenes previos y posteriores al curso evaluó el desempeño de los estudiantes. Los resultados indicaron un rendimiento sustancialmente mayor y una mejor comprensión de los conceptos en un curso JiTT basado en conceptos que en cursos JiTT basados en matemáticas o no JiTT. Los hallazgos sugieren que las preguntas basadas en conceptos en una clase que utiliza la estrategia JiTT pueden considerarse un método eficaz para motivar el aprendizaje en los cursos de biomecánica [18].

III. METODOLOGÍA

A. Población de estudio

TABLA I
NÚMERO DE CALIFICACIONES (NOTAS) PROCESADAS PARA LOS LABORATORIOS DE FÍSICA

Condición	Lab. Física I	Lab. Física II	Lab. Física III	Total
Antes de ExperTIC (sin JiTT)	5975	6166	7068	19209
Implementación de ExperTIC (JiTT)	6153	5143	4012	15308
Total	12128	11309	11080	34517

En este estudio se tomó la población entera de estudiantes que tomaron cursos de laboratorio de física I, II y III entre el primer semestre de 2013 y el semestre de 2017, que corresponde a 34,517 calificaciones (notas) de estudiantes, de las cuales 19,209 fueron antes de implementar ExperTIC y 15,308, después de implementar ExperTIC. El número de calificaciones procesadas por cada laboratorio se presenta en la Tabla I y el número por semestre, en la Tabla II.

TABLE II
NÚMERO DE ESTUDIANTES INCLUIDOS EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ^A

Semestre	Lab. Física I	Lab. Física II	Lab. Física III
2013-1	1132	1120	1184
2013-2	1288	978	1200
2014-1	1158	1266	894
2014-2	1106	938	1142
2015-1	1291	1032	884
2015-2	1326	832	1022
2016-1	1136	1240	742
2016-2	1258	1242	1320
2017-1	986	1473	1350
2017-2	1447	1188	1342

^A Las celdas sombreadas corresponden a los semestres académicos durante los cuales se implementó ExperTIC en cada laboratorio de física.

B. Implementación del Proyecto

Se mejoraron los laboratorios de física que ofrece la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, al incorporar JiTT en el marco de un proyecto académico denominado ExperTIC; en este artículo, la implementación de JiTT en laboratorios de física se denomina ExperTIC. ExperTIC incorporó tanto la JiTT como el aprendizaje activo, y el aprendizaje mediado en laboratorios de física en los cuales se realizó una intervención académica que incluyó orientación a la formación para la investigación, dirigida a los

estudiantes y formación pedagógica, dirigida a los profesores. El foco de la implementación fue JiTT, por lo tanto, el enfoque de esta investigación está en esta estrategia.

El inicio de la intervención de los laboratorios de física ocurrió en la siguiente secuencia: Física I, se realizó en el segundo semestre de 2015; Física II, se realizó en el primer semestre de 2016 y Física III, se realizó en el segundo semestre de 2016. Luego de la implementación, los cursos con JiTT reemplazaron todas las versiones anteriores, y ahora JiTT se ha implementado en todos los laboratorios de física.

Los cursos de Física I, II y III ofrecidos en la Escuela de Física para estudiantes de ingeniería tienen un componente teórico y un componente práctico con programas y profesores independientes. Los laboratorios de Física I, II y III son los componentes prácticos de estos cursos y tienen un valor del 20% de su calificación final (Tabla III). La calificación mínima para aprobar los cursos de laboratorio de física es 3.0/5.0.

TABLA III
PONDERACIÓN DE LAS CALIFICACIONES (NOTAS) DEL LABORATORIO

Componente	Porcentaje
Cuestionario de Preparación de Laboratorio (CPL)	25%
Reporte de laboratorio	40%
Proyecto	28%
Examen final	7%

Todos los profesores participantes en la implementación de ExperTIC fueron previamente invitados a recibir capacitación en la metodología del proyecto [19]. La metodología del curso de laboratorio de física consta de tres partes (Fig. 1): la primera corresponde con el tiempo antes de la sesión práctica; la segunda, durante la sesión práctica y la tercera, después de la sesión práctica.



Fig. 1. Representación esquemática de la metodología implementada en los laboratorios, incluyendo las tres partes que la integran.

1) Antes de la sesión práctica

Antes de la sesión de laboratorio cada estudiante responde un cuestionario de preparación de laboratorio (CPL). El CPL se abrió no más de 36 horas antes de la sesión de laboratorio, con el objetivo de lograr los mejores resultados [6]. Cada CPL contiene dos tipos de preguntas: JiTT y aprendizaje mediado. El componente JiTT de los CPL consistió en preguntas abiertas diseñadas para motivar la introspección del estudiante, mientras que el componente de aprendizaje mediado correspondió a preguntas cerradas relacionadas con la preparación del laboratorio, es decir, para orientar al estudiante a revisar el material de estudio. Vale la pena señalar que las preguntas cerradas se centraron en la gestión de

equipos de laboratorio y los conceptos teóricos subyacentes. Las preguntas de JiTT se centraron en la metodología experimental que se implementará durante la sesión de práctica. Los estudiantes respondieron el CPL en la plataforma Moodle (tic.uis.edu.co) antes de las sesiones de laboratorio, de acuerdo con la implementación estándar de la JiTT [6]. La plataforma web cerró y calificó automáticamente las preguntas cerradas, y los profesores revisaron las preguntas abiertas (JiTT). Los alumnos debían revisar el material colocado en la plataforma Moodle para preparar una sesión práctica, que incluía trabajos de laboratorio, vídeos sobre la metodología experimental realizada en un laboratorio y tutoriales.

2) En la sesión práctica

Basados en los resultados de la primera parte, antes de la sesión práctica, los profesores reforzaron los conceptos teóricos no comprendidos adecuadamente por los estudiantes, como es sugerido en la estrategia JiTT. A continuación, en grupos de tres estudiantes, se realizaron los experimentos propuestos de acuerdo con el material estudiado por los estudiantes.

3) Después de la sesión

Luego de la sesión práctica, los estudiantes elaboraron un informe de laboratorio, según el modelo publicado en la plataforma web. Un miembro de cada grupo subió el informe de laboratorio a la plataforma Moodle para ser revisados por el profesor. Antes de la próxima sesión de práctica, el profesor registró calificaciones y publicó comentarios para cada grupo de laboratorio. Como última actividad de aprendizaje del curso, los alumnos debían proponer y desarrollar un proyecto final basado en una revisión bibliográfica y el método científico. Los parámetros de esta actividad fueron publicados en la plataforma Moodle. Cada grupo de laboratorio debía realizar una presentación general del proyecto desarrollado y un informe escrito.

C. Materiales y Métodos

El impacto de la implementación de JiTT en los laboratorios de física se evaluó mediante el análisis estadístico (descriptivo e inferencial) de las calificaciones de los estudiantes, proporcionadas por los profesores, en los semestres académicos previos y posteriores a la implementación del proyecto. El análisis incluye cinco semestres antes y cinco semestres después de implementar JiTT, es decir, diez semestres en total (Tabla II). Los datos recopilados incluyen las calificaciones (notas), un código para cada estudiante y un código para cada curso. Los datos despersonalizados fueron recolectados del sistema de información académica coordinado por la División de Servicios de Información de la Universidad Industrial de Santander. El análisis estadístico consta de dos elementos: un análisis descriptivo y un análisis inferencial.

En los semestres previos a la implementación de ExperTIC, las calificaciones de las prácticas de física se calculaban como el promedio de las calificaciones parciales obtenidas en los pre-informes (repaso teórico sobre prácticas de laboratorio), informes de laboratorio y un examen final. En un semestre

académico se realizan seis prácticas de laboratorio, así como la evaluación de los informes de laboratorio y el examen final de acuerdo con el criterio del profesor.

Después de implementar ExperTIC, las calificaciones de los laboratorios de física se calcularon como se especifica en la Tabla III. Las preguntas incluidas en los CPL y el examen final fueron seleccionadas de una base de datos de preguntas organizadas y validadas por los profesores del laboratorio; los informes de laboratorio y el trabajo final fueron calificados con una rúbrica propuesta y validada por los profesores. Durante cada semestre de implementación de ExperTIC se realizaron sesiones con siete a 10 profesores para validar las preguntas y revisar las rúbricas de evaluación.

D. Análisis de Datos

1) Análisis estadístico descriptivo

El análisis estadístico descriptivo incluyó un análisis cuantitativo de las calificaciones obtenidas por los estudiantes de los cursos de laboratorio de Física I, II y III. Los códigos de programación se desarrollaron en el lenguaje Python utilizando el módulo Pandas. Pandas es un módulo de Python, código abierto, que proporciona estructuras de datos de alto rendimiento y herramientas de análisis de datos. Con los códigos de programación, se hicieron cuatro tipos de diagramas estadísticos para cada laboratorio de Física:

- Diagramas de áreas que muestran el porcentaje de estudiantes con notas en cuatro intervalos: menos de 3.0, entre 3.0 y 3.5, entre 3.5 y 4.0 y más de 4.0.
- Gráficos de medias de calificaciones en función del semestre académico.
- Diagramas de frecuencia de calificaciones de los estudiantes.
- Diagramas de violín que presentan la distribución de calificaciones dentro de dos grupos: antes y después de implementar JiTT por parte del proyecto ExperTIC.

2) Análisis estadístico inferencial

El análisis estadístico inferencial consistió en un análisis de varianza (ANOVA) de una vía de las calificaciones de los estudiantes admitidos en uno de dos grupos, o poblaciones de datos: las calificaciones obtenidas antes y después de la implementación de JiTT. ANOVA se implementó utilizando las bibliotecas Pandas y SciPy de Python. Se usó una prueba empírica de normalidad para verificar que el 68.3% (o un porcentaje cercano a este valor) de los datos de calificación se distribuyeron con una desviación estándar alrededor de la media en una distribución normal (% DMSM).

Es importante señalar que los grupos de control no se definieron en el análisis estadístico. La población participante no fue seleccionada al azar porque se consideró a toda la población.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Laboratorio de Física I

Observamos una mejora en las calificaciones asociadas con

el inicio de la implementación en 2015-II (Fig. 2). Las calificaciones se analizaron por rangos, donde más de 4.0 es excelente. Antes de 2015-II, el porcentaje de la población en el rango excelente (más de 4.0) era menor (cerca del 20 %) que después de 2015-II (cerca del 40 %). El rango deficiente (calificaciones inferiores a 3.0) es casi constante antes y después de ExperTIC (cerca del 20%). Es interesante notar que la población en el rango excelente exhibe un comportamiento estable después de la implementación; esto puede estar asociado a la asimilación de la metodología aplicada en el curso por parte de estudiantes y docentes. La asimilación se puede observar más claramente en la Fig. 3, donde se grafican las medias de las calificaciones.

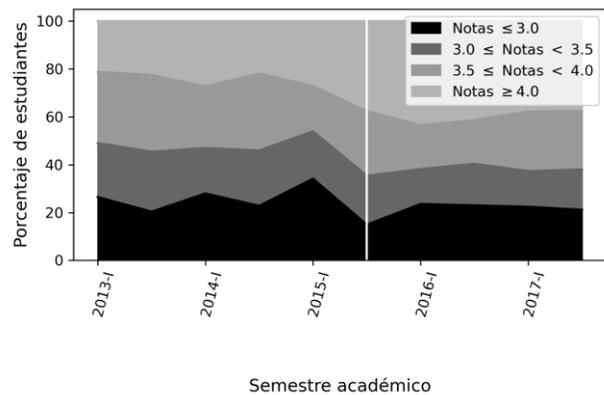


Fig. 2. Diagrama de áreas obtenida con Laboratorio de Física I. La línea blanca indica el semestre académico en el que comenzó la implementación de ExperTIC.

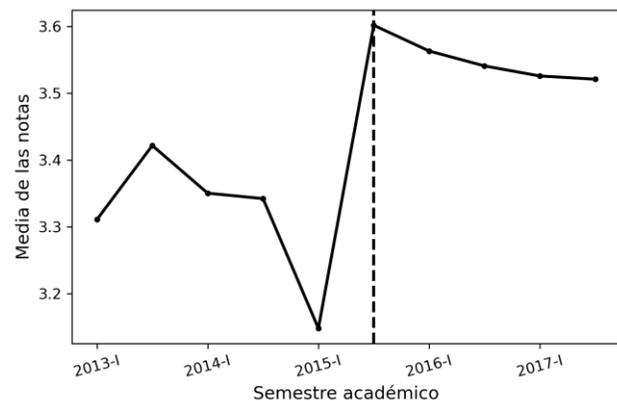


Fig. 3. Gráfico de media de las calificaciones para el Laboratorio de Física I. La línea discontinua indica el semestre en el que comenzó la implementación del JiTT.

Antes de la implementación del JiTT, se observó una tendencia hacia valores más bajos a lo largo del tiempo en las medias de las calificaciones (Fig. 3). En el primer semestre de la implementación (2015-II), la media aumentó de 3.0 a 3.6, lo cual era previsible como respuesta a la nueva metodología de aprendizaje. Luego de este abrupto incremento, la media tendió a estabilizarse en valores superiores a los previos a ExperTIC. Este último comportamiento puede interpretarse como una alta asimilación de JiTT por parte de alumnos y profesores y se observa en las distribuciones de frecuencias

antes y después de ExperTIC (Fig. 4). La frecuencia máxima después de ExperTIC alcanzó un máximo de 4.3, que es un valor superior al máximo de 3.8 antes de JiTT. Este comportamiento muestra también una mejora en las calificaciones de los alumnos derivada de la aplicación del proyecto.

En el gráfico de violín (Fig. 5), la línea central representa la mediana de las calificaciones, y los bordes inferior y superior representan el primer y tercer cuartil, respectivamente. Los bigotes muestran las calificaciones máxima y mínima obtenidas. En la Fig. 5, la media es de 3.48 antes y 3.67 después del JiTT. El tercer cuartil es de 3.88 antes y 4.17 después del JiTT, mientras que el primer cuartil es de 2.88 antes y 3.08 después del JiTT. Estos resultados sugieren que el JiTT tuvo un impacto directo y positivo en el rendimiento académico de los estudiantes, dado que obtuvieron mejores calificaciones con el JiTT, lo que se concluye por el incremento en la media y en el primer y tercer cuartil. Adicionalmente, el comportamiento de los datos sugirió que las calificaciones obtenidas después de ExperTIC, es decir, el proyecto que implementa JiTT en la Universidad Industrial de Santander, muestra diferencias significativas con respecto a las calificaciones obtenidas en semestres anteriores al proyecto.

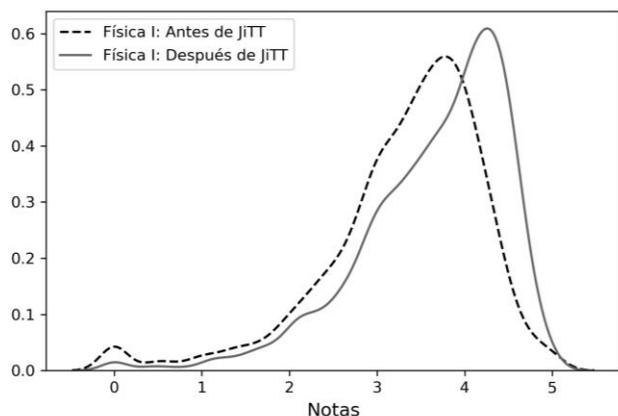


Fig. 4. Diagrama de frecuencia de las calificaciones obtenidas en Laboratorio de Física I.

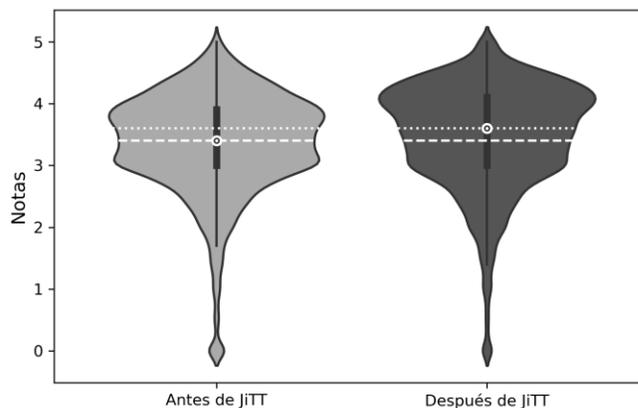


Fig. 5. Gráfico de violín para las calificaciones de Laboratorio de Física I. Las líneas blancas muestran las medias de cada grupo.

Para verificar las diferencias significativas entre las medias de las calificaciones obtenidas antes y después del proyecto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Al igual que con las medidas de dispersión, para este análisis, se consideraron dos poblaciones independientes con el mismo número de semestres académicos. La prueba empírica de normalidad mostró que las dos poblaciones de estudio tenían distribuciones normales, con un 77% de DSDM antes del JiTT y un 68% de DSDM después del JiTT. La hipótesis nula se definió de la siguiente manera: no existen diferencias en las calificaciones obtenidas en el laboratorio de Física I antes y después de implementar JiTT en el proyecto ExperTIC. Se tomó el valor de 0.005 como nivel de significancia. Si el valor de p es inferior a 0.005, las diferencias entre las medias son estadísticamente significativas y se rechaza la hipótesis nula.

Para todas las calificaciones (0.00 a 5.00), se obtuvo un valor p cercano a cero y se rechazó la hipótesis nula. La consecuencia directa del rechazo de la hipótesis nula es que existen diferencias significativas en las notas antes y después de la aplicación del JiTT. Se aplicó el ANOVA para cinco grupos de calificaciones: la primera, de 0.00 a 1.00 ($p = 0.063$), la segunda, de 1.10 a 2.00 ($p = 0.132$), la tercera, de 2.10 a 3.00 ($p = 0.192$), la cuarta, de 3.10 a 4.00 ($p = 0.001$) y la quinta, de 4.10 a 5.00 ($p = 0.403$). Sólo el cuarto grupo (calificaciones de 3.10 a 4.00) mostró diferencias significativas entre los dos grupos de calificaciones, de acuerdo con los análisis anteriores (Fig. 2). En esencia, muchos de los estudiantes con notas entre 3.00 y 3.50 antes de JiTT alcanzaron notas superiores a 4.00 después de JiTT.

De acuerdo con la implementación de JiTT, los resultados obtenidos en el análisis estadístico pueden asociarse a tres causas principales. En primer lugar, el laboratorio de Física I es la asignatura con mayor tiempo de aplicación. En segundo lugar, la mayoría de los profesores son estudiantes de maestría en física que participan activamente en las actividades de formación del profesorado propuestas en el proyecto. En tercer lugar, el hecho de que los alumnos que cursaban Física I estén en proceso de construcción de sus métodos de aprendizaje les

hace más receptivos a las nuevas metodologías. En los apartados siguientes se presenta un análisis estadístico similar para los laboratorios de Física II y III.

B. Laboratorio de Física II

En el laboratorio de Física II, observamos una mejora de las calificaciones similar a la de Física I (Fig. 6). Sin embargo, el rango de desempeño excelente (notas superiores a 4.0) tras la implementación de JiTT se acercó al 30% en lugar del 40% observado en Física I. Nótese que en la Fig. 6, la intervención en Física II se produjo en 2016-I.

Por lo tanto, al igual que en el laboratorio de Física I, la mejora de las calificaciones en el laboratorio de Física II puede atribuirse al proyecto ExperTIC. La variación media de las notas (Fig. 7) sugiere que hubo una asimilación del JiTT por parte de estudiantes y profesores en Física II, pero menor que en Física I (Fig. 3).

Las distribuciones de las calificaciones antes y después del JiTT (Fig. 8) muestran un desplazamiento de sus valores máximos hacia notas más altas: de 3.90 (antes del JiTT) a 4.40 (después del JiTT). Estos resultados también indican una mejora en las notas de los estudiantes ya que se obtuvieron notas más altas después de JiTT. Además, el gráfico de violín (Fig. 9) implica un aumento de la mediana de 3.44 (antes de JiTT) a 3.67 (después de JiTT). El tercer cuartil pasó de 3.94 (antes) a 4.15 (después), mientras que el primer cuartil permaneció constante, cerca de 2.96. El aumento del valor de la media y del tercer cuartil sugiere que el proyecto ExperTIC tuvo un impacto positivo en el rendimiento académico de los estudiantes, ya que el 50% y el 75% de ellos obtuvieron mejores notas con la metodología JiTT del proyecto. El comportamiento de la media y de los cuantiles indica que las notas antes y después de JiTT fueron significativamente diferentes.

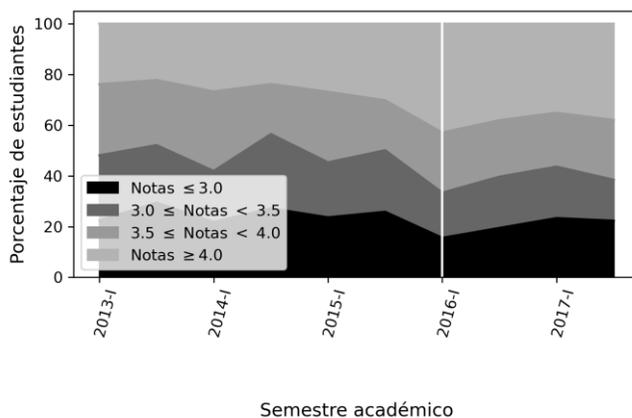


Fig. 6. Diagrama de áreas obtenido para Laboratorio de Física II. La línea blanca indica el semestre académico en el que comenzó la implementación de ExperTIC.

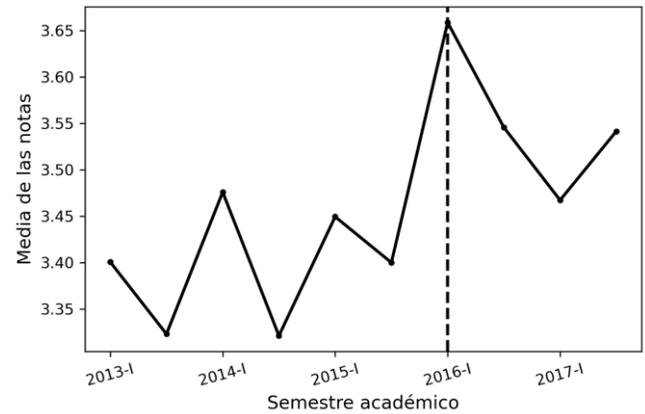


Fig. 7. Gráfico de medias de calificaciones del Laboratorio de Física II. La línea discontinua indica el semestre académico en que comenzó la aplicación.

La prueba empírica de normalidad aplicada a las calificaciones de cada grupo antes del ANOVA muestra que las dos poblaciones presentaban una distribución normal con 78% de DSDM antes de ExperTIC y 69% de DSDM después de JiTT. La hipótesis nula y el nivel de significación son los mismos que los definidos en el análisis estadístico para el laboratorio de Física I. En esencia, de todos los datos (0.00 a 5.00), el valor de p era cercano a cero ($p < 0.005$); entonces, la hipótesis nula fue rechazada, y esto confirmó una diferencia significativa entre las notas obtenidas antes y después de JiTT. Por lo tanto, se verificó estadísticamente el efecto del proyecto ExperTIC sobre el rendimiento académico de los estudiantes en el laboratorio de Física II.

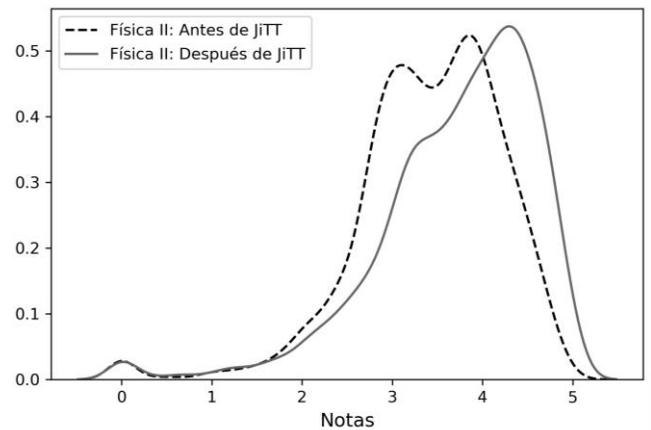


Fig. 8. Student grades frequency diagrams obtained for the Physics II laboratory.

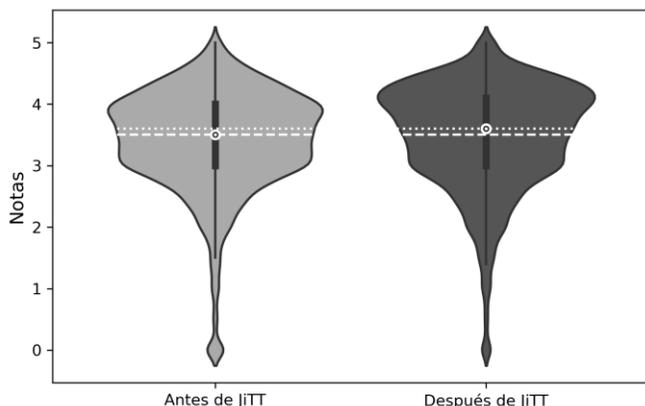


Fig. 9. Gráfico de violín de las calificaciones para Laboratorio de Física II. Las líneas blancas muestran la mediana de cada grupo.

Al igual que en Física I, se realizó un ANOVA para grupos de calificaciones: primero, de 0.00 a 1.00 ($p = 0.090$), segundo, de 1.10 a 2.00 ($p = 0.488$), tercero, de 2.10 a 3.00 ($p = 0.048$), cuarto, de 3.10 a 4.00 ($p = 0.003$) y quinto, de 4.10 a 5.00 ($p = 0.00005$). Los grupos de calificaciones superiores a 3.00 mostraron diferencias significativas entre los dos grupos ($p < 0.05$), lo que concuerda con el diagrama de áreas (Fig. 6). Nótese que las calificaciones con valores superiores a 4.00 corresponden a las áreas que muestran mayores cambios en sus tamaños.

A diferencia del laboratorio de Física I, en el caso del laboratorio de Física II se dan dos circunstancias para tener en cuenta; en primer lugar, el laboratorio de Física II fue el segundo curso en recibir una intervención (el primero fue Física I, 2015-II). En segundo lugar, en el laboratorio de Física II participaron menos profesores (que en Física I) en las actividades de formación del profesorado ofrecidas por el proyecto ExpertIC.

C. Laboratorio de Física III

Con solo tres semestres de intervención, los laboratorios de Física III presentan un comportamiento diferente al de Física I y II. El diagrama de áreas (Fig. 10) revela que el porcentaje de estudiantes con calificaciones superiores a 4.00 tendió a aumentar después del primer semestre académico de implementación (2016-II). La Fig. 10 también muestra un aumento en el porcentaje de estudiantes con calificaciones inferiores a 3.00 y una tendencia a la disminución del número de estudiantes con calificaciones (notas) intermedias. Este comportamiento indica un desplazamiento de las calificaciones desde la obtención de valores intermedios hacia la obtención de calificaciones superiores o inferiores después del JiTT.

Lo anterior sugiere que el principal efecto del proyecto ExpertIC sobre el rendimiento académico de los estudiantes

fue la delimitación de dos grupos. El primero es un grupo formado por estudiantes que asimilaron JiTT en su proceso de aprendizaje y obtuvieron altas calificaciones. El segundo grupo está formado por alumnos que presentaron problemas de asimilación de la nueva metodología por diferentes factores y obtuvieron calificaciones más bajas. A diferencia de los cursos anteriores, en este caso no se observa una tendencia evidente hacia un comportamiento estable en las franjas de calificaciones; sin embargo, debido a que el análisis, en este caso, se limita a tres semestres, son necesarios más datos para llegar a una conclusión.

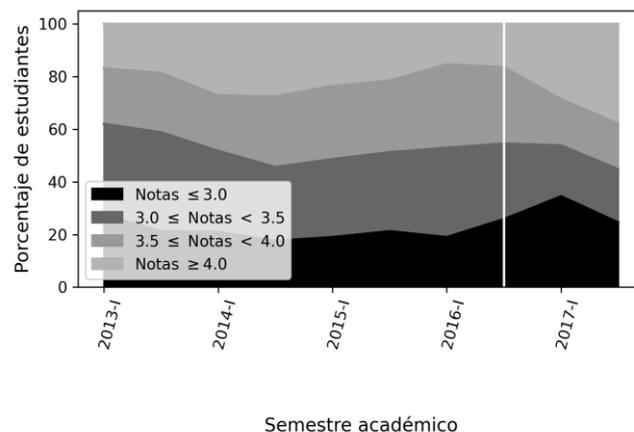


Fig. 10. Diagrama de áreas obtenido para el laboratorio de Física III. La línea blanca indica el semestre académico en el que comenzó la implantación del JiTT.

La asimilación del JiTT en este curso también fue analizada a través del comportamiento de la media de las calificaciones (Fig. 11). El gráfico de la media de las calificaciones (Fig. 11) sugiere un comportamiento variable antes y después del JiTT; sin embargo, debido al menor número de semestres analizados, son necesarios más datos. Incluso después del primer semestre académico de implementación, se observó una disminución en el valor de la media de calificaciones (a diferencia de cursos anteriores). Aunque este comportamiento puede ser considerado como una medida de baja asimilación del JiTT, es necesario considerar el menor número de semestres analizados en comparación con los otros cursos.

Las distribuciones de notas (Fig. 12) muestran un solapamiento entre los dos grupos: antes y después de JiTT. Se observan dos picos en ambas distribuciones, pero después de JiTT, la diferenciación es más evidente (picos a 4.25 y 3.00); sin embargo, se necesitan más semestres para obtener una conclusión más precisa.

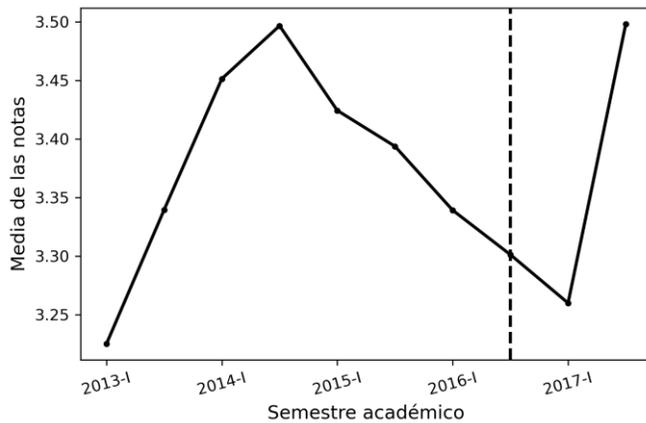


Fig. 11. Gráfico de medias de las calificaciones del laboratorio de Física III. La línea discontinua indica el semestre académico en el que comenzó la aplicación del JiTT.

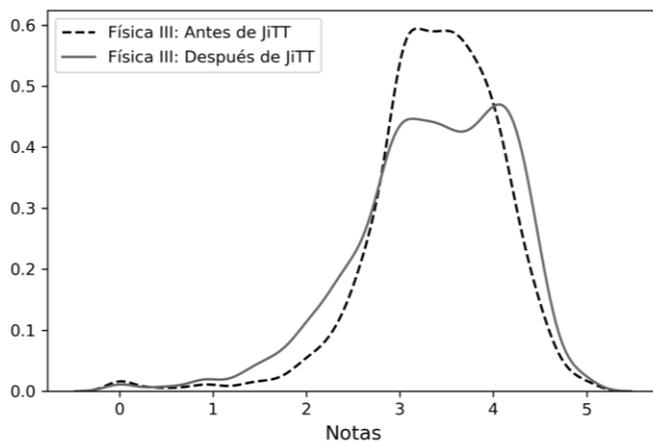


Fig. 12. Diagramas de frecuencia de las calificaciones obtenidas en el laboratorio de Física III.

El gráfico de violín (Fig. 13) muestra que la mediana era de 3.35 para ambos grupos. El tercer cuartil pasa de 3.84 (antes de JiTT) a 3.96 (después de JiTT) con un valor máximo cercano a 4.00, mientras que el primer cuartil tiene valores de 3.00 (antes de JiTT) y 2.85 (después de JiTT). El comportamiento variable de la media y los cuartiles no muestra un efecto significativo del proyecto ExpeTIC sobre las calificaciones de los estudiantes, y sugiere que no hay diferencias significativas en las calificaciones obtenidas antes y después del proyecto.

Ambos grupos de calificaciones presentaron una distribución normal, con un 89% de DMSM antes de ExpeTIC y un 73% de DMSM después de JiTT. Realizamos un ANOVA, y para todas las calificaciones (de 0.00 a 5.00) se obtuvo $p = 0.068$. Con este resultado, se aceptó la hipótesis nula. Se estableció que no hay diferencias significativas en las calificaciones obtenidas antes y después de la implementación del proyecto; esto concuerda con los resultados obtenidos en el análisis descriptivo anterior. También se realizó el ANOVA para los mismos grupos de calificaciones: primero, de 0.00 a 1.00 ($p = 0.120$), segundo, de 1.10 a 2.00 ($p = 0.170$), tercero,

de 2.10 a 3.00 ($p < 0.005$), cuarto, de 3.10 a 4.00 ($p = 0.103$), y quinto, de 4.10 a 5.00 ($p = 0.311$). Sólo el tercer grupo muestra diferencias significativas observadas en el diagrama de áreas (Fig. 10), con un mayor porcentaje de alumnos con calificaciones inferiores a 3.00 y superiores a 4.00.

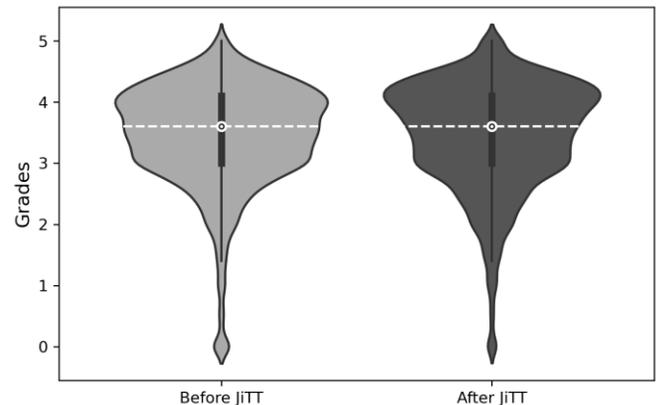


Fig. 13. Diagrama de violín de las calificaciones (notas) para laboratorio de Física III. Las líneas blancas muestran la mediana de cada grupo.

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico descriptivo e inferencial para este curso pueden asociarse a tres causas principales detectadas en la implantación del proyecto ExpeTIC. En primer lugar, el laboratorio de Física III es el curso con menor tiempo de intervención. Segundo, los alumnos de este curso son estudiantes de cuarto nivel que han adoptado métodos de aprendizaje específicos, y pueden mostrar resistencia a nuevas metodologías. En tercer lugar, muchos de los profesores del curso de laboratorio de Física III manifestaron resistencia a la adopción de las JiTT, y no participaron en las actividades de formación de profesores programadas en el proyecto ExpeTIC.

D. Percepciones de los estudiantes

Con el fin de mejorar el proceso de aplicación del proyecto, desde el inicio del mismo se le preguntó a los alumnos sobre la calidad de las herramientas, la orientación del profesor y la dificultad para realizar el proyecto de investigación. La Tabla IV muestra el porcentaje de estudiantes con respuestas positivas a las tres preguntas que fueron respondidas de forma anónima y voluntaria por los estudiantes. La primera implementación de JiTT en 2015-II asignó una tarea compleja a los estudiantes; solo el 27.2% de ellos consideró fácil completar el proyecto, y los demás pensaron lo contrario. Después del primer semestre, los estudiantes consideraron más fácil la ejecución del proyecto, tal vez debido a los efectos de la formación del profesor, como sugieren las respuestas a la segunda pregunta sobre el profesor.

Si tenemos en cuenta todos los datos, la percepción de los estudiantes es que las herramientas disponibles son suficientes para facilitar la verificación experimental de los conceptos teóricos.

TABLE IV
STUDENT PERCEPTIONS

Pregunta	Curso	2015-II	2016-I	2016-II	2017-I	2017-II	2018-I
¿Las herramientas disponibles en la plataforma de aprendizaje Moodle (vídeos de proyectos y proyectos de investigación) facilitaron la verificación experimental de conceptos teóricos?	Física I	65	72	76,3	80,5	82,5	85
	Física II			47,1	64,6	79,4	73,2
	Física III			53,3	69,1	67,3	87,4
¿Tu profesor te guió adecuadamente durante las sesiones experimentales?	Física I	58,4	76,3	78,6	80,2	79,8	80,5
	Física II			87,2	80	84,7	90,2
	Física III			81,1	86,6	80,3	90,8
¿Fue fácil hacer el proyecto de investigación?	Física I	27,2	62,4	65	76,5	71,3	74
	Física II			79,4	83,4	80	79,8
	Física III			70,2	71,1	72,7	75,4

V. CONCLUSIONES

La mejora de los resultados de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería gracias a la aplicación de JiTT por el proyecto ExperTIC se analizó mediante análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. El análisis estadístico de las calificaciones antes y después de la aplicación de JiTT reveló efectos diferentes sobre el rendimiento académico de los estudiantes en los cursos de laboratorio de física. En el laboratorio de Física I, hubo una notable mejora en el rendimiento académico de los estudiantes con la aplicación de la estrategia JiTT y la metodología de aprendizaje mediado en comparación con la observada en los semestres anteriores a la intervención. Este efecto puede inferirse de los resultados obtenidos en el análisis descriptivo e inferencial de las calificaciones. Entre los principales resultados, se observó un incremento en el porcentaje de estudiantes con calificaciones superiores a 4.0, un aumento en el valor medio de las calificaciones (de 3.04 a 3.60), un desplazamiento de la distribución de las calificaciones hacia valores más altos, con aumento en los tres cuartiles y la existencia de diferencias significativas entre las calificaciones obtenidas antes y después de ExperTIC ($p \approx 0$). Estos resultados concuerdan con los reportados por diferentes estudios sobre la efectividad del aprendizaje activo y el aprendizaje mediado en cursos de ciencias [13-17].

Sin embargo, para los laboratorios de Física II y III, el análisis estadístico de las calificaciones mostró un efecto bajo de mejora del rendimiento académico de los alumnos. Los resultados obtenidos para los laboratorios de Física II y III podrían interpretarse como la necesidad de implementar acciones de mejora en la dinámica de enseñanza y aprendizaje de estos cursos, tales como una mayor participación de los profesores en las actividades de formación docente y la inclusión de elementos innovadores en la evaluación de las actividades de aprendizaje. Para definir un plan de mejora es necesario proponer nuevas investigaciones.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al equipo de ExperTIC, especialmente al Prof. Dr. Jorge Martínez, director de la Escuela de Física, al Dr. Rogelio Ospina, Coordinador de Laboratorios, al Ing. Raúl Valdivieso, y al Ing. Leonardo Castellanos. Agradecemos el

apoyo financiero de la Universidad Industrial de Santander para el desarrollo del proyecto ExperTIC; en especial, agradecemos a los profesores Dr. Hernán Porras, Dr. Gonzalo Patiño, Dr. Orlando Pardo y Dr. Daniel Sierra.

REFERENCIAS

- [1] N. Hammond and C. Bennett. (2002, Mar). Discipline differences in role and use of ICT to support group-based learning. *Journal of Computer Assisted Learning* [Online]. 18 (1), pp. 55-63. Available: <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2001.00211.x>
- [2] A. Johri and B. Olds. (2011, Jan). Situated Engineering Learning: Bridging Engineering Education Research and the Learning Sciences. *Journal of Engineering Education* [Online]. 100 (1), pp. 151-185. Available: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2011.tb00007.x>
- [3] K. Miller., N. Lasry., B. Lukoff., J. Schell. And E. Mazur. (2014, Aug). Conceptual Question Response Times in Peer Instruction Classrooms. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. [Online]. 10 (2), pp. 020-113. Available: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020113>
- [4] M. Rodríguez-Triana, L. Prieto, A. Holzer, and D. Gillet. (2020). Instruction, Student Engagement and Learning Outcomes: A Case Study Using Anonymous Social Media in a Face-to-face Classroom. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 13 (4), pp. 718-733. Available: <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.2995557>
- [5] G. Novak (2011, Dec). *Just-in-time teaching*. New Directions for Teaching and Learning, pp. 63-73. Available: <https://doi.org/10.1002/tl.469>
- [6] G. M. Novak., E. T. Patterson, A. D. Gavrín., W. Christian, *Just-in-time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999, ch 1.
- [7] M. Prince. (2004, Jul). Does active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*. [Online]. 93 (3), pp. 223-231. Available: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- [8] K. Marrs, and G. Novak (2004). Just-in-Time Teaching in Biology: Creating an Active Learner Classroom Using the Internet. *Cell Biol Educ*. 3 (1), pp. 49-61. Available: <https://dx.doi.org/10.1187%2Fcb.03-11-0022>
- [9] D. Woods. (2013, May). Problem-Oriented Learning, Problem-Based Learning, Process Oriented Guided Inquiry Learning, Peer-Led Team Learning, Model-Eliciting Activities, and Project-based Learning: What is Best for you? *Industrial & Engineering Chemistry Research* [Online]. 52 (13), pp. 5337-5354. Available: <https://doi.org/10.1021/ie401202k>
- [10] M. Prince and R. Felder. (2006, Apr). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education* [Online]. 95 (2), pp. 123-138. Available: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- [11] S. Simkins and H. Maier. (2004, Nov). Using Just-in-Time-Teaching techniques in the principles of economics course. *Social Science Computer Review* [Online]. 22 (4), pp. 444-456. Available: <https://doi.org/10.1177%2F0894439304268643>
- [12] A. Böttcher, A. Kämper and V. Thurner, "On analyzing the effectiveness of Just-in-Time Teaching," *2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Tallinn, 2015, pp. 453-461.
- [13] L. M. Goss. "The Use of Active Learning and a Symbolic Math Program in a Flipped Physical Chemistry Course", *The Flipped Classroom Volume 1: Background and Challenge*, vol. 1, ch 4, pp. 29-54, December 2016.
- [14] H. Mohottala. (2013, Dec). The Combination of Just-in-Time Teaching and Wikispaces in Physics Classrooms. *The physics Teacher* [Online]. 51 (1), pp. 44-46. Available: <https://doi.org/10.1119/1.4772039>
- [15] D. Miranda, M. Sanchez and O. Forero. (2017). Laboratory preparation questionnaires as a tool for the implementation of the Just-in-Time-Teaching in the Physics I laboratories: Research training. *Journal of Physics: Conf. Series* [Online]. 850 (1), pp. 012-015. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/850/1/012015>
- [16] R. Sayer, E. Marshman and C. Singh. (2016, Oct, 18). Case study evaluating Just-In-Time Teaching and Peer Instruction using clickers in a quantum mechanics course. *Physical Review Physics Education Research* [Online]. 12 (2), pp. 44-46. Available: <https://doi.org/10.1119/1.4772039>

- [17] M. Libertatore, R. Morrish and C. Vestal, Sayer., E. Marshman., C. Singh. (2017, Apr). Effectiveness of Just In Time Teaching on Student Achievement in an Introductory Thermodynamics Course. *Advances in Engineering Education* [Online]. 6(1), pp. 1–15. Available: <https://advances.asee.org/wp-content/uploads/vol06/issue01/Papers/AEE-20-Liberatore.pdf>
- [18] J. Riskowski. (2015, May). Teaching undergraduate biomechanics with Just-in-Time Teaching. *Sport biomechanics* [Online]. 14 (2), pp. 168-179. Available: <https://doi.org/10.1080/14763141.2015.1030686>
- [19] A. Lizcano, D. Miranda, J. Martinez and M. Sanchez, "Implementation of a school of trainers for the integration of active pedagogical strategies in physics laboratories," in *EDULEARN17 Proceedings*, Barcelona, 2017, pp. 3877-3885.
- [20] G. Lagubeau, S. Tecpan, and C. Hernández. (2020, Jul). Active learning reduces academic risk of students with nonformal reasoning skills: Evidence from an introductory physics massive course in a Chilean public university. 16 (2), pp. 023101. Available: <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.023101>
- [21] L. Strubbe, A. Madsen, S. McKagan, and E. Sayre. (2020, Jul). Beyond teaching methods: Highlighting physics faculty's strengths and agency. 16 (2), pp. 020105. Available: <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020105>

David A. Miranda nació en Medellín, Colombia; se graduó como ingeniero electrónico en la Universidad Industrial de Santander en febrero de 2003. Obtuvo una licenciatura en Física de la Universidad Industrial de Santander en 2004 y un máster en Ingeniería en 2005. En 2011 se doctoró en la Universidad de Los Andes, Venezuela. Actualmente es Profesor Titular de la Universidad Industrial de Santander, director del grupo de investigación Ciencia de Materiales Biológicos y Semiconductores (CIMBIOS), e Investigador Senior (IS) reconocido por Minciencias, Colombia. Sus intereses de investigación incluyen educación, nanociencia y nanotecnología.

A. R. Lizcano-Dallos nació en Bucaramanga, Colombia. Se graduó como ingeniera de sistemas de la Universidad Industrial de Santander y es magíster en Tecnologías de la Información aplicadas a la Educación de la Universidad Pedagógica Nacional y Magíster en Gestión, aplicación y desarrollo de software de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Se ha desempeñado como docente en programación de computadores y tecnologías aplicadas a la educación en los niveles de posgrado. También se ha desempeñado como asesora pedagógica en la formulación de programas virtuales. Actualmente es Profesora Titular de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Colombia), adscrita al Centro de Desarrollo Docente - CEDEDUIS. Entre sus campos de interés e investigación se encuentran la incorporación de tecnologías en los procesos de aprendizaje, las estrategias de enseñanza y aprendizaje, especialmente el aprendizaje colaborativo y la formación de formadores.

Edgar F. Pinzón nació en Bucaramanga, Colombia; se graduó como físico de la Universidad Industrial de Santander (diciembre de 2017). Perteneció al grupo Ciencia de Materiales Biológicos y Semiconductores (CIMBIOS). Edgar trabajó como profesional del proyecto ExperTIC, donde realizó investigación en docencia (2018). Actualmente, es estudiante del programa de doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales de la *Universidade Estadual Paulista* (Unesp).