

Física experimental para ingeniería, el desafío de implementar la retroalimentación en el laboratorio

Experimental physics for engineering, the challenge of implementing feedback in the laboratory

Nelson Sepúlveda Navarro^{1*} y Jaime Carrasco Maturana²

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Av. José Pedro Alessandri 774, Ñuñoa, Santiago, Chile.

²Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Chile, Av. Santa Isabel 1186, Santiago, Chile.

*E-mail: nelson.sepulveda@umce.cl

Resumen

La actividad experimental en física consiste en la realización de múltiples experimentos en laboratorios, evaluados por medio de la construcción del reporte de salida o informe experimental. Las sesiones son periódicas durante el semestre con diversos experimentos guiados, pero se ha vuelto crítico en algunas instituciones, el aumento de estudiantes y no de infraestructura, y unido al efecto que significó la educación post-pandemia, se produce una reformulación completa de esta actividad docente. En este trabajo se presenta una investigación exploratoria con profesores de física de laboratorio en primer semestre de ingeniería, pertenecientes a un plan común de una universidad en Chile. Se aplicó una metodología que consiste en realizar la actividad experimental y en la sesión siguiente una jornada de cátedra de retroalimentación, permitiendo detectar falencias y promoviendo el acompañamiento en una etapa intermedia de la experiencia, previo a la evaluación sumativa del documento. De la investigación se observa que hay una valoración positiva desde los docentes y se declara que se identifica una progresión académica de las y los estudiantes, junto con fortalecer su autonomía en el desarrollo de las actividades.

Palabras clave: Laboratorios de Física; Retroalimentación; Ingeniería.

Abstract

Experimental activity in physics consists of carrying out multiple experiments in laboratories, evaluated through the construction of the output report or experimental report. The sessions are periodic during the semester with various guided experiments, but it has become critical in some institutions, the increase in students and not infrastructure and together with the effect of post-pandemic education, a complete reformulation of this teaching activity is produced. This work presents an exploratory research with laboratory physics teachers in the first semester of engineering, belonging to a common plan of an university in Chile. A methodology was applied that consists of carrying out the experimental activity and in the following session a feedback lecture day, allowing shortcomings to be detected and promoting support in an intermediate stage of the experience, prior to the summative evaluation of the document. From the research it is observed that there is a positive assessment from the teachers, and it is stated that an academic progression of the students is identified, along with strengthening their autonomy in the development of activities.

Keywords: Physics laboratories; Feedback; Engineering.

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 36, no. extra (2024)

I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de Física juega un rol central en el proceso enseñanza aprendizaje de la física (Hofstein y Lunetta, 2003; Sobhanzadeh, Kalman y Thompson, 2017), y particularmente es una etapa importante dentro de los cursos formales para ingeniería, ya que en el perfil profesional, independiente de la especialidad, deberá manipular materiales, energía e información (Feisel y Rosa, 2005), y de una manera creativa identificar problemas y encontrar soluciones a cuestiones de las más diversas índoles. El laboratorio posee un rol central en la educación para la formación en ciencias (Hofstein y Lunetta, 2003) y permite hacer el nexo para un aprendizaje significativo entre los aspectos teóricos trabajados en la cátedra y los elementos experimentales que se observan en la teoría desde una mirada fenomenológica.

Una de las dificultades con las cuales se encuentra el laboratorio de física, es cuando el modelo pedagógico adoptado desarrolla una actividad experimental tipo receta, “*donde el estudiantado debe seguir ciertos algoritmos para llegar a una conclusión predeterminada, carente de análisis, reflexión y comprensión*” (Becerra Labra y Silva Arias, 2024). Este tipo de actividad guiada no contribuye en la formación abierta y plástica que debe tener un estudiante de ingeniería para las habilidades del siglo XXI. Al dar cuenta de estas dificultades en su búsqueda de subsanar estos problemas, se debe orientar la actividad experimental al trabajo en equipos más pequeños, y con el apoyo de metodologías más ágiles y contextualizadas, y en la misma línea reformular el tipo de evaluación para actividades experimentales, reformular el informe tradicional de laboratorio en aspectos de forma y fondo. Así poder incentivar y promover una investigación más abierta, auténtica, a la par de trabajar los conceptos para alcanzar competencias y habilidades experimentales (Zacharias *et al.*, 2023).

La actividad experimental posee objetivos transversales, que tienen un rol crítico en la formación en ingeniería, como son: trabajo en equipo, tolerancia a la frustración, desarrollo de habilidades de comunicación científica, pensamiento crítico, implementación de teoría de error con la finalidad de considerar la incertidumbre como tema transversal en aspectos experimentales en física, independiente de la subdisciplina (Pollard, Hobbs, Henderson, Caballero y Lewandowski, 2021).

En este trabajo se presenta una investigación sobre una intervención en los laboratorios de física para ingeniería, la que consiste en la realización de actividades experimentales guiadas, una semana intermedia de acompañamiento y retroalimentación, y posteriormente la entrega de un informe prototipo. La investigación se realizó sobre profesores que realizan la cátedra de física experimental, y se implementó por medio de encuesta y entrevista a docentes de una universidad en Chile donde post pandemia se ha adoptado esta metodología de trabajo. La misma surge a partir de las carencias de ingreso observada en los y las estudiantes, y por medio de esta instancia de evaluación formativa mientras está en proceso la evaluación sumativa, puede aportar en mejoras respecto a la motivación por las actividades experimentales, al tener el espacio de cerrar los vacíos de entrada, y cooperar con los resultados de aprendizaje de las y los estudiantes.

II. MARCO TEÓRICO

El laboratorio de física ha tenido drásticas transformaciones tan solo en los últimos cinco años, en primera instancia, producto de la digitalización obligada que debió seguir para poder dar continuidad a la física experimental producto de la pandemia por COVID-19 (Zacharias *et al.*, 2023), y post pandemia, para incluir instancias de innovación pedagógica que favorezcan evaluar de manera formativa el trabajo experimental, y que permitan mostrar el desarrollo de competencias, en las cuales se evidencia la importancia de la retroalimentación para los estudiantes en la realización de la actividad experimental (Donovan, 2014; Sobhanzadeh *et al.*, 2017).

Respecto a la transformación y el uso de tecnología al interior del aula, existe evidencia acerca de que las y los profesores de laboratorio han incorporado el uso de tecnología digital al interior de las aulas (Zacharias *et al.*, 2023), focalizando particularmente en la incorporación de teléfonos inteligentes y tabletas, para poder trabajar con metodologías activas de aprendizaje (Ahmed y Asiksoy, 2021; Gómez-Tejedor *et al.*, 2020), pudiendo implementar videos, aplicaciones con el uso de los sensores de los dispositivos, y poder promover el trabajo colaborativo a tiempo real. Según Franke y Wegner (2022), referenciado en Zacharias *et al.* (2023), la digitación puede ocurrir en cuatro áreas, siendo éstas: 1) el entorno del laboratorio; 2) procesos y procedimientos; 3) datos; y 4) comunicación interpersonal. Pero el uso de las tecnologías por sí sola no garantiza que el aprendizaje sea alcanzado o que favorezca por sí sola las actividades experimentales.

En la investigación didáctica, el trabajo de laboratorio en ciencias experimentales se ha convertido en un área de mucho interés, ya que “esta actividad docente formativa contribuye a la fundamentación, validación y comprensión de los conocimientos de las ciencias y el desarrollo de ciertas habilidades” (Becerra Labra y Silva Arias, 2024). El entorno tradicional de enseñanza aprendizaje es el que se está transformando, hacia la posibilidad de retroalimentación, tutorías efectivas o acompañamiento hacia las y los estudiantes (Ahmed y Asiksoy, 2021). La incorporación de las metodologías activas o de innovaciones pedagógicas en aula requiere de un esfuerzo adicional particularmente en etapas tempranas, para ello el compromiso y actitud tanto docente como de las y los estudiantes es imprescindible, el cambio o predisposición actitudinal debe orientarse a dejar de ser pasivos, y la comunidad del aula se involucren activamente en el proceso enseñanza aprendizaje (Ahmed y Asiksoy, 2021). En el caso de los laboratorios se ha reportado desde el llamado aula invertida o *flip teaching*, en la cual las y los estudiantes tienen acceso previamente a los documentos, pudiendo disponer de videos que explican el marco conceptual y el procesamiento experimental (Gómez-Tejedor *et al.*, 2020), de esta manera, se aplica directamente este tipo de metodología activa, previo a la sesión de laboratorio.

Algunas metodologías activas que se han adaptado y aplicado en el contexto de la enseñanza de la física, y particularmente en desarrollar actividades que tributen en la docencia experimental de la física, son el aprendizaje basado en proyectos, esto se ha desarrollado construyendo circuitos, maquetas y prototipos que generalmente se muestran al final de semestre con una explicación dependiendo del tópico de la física, y una demostración funcional utilizando material reciclado, o impreso en 3D (Sepúlveda y García, 2022); aprendizaje basado en problemas, en este caso hay una pregunta abierta que se incluye como parte de la actividad experimental, para ingeniería se han observado problemas del tipo estudio de casos, donde el equipo de estudiantes es parte de una empresa y debe discutir soluciones, o se plantean problemas en general y deben hallar formas de resolver el problema de pregunta abierta (Becerra Labra y Silva Arias, 2024); aula invertida, se acerca mucho a la dinámica propia que se ha observado en una cantidad importante de instituciones, se da a conocer a las y los estudiantes una guía de laboratorio que contempla aspectos teóricos y al menos una experiencia guiada, luego hay una fecha de sesión experimental donde en equipo deben realizar la actividad tomando muestras, a partir del experimento que debieron estudiar previamente (Ahmed y Asiksoy, 2021).

El método tradicional utilizado por algunas instituciones con reportes semanales requiere una cantidad importante de tiempo por parte del docente y por parte de los estudiantes (Sobhanzadeh *et al.*, 2017), en tanto, el proceso de retroalimentación permite: 1) un trabajo personalizado respecto al desarrollo de la actividad experimental; 2) evaluar los preconceptos y tener el tiempo asignado de discutirlos como equipo de estudiantes con el docente; y 3) tener el tiempo para interactuar con sus compañeros y el docente respecto al trabajo y reflexión realizada sobre la actividad.

III. METODOLOGÍA

La metodología de intervención en los laboratorios de Física consistió en evaluar formativamente cada equipo de trabajo, por cada sesión experimental durante una semana intermedia, entre la realización del experimento y la entrega del reporte de salida. Se aplicó en el curso inicial de física para ingeniería y se entrevistó a las y los profesores de distintas secciones del mismo curso. La metodología de investigación utilizada fue de carácter mixta secuencial (Pereira Pérez, 2011), es decir, una primera etapa de recopilación cuantitativa, y luego se aplicó una recopilación cualitativa descriptiva-interpretativa con diseño de tipo micro-etnográfico. Se construyó y aplicó un instrumento de investigación a docentes de primer año de ingeniería durante el primer semestre del año 2024, que realizaban la cátedra experimental del curso inicial de física, en una universidad privada en Chile, en la cual se implementó la innovación pedagógica respecto a la semana de retroalimentación. En una primera etapa se aplicó encuestas con escala de Likert por medio de formularios de Google, y posteriormente se realizaron entrevistas virtuales haciendo uso de la plataforma Zoom. El paradigma que fundamenta este estudio de énfasis cualitativo es el interpretativo, y el enfoque es de tipo cualitativo descriptivo (Hernández Carrera, 2014). El estudio se realizó por medio de muestreo no probabilístico y los informantes claves se determinaron por conveniencia (Otzen y Manterola, 2017).

El estudio se llevó a cabo en una universidad ubicada en la región metropolitana, en Santiago de Chile. La participación fue voluntaria, y se indicó a cada profesor participante un consentimiento informado y confidencial respecto a su participación en el estudio.

- Muestra de estudio: Grupo de 6 profesores que realizan la docencia de laboratorio de física para el primer curso en ingeniería.

- Objeto de estudio: Percepción por parte de la muestra respecto a lo observado en estudiantes, sobre una metodología que contempla la implementación de la retroalimentación, en una sesión en la semana intermedia entre la actividad experimental y la entrega del reporte del laboratorio.
- Sujetos colaboradores: 4 profesores de la selección de la muestra, cuya participación fue de forma voluntaria en el universo de estudio. El análisis cualitativo se realizó por medio de matrices de categoría y codificación de textos extraídos de las entrevistas, las cuales son abiertas, axiales y selectivas (Strauss y Corbin, 2002). Esta información narrativa se extrajo desde los datos obtenidos por las entrevistas, y desde las encuestas aplicadas, en la cuales se utilizaron las técnicas de tratamiento de investigación cualitativo de; completar enunciados, completar relatos y preguntas abiertas. El plan para el análisis cualitativo está sustentado en los trabajos desarrollados por Buendía, Eisman, Colás Bravo y Hernández Pina (1998) y Pérez Serrano (1994).

La metodología de retroalimentación implementada en el aula para los laboratorios de física de primer año de ingeniería, en la semana cero en la primera clase del semestre consiste en la entrega de un cuaderno de laboratorio con cinco experiencias semestrales, un prototipo de informe, el cual es un reporte con formato dado de máximo 3 hojas, cantidad de palabras y guía respecto los elementos en cada sección, y la rúbrica con la cual será evaluado el informe de laboratorio, para cada una de las secciones de esta cátedra que el primer semestre 2024 fueron 22 secciones con un máximo de 18 estudiantes por curso, y módulo asignado semanalmente.

La semana 1 se realiza la primera sesión experimental en equipos de 3 a 4 personas, miden y toman los datos del experimento durante el tiempo que dura el módulo. En la semana 2 cada equipo de estudiantes debe llevar el informe prototipo y sus cálculos, es en esta sesión donde el o la profesora conversa con cada equipo respecto al trabajo realizado, indica los errores y orienta respecto a las fortalezas y mejoras que requiere el informe. Y es en la semana 3 desde que se realizó el experimento que el profesor o profesora recibe el informe de salida para su evaluación sumativa y se inicia nuevamente el ciclo con el experimento siguiente (ver Figura 1).

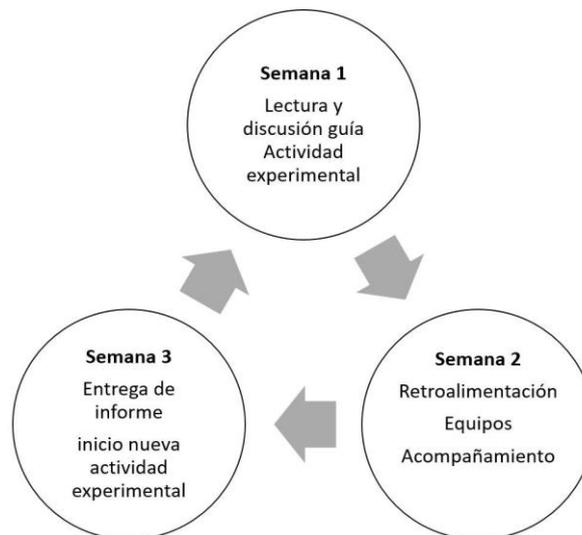


FIGURA 1. Esquema metodología de tres semanas. Semana 1 actividad experimental, semana 2 retroalimentación, y semana 3 entrega informe inicia nuevo ciclo experimental (Sepúlveda y Carrasco, 2023).

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Sobre la base de la metodología orientada al trabajo autónomo y a la retroalimentación es que se realizaron 5 preguntas en escala de Likert y entrevista semiestructurada. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos de la investigación de la innovación en el aula. La Tabla I da cuenta de los porcentajes de las percepciones de los docentes colaboradores con las encuestas y las entrevistas.

TABLA I. Preguntas de percepción docente respecto a la semana de retroalimentación.

	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. ¿Qué tan eficiente resulta para los estudiantes la semana autónoma? Adecuación metodológica y participación activa de los equipos.	50%	0	50%	0	0
2. La autonomía de sus estudiantes se vio reforzada con este espacio de reflexión	33%	50%	17%	0	0
3. La valoración de sus estudiantes fue con una actitud positiva frente a esta metodología	50%	33%	17%	0	0
4. Si tuviera que elegir el próximo semestre implementar nuevamente la metodología en el experimental curso siguiente, ¿lo implementaría?	66%	17%	17%	0	0
5. Si usted fuera estudiante de primer año de ingeniería elegiría esta metodología por opción propia	66%	17%	17%	0	0
6. Si usted fuera estudiante de primer año de ingeniería elegiría esta metodología, para cooperar con su formación profesional	66%	17%	17%	0	0
7. A lo largo del semestre hay evidencia de progreso (madurez) académica	50%	50%	0	0	0
8. ¿Si tuviera que elegir entre las cinco experiencias realizadas en el semestre con semana de acompañamiento, o realizar derechamente diez experiencias sin semana de acompañamiento, elegiría realizar cinco experiencias?	83%	0	17%	0	0

En general de la Tabla I se observa una valoración positiva de la metodología, al menos por lo observado y en base a la percepción de los profesores, destacando particularmente que, si tuvieran que volver al sistema tradicional de solo informes, y aun cuando esta metodología puede requerir una demanda mayor por el proceso mismo de retroalimentación, se valora en 83% por parte de los encuestados la metodología implementada.

En el caso del análisis de las entrevistas realizadas, a partir de las matrices abiertas y selectiva, que dan cuenta de la frecuencia de las respuestas se puede observar que los docentes manifiestan en general una positiva valoración del espacio de reflexión que se otorga al estudiante en la etapa de retroalimentación, esto queda de manifiesto en respuestas como A1: "la metodología misma (...) creo que estuvo bien (a lo largo del semestre)". Así mismo indican que se evidencia un avance académico en las y los estudiantes luego de la retroalimentación, lo que queda reafirmado por expresiones como A2: "me pareció muy significativo el avance de los estudiantes después de la retroalimentación". En la misma línea manifiestan positivamente el que los estudiantes puedan corregir sus errores antes de hacer entregas definitivas de informes, como aspecto a destacar, no observado en otras instituciones donde los profesores se desempeñan.

Con relación a los aspectos por mejorar en la implementación de esta metodología, uno de los elementos mencionados es el hecho que una parte importante de los equipos de estudiantes no realizan trabajo autónomo en sus hogares, siendo este comentario de alta recurrencia, el que queda de manifiesto en textualidades como A1: "llegan a la semana de retroalimentación con lo mismo que finalizaron en la semana anterior". Sin embargo, se ha de considerar que el espacio de trabajo autónomo es precisamente el brindado en la semana de retroalimentación. Una de las alternativas de mejora propuesta es la de obligar a que este trabajo autónomo se realice en un espacio distinto del laboratorio, por ejemplo, solicitando avances en la entrega del informe, el que será sancionado o premiado por medio de una calificación. Este alcance nos lleva a reflexionar respecto a la implementación de la metodología, ya que

se pensó desde sus inicios como una etapa de evaluación formativa, precisamente evitando que se convirtiera en etapa sumativa.

Los docentes de laboratorio de física en general coinciden que el rol que debe asumir este es, sin duda, debe ser un rol activo dada la naturaleza de la etapa de retroalimentación, y esto es coherente con el hecho de que las prácticas, que requieren un alto nivel cognitivo, se deben desarrollar bajo la supervisión de un docente tutor o tutora, siendo por lo tanto, este rol más exigente como docente, pero a la vez de mayor compromiso con las y los estudiantes, respaldado por menciones que indican necesaria la ayuda de un asistente al profesor, de modo de poder cubrir todos los requerimientos académicos que surgen de los estudiantes, como lo indica A1, al manifestar que: "...creo que es necesario que exista otra persona más, o un ayudante u otro profesor....", dando cuenta del aumento de demanda del profesor en la actividad experimental, como particularmente temprana de la implementación de la metodología.

V. CONCLUSIONES

Los docentes entrevistados indican una valoración positiva respecto de la semana de retroalimentación y esto se expresa en que perciben avances en los estudiantes luego del proceso metodológico, por otro lado, el corregir errores en la práctica, antes de realizar la entrega definitiva de su informe también es considerado como un aporte al proceso de aprendizaje que la metodología lo permite. Comentarios negativos respecto del trabajo autónomo realizado por parte de los estudiantes, surgen en relación al escaso avance que los estudiantes evidencian en algunos casos, durante la semana previa a la retroalimentación y en virtud de ello proponen premiar o castigar este avance en la elaboración del informe. También se reconoce una exigencia e involucramiento mayor por parte de los docentes al momento de enfrentarse a la etapa de retroalimentación. En este mismo eje, la articulación previa del equipo de profesores de laboratorio, requiere un proceso de reflexión respecto a las necesidades estudiantiles, y a la par con una capacitación inicial, retroalimentación también al interior del equipo docente mientras se lleva a la práctica el proceso pedagógico. Como conclusión final del documento y en base a la metodología, es posible concluir que, en la práctica con las y los estudiantes, más allá de la retroalimentación, es una sesión de acompañamiento y parece resultar ser útil tanto para quienes poseen técnicas de estudio apropiadas y autorregulación, como para quienes no tuvieron en toda su educación previa visitas o trabajo que demuestre experiencia en laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los profesores del Laboratorio de Física de la Universidad Central de Chile por su colaboración, y muy especialmente al pañolero Sr. Enrique Kritzner por su participación activa en la realización e implementación de las diversas actividades docentes.

REFERENCIAS

- Ahmed, H.D. y Asiksoy, G. (2021). The Effects of Gamified Flipped Learning Method on Student's Innovation Skills, Self-Efficacy towards Virtual Physics Lab Course and Perceptions. *Sustainability*, 13, 10163. doi: <https://doi.org/10.3390/su131810163>
- Becerra Labra, C., y Silva Arias, L. A. (2024). Trabajo de laboratorio en física y química a través de un enfoque problematizado. *Revista de Enseñanza de La Física*, 36(1), 53–66. doi: <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v36.n1.45312>
- Buendía Eisman, L., Colás Bravo, M. P. y Hernández Pina, F. (1998). *Métodos de Investigación en Psicopedagogía*. Madrid: McGraw-Hill.
- Donovan P. (2014). Closing the feedback loop: physics undergraduates' use of feedback comments on laboratory coursework. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 39(8), 1017-1029. doi: 10.1080/02602938.2014.881979
- Feisel L. y Rosa A. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94, 121-130. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>

Gómez-Tejedor J., Vidaurre A., Tort-Ausina I., Molina-Mateo J., Serrano M. A., Meseguer-Dueñas J., Martínez R., Quiles S. y Riera J. (2020). Effectiveness of flip teaching on engineering students' performance in the physics lab. *Computers & Education*, 144, 103708.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103708>

Hernández Carrera, R. M. (2014). La investigación cualitativa a través de entrevistas: Su análisis mediante la teoría fundamentada. *Cuestiones pedagógicas: Revista de Ciencias de la Educación*, 23, 187-210.

Hofstein, A., y Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.

doi: 10.1002/sce.10106

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.

<https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Pereira Pérez, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, 15(1), 15-29.

Pérez Serrano, G. (1994). *Investigación cualitativa: Retos e interrogantes*. Madrid: La Muralla.

Pollard B., Hobbs R., Henderson R., Caballero M. y Lewandowski H. J. (2021). Introductory physics lab instructors' perspectives on measurement uncertainty. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010133.

Sepúlveda N. y Carrasco J. (2023). *Cuaderno de Laboratorio Física I*. Chile: Universidad Central de Chile.

Sepúlveda N. y García Y. (2022). *Aprendizaje Basado en Proyectos con Arduino*. Chile: Universidad Central de Chile.

Sobhanzadeh M., Kalman C. y Thompson R. (2017). Laboratories in introductory physics courses. *European Journal of Physics*, 38(6), 065702.

doi: 10.1088/1361-6404/aa8757

Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Zacharias S., Klein P., Lehtinen A., Müller A., Pirinen P., RončevićL., y Sušac A. (2023). Physics lab courses under digital transformation: A trinational survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020159.

doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020159