

EDUCACIÓN MÉDICA

# Experiencias investigativas basadas en cursos, análisis de sus fundamentos y resultados en la Educación Médica

Yuri Castro-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Docente, Universidad Científica del Sur, Escuela de Estomatología. Lima, Perú.

INFORMACIÓN ARTÍCULO

RESUMEN

**PALABRAS CLAVE**

*Aprendizaje;  
Educación de Pregrado en Medicina;  
Educación Médica;  
Educación Superior*

**KEYWORDS**

*Education, Higher;  
Education, Medical, Undergraduate;  
Learning;  
Medical Education*

**Recibido:** octubre 11 de 2021

**Aceptado:** diciembre 30 de 2021

**Correspondencia:**

yuricastror\_16@hotmail.com

**Cómo citar:** Castro-Rodríguez Y. Experiencias investigativas basadas en cursos, análisis de sus fundamentos y resultados en la Educación Médica. Iatreia [Internet]. 2022;35(4):458-465. DOI 10.17533/udea.iatreia.165.

**Introducción:** las experiencias investigativas durante el pregrado son diversas y tienen como objetivo la formación de competencias en ese mismo ámbito de investigación.

**Objetivo:** recopilar la información relacionada a las experiencias investigativas basadas en cursos (EIBC) que se han implementado en el contexto de la educación médica.

**Métodos:** se realizó una revisión de la literatura narrativa donde se indagaron las bases de datos ERIC, SciELO, Redalyc, Scopus y PubMed a través de los términos: "ciencia", "basados en cursos", "investigación", "en el aula", "experiencia(s)", "pasantía(s)", "pregrado", "licenciatura", "formación". De las 780 fuentes iniciales, se analizaron 35. La información fue descrita según las categorías de: resultados de las mediciones, fundamentos teóricos, beneficios de la experiencia, limitaciones/desventajas.

**Resultados:** las EIBC se consideran como experiencias positivas y atractivas para los estudiantes, pues permiten exponerlos al proceso investigativo, desarrollar habilidades y oportunidades para futuros proyectos de investigación, permitir establecer redes y trabajo en equipo, brindar la oportunidad para trabajar en equipos de investigación y laboratorios de experimentación, y comprometer a los estudiantes y docentes a difundir los hallazgos a través de publicaciones científicas. Sus fundamentos se encuentran en el aprendizaje situado, las comunidades de práctica, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje constructivista. El objetivo en común es el de involucrar a los estudiantes de pregrado en la investigación científica y que logren formar sus competencias a través del mismo acto investigativo.

**Conclusión:** las EIBC permiten mejorar el aprendizaje estudiantil, la formación de competencias investigativas, otorgan ganancias en su identidad científica, autoconfianza, y persistencia en su carrera de estudios.

## SUMMARY

### Course-Based undergraduate research experiences, analysis of their foundations and results in Medical Education

**Background:** Investigative experiences during undergraduate education are diverse and their objective is the formation of investigative competences.

**Objective:** to compile information related to course-based research experiences (CBRE) that have been implemented in the context of undergraduate medical education.

**Methods:** A review of the narrative literature was carried out where the ERIC, SciELO, Redalyc, Scopus and PubMed databases were investigated through the terms: "science", "course-based", "research", "in the classroom", "experience(s)", "internship(s)", "undergraduate", "bachelor", "training". Of the 780 sources initially searched, 35 references were analyzed. The information was analyzed according to the categories of: measurement results, theoretical foundations, benefits of the experience, limitations / disadvantages.

**Results:** The CBRE are considered positive and attractive experiences for students, as they allow the student to be exposed to the research process, developing skills and opportunities for future research projects, allows networking and teamwork to be established, provides the opportunity to work in research teams and research laboratories, experimentation, and commits students and teachers to disseminate the findings through scientific publications. Its foundations are in situated learning, communities of practice, problem-based learning and constructivist learning. The common objective is to involve undergraduate students in scientific research and that they manage to form their competencies through same investigative act.

**Conclusion:** CBRE allow improving student learning, the formation of investigative competences, and gains in their scientific identity, self-confidence, and persistence in their study career.

## INTRODUCCIÓN

Los profesionales como parte de su formación deben estar familiarizados con la investigación científica, incluso si no participan activamente en su proceso (1).

Esto debido a que se requiere que estén actualizados con los avances en sus campos de especialización y, por lo tanto, es esencial que sepan evaluar críticamente las fuentes de información (2).

La educación investigativa debe implementarse desde el pregrado; probablemente, la forma más común de desarrollar habilidades investigativas es a través de la elaboración de proyectos de investigación; sin embargo, estas oportunidades de investigación suelen ser ofrecidas como componentes electivos y no logran una formación adecuada en el estudiante, ya que es difícil integrarlos de forma eficaz en un plan de estudios (3). Muchas de estas experiencias se ofrecen en uno o más semestres, a través de laboratorios y bajo la guía de un docente, (4) lo cual conlleva tiempo de dedicación, esfuerzo y recursos económicos.

Conforme a Langhammer *et al.* (5), existen limitantes que impiden que el estudiante se inserte a las actividades investigativas tales como: falta de preparación (los estudiantes tardan demasiado en comprender los conceptos básicos de investigación), escaso interés de los profesores (no pueden reservar tiempo para capacitar y realizar investigaciones), y la demanda de tiempo de los estudiantes (es difícil para los estudiantes contribuir de manera significativa a los proyectos de investigación sin un tiempo estipulado en el plan de estudios). En ese sentido surgen oportunidades para que los estudiantes puedan insertarse a las actividades investigativas sin que afecten sus labores curriculares y, por el contrario, relacionen la función curricular con la formación investigativa.

Proporcionar a los estudiantes capacitación en habilidades investigativas es esencial como parte de una formación integral. Esta capacitación se ha logrado a través de experiencias de investigación que se basan en el aprendizaje integrado al trabajo. Esto implica el uso de estrategias destinadas a proporcionar a los estudiantes experiencias prácticas (por ejemplo: trabajos de campo, análisis de datos, pasantías, intercambios, etc.) directamente relacionadas con un curso de estudio. El objetivo de este aprendizaje es aumentar la preparación para el trabajo investigativo real. Un tipo particular de actividad de aprendizaje integrado al trabajo es la experiencia de investigación en el pregrado (EIP); en la cual los estudiantes colaboran con los profesores para realizar investigaciones que otorguen una contribución original a su campo de estudio.

Un modelo de EIP es el que incorpora el “uno a uno” entre un estudiante y un mentor; aquí el docente trabaja con estudiantes de forma individual para diseñar y ejecutar proyectos de investigación. Si bien este modelo es una forma eficaz de involucrar a los estudiantes en el proceso científico y retenerlos en los campos de ciencia, tecnología e ingeniería; puede resultar difícil gestionar grandes cantidades de estudiantes, especialmente en instituciones donde el profesorado tiene una gran carga de enseñanza (6). Otro mecanismo para exponer a los estudiantes de pregrado al proceso de investigación es la participación en experiencias investigativas basadas en cursos (EIBC). En ellas se integra un proyecto de investigación a un curso curricular; lo que no solo brinda la oportunidad de trabajar con un gran número de estudiantes a lo largo de un semestre o año académico, sino que permite que la investigación sea más inclusiva al involucrar estudiantes que de otra manera no hubieran realizado proyectos de investigación (7).

En definitiva, las experiencias investigativas en el pregrado presentan sustentos para que sean aplicables a diversos programas de las ciencias, y sus efectos en la formación de competencias investigativas son bien establecidos, ya sea a través de autoinformes de los estudiantes o a través de mediciones de cursos implementados durante semestres. Sin embargo, aún existen dificultades para que puedan ser implementadas en los planes de estudio, y también existen algunos antecedentes que reportan resultados contradictorios y no presentan fundamentos teóricos para que puedan ser analizados a profundidad. En ese sentido, en la presente revisión se analizan de forma exhaustiva las experiencias investigativas basadas en cursos que se han implementado en los programas universitarios de las ciencias de la salud, tomando en consideración sus tipos, principales antecedentes, beneficios y limitaciones.

## MÉTODOS

Se diseñó un estudio del tipo revisión documental (narrativa de la literatura), donde se indagó la información publicada sobre las “experiencias investigativas basadas en cursos” en el contexto de la educación superior universitaria. La búsqueda de fuentes de información se realizó entre los meses de marzo a mayo

del 2021 e incluyó las bases de datos: ERIC, SciELO, Pubmed, Redalyc, Scopus, Web of Science así como el buscador Google académico. En cada base de datos se realizó una búsqueda libre de la información sin limitar temporalidad de las fuentes de información para analizar fuentes antiguas como actuales. Se utilizaron los términos clave: “Science”, “course-based”, “research”, “classroom”, “experience(s)”, “internship(s)”, “undergraduate”, “degree” y “training”.

Las preguntas que guiaron la revisión descriptiva fueron: ¿Cuáles son las experiencias investigativas que se han utilizado en la educación médica? ¿Qué son las experiencias investigativas basadas en cursos? ¿Cuáles son los principales antecedentes que sustentan las experiencias investigativas basadas en cursos? Y ¿Cuáles son los resultados de aprendizaje luego de aplicar las experiencias investigativas basadas en cursos? Estas preguntas fueron respondidas a través de la búsqueda y selección de fuentes de información relacionadas al tema.

Se creó una hoja de cálculo organizacional que describía una jerarquía de búsqueda, que guió el proceso de búsqueda general y evitó la redundancia. La búsqueda inicial en las bases de datos produjo más de 780 publicaciones basadas únicamente en los títulos de los artículos para luego ser examinados más a fondo en función de los resúmenes. Esta colección preliminar de artículos se refinó a 250 y luego a 35 basado en los criterios de inclusión de 1) estar relacionado con las ciencias de la salud (programas de: Medicina humana, Odontología, Obstetricia, Enfermería, Farmacia y bioquímica, Tecnología médica, Nutrición y Psicología) 2) relacionados con los programas de pregrado y 3) evidenciar datos de medición de las competencias investigativas en los estudiantes.

Las razones más comunes para la exclusión en esta etapa incluyeron que la publicación no estuvo relacionada a los programas de las ciencias de la salud, no presentar datos completos de medición, no se pudo acceder al documento completo (se tomaron medidas para obtener el texto completo siempre que fue posible), la recopilación o el análisis de datos aún no se había realizado, no fueron artículos originales, se encontraban en revistas no arbitradas o no presentaban alguna característica de análisis para el objetivo de la presente revisión (presentar información de los fundamentos teóricos, resultados de aprendizaje,

características y beneficios de la experiencia). Se decidió incluir publicaciones relacionadas con las ciencias de la salud por ser el campo que más ha desarrollado la temática y donde se encuentran la mayor cantidad de intervenciones con mediciones basales y finales.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### Tipos de experiencias investigativas

En los últimos años, la investigación en el pregrado ha solidificado su papel como componente clave en la educación universitaria y es definida como: “una indagación o investigación realizada por un estudiante de pregrado que hace una contribución intelectual o creativa original en su disciplina” (8). Estas actividades se centran en experiencias científicas “reales” o “auténticas”, con la cual el proceso investigativo se convierte en un medio de comunicación. Estas experiencias/oportunidades científicas “reales” permiten adquirir al estudiante competencias que emulan aquellas que los científicos utilizan (9).

Diversas oportunidades de investigación han sido documentadas para proporcionar una gama de experiencias a los estudiantes del pregrado (10-13). Estas incluyen experiencias basadas en cursos (EIBC), laboratorios de enseñanza basados en proyectos, experiencias investigativas de verano, trabajo con mentores y pasantías de investigación. En la literatura científica se encuentran las denominaciones de “*Course-based undergraduate research experiences (CUREs)*”, “*Undergraduate research experiences (UREs)*” y “*Teacher research experiences (TREs)*”.

Los laboratorios de enseñanza basados en proyectos involucran actividades donde los resultados experimentales se conocen desde el principio, al menos por parte del instructor, las EIBC y pasantías de investigación tienden a abordar nuevas preguntas de investigación donde el resultado suele ser desconocido (14). Las pasantías de investigación, a menudo llamadas estudios dirigidos o proyectos de tesis, normalmente tienen una estructura “uno a uno”, donde un estudiante se empareja con un científico con más experiencia como mentor (15). Las experiencias que se basan en mentores emparejan a un estudiante con un mentor de investigación para su capacitación en técnicas y análisis de datos. Esta experiencia puede persistir durante aproximadamente 1 o 2 años mientras se siga siendo

estudiante. El mentor de investigación no solo es un docente, también puede ser un estudiante de posgrado o un científico posdoctoral; sin embargo, debido a que las parejas mentor-aprendiz tienden a ser autoseleccionadas, la diversidad de estudiantes y el acceso equitativo puede ser limitada (7). Si bien este modelo mentor-estudiante es una forma eficaz de involucrar a los estudiantes en el proceso científico y retenerlos en los campos de ciencia y tecnología, puede resultar difícil gestionar grandes cantidades de estudiantes, especialmente en instituciones donde el profesorado tiene una gran carga de enseñanza (6). Por el contrario, las EIBC son diseñadas para ser accesibles a una mayor cantidad de estudiantes con uno o más profesores como mentores (4).

Las experiencias basadas en cursos son programas estructurados para que los estudiantes puedan aprender todas las habilidades necesarias para la investigación antes de embarcarse en proyectos de investigación más avanzados. Brinda una experiencia única para aprender habilidades de investigación durante sesiones que pueden durar días, semanas o un semestre, también les permite experimentar una investigación de forma más independiente con mentores y asesores que son escogidos por el programa.

### Las experiencias investigativas basadas en cursos (EIBC)

La naturaleza de las EIBC implica que las clases y sesiones se puedan combinar con actividades de investigación para proporcionar una formación constante en las habilidades investigativas fundamentales. Integrar un proyecto de investigación en un curso no solo brinda la oportunidad de trabajar con un gran número de estudiantes a lo largo de un semestre o año académico, sino que puede hacer que la investigación sea más inclusiva al involucrar estudiantes que de otra manera no hubieran realizado investigaciones en su formación estudiantil (7). Son un modelo pedagógico de rápido crecimiento para promover la enculturación y la identidad científica entre todos los estudiantes de un programa y no en unos pocos (7,16). Auchincloss *et al.* (14) proponen que las EIBC pueden definirse por cinco dominios principales en la cual los estudiantes: (1) participan en prácticas científicas, que incluyen el desarrollo de habilidades técnicas y el uso del método científico, (2) descubren

nuevas experiencias debido a que el resultado de un experimento no es conocido por los estudiantes o el docente desde el principio, (3) realizan preguntas de investigación que tengan relevancia y significado más allá del entorno del aula, (4) colaboran con sus pares, estudiantes de años superiores, docentes e investigadores y (5) practican a medida que los experimentos se repiten, refinan y se examinan, generan resultados más objetivos y conocimientos concretos. Las experiencias de aprendizaje deben reflejar la relevancia, curiosidad e inspiración de los propios estudiantes.

Estos dominios brindan a los estudiantes experiencias que integran las complejas etapas de realizar una investigación auténtica (17). Al final, los resultados positivos de las EIBC sobre el desarrollo del estudiante se han documentado en varias competencias investigativas, incluida la identidad científica, autoconfianza, conocimiento del contenido y alfabetización científica (17,18). Los estudiantes que se inscriben en una EIBC han demostrado avances en su percepción de la ciencia como un campo creativo (14,19). Los estudios han informado que los estudiantes que completan una EIBC muestran ganancias asociadas con la participación en pasantías de investigación, mejoras en su autoeficacia científica, habilidades de investigación, mejor rendimiento académico e intención de persistir en una disciplina científica en el posgrado (7,14,17,20,21).

En comparación con los cursos de laboratorio tradicionales, las EIBC brindan más oportunidades para que los estudiantes adquieran competencias investigativas, trabajen en un entorno de investigación colaborativo y sean dueños de un proyecto que tiene impacto en el “mundo real” (22,23). La práctica de enfocar el contenido de una EIBC en descubrimientos relevantes utilizando proyectos simples, fomenta un sentido de logro y autoeficacia entre los estudiantes. En general, las EIBC se han establecido como un método eficaz no solo para abordar el problema de las limitadas competencias investigativas estudiantiles, sino también como un posible medio para promover una comunidad de investigación científica más inclusiva y diversa (7,14).

### Principales antecedentes y resultados de aprendizaje

Los principales antecedentes de las experiencias investigativas basadas en cursos (EIBC) se encuentran

en los cursos relacionados con biología, bioquímica y microbiología. Se diferencia de otros tipos de enfoques basados en la investigación por el hecho de que todos los estudiantes matriculados en el curso son requeridos para participar en un proyecto de investigación que es directamente vinculado al contenido del curso. Tienen la capacidad de involucrar a todos los estudiantes universitarios en cualquier nivel de su programa. Muchos de estos proyectos culminan en publicaciones científicas favoreciendo la producción del programa, los docentes y estudiantes (24).

La revisión de Sadler *et al.* (25) recopiló 53 trabajos publicados entre 1961 y 2008 que se centraban en experiencias de investigación en estudiantes de secundaria, universitarios y profesores, tanto en formación como en servicio; se encontraron ganancias en la confianza para realizar una investigación, mejorar el conocimiento relacionado al curso y nuevas habilidades investigativas. Esta revisión informa que los aprendizajes científicos o programas de investigación varían sustancialmente en cuanto a la duración de la experiencia, el compromiso epistémico de los estudiantes y los apoyos integrados para el aprendizaje. Por su parte, la revisión de Krim *et al.* (26) recopiló 177 trabajos entre el 2014 al 2017, algunos centrados en EIBC, otros centrados en la formación docente y otros basados en experiencias investigativas en general. De la cantidad de artículos analizados se evidencia un aumento sustancial en el número de estudios que involucran experiencias de investigación científica, especialmente para el nivel de pregrado.

De estas revisiones se concluye que las EIBC permiten mejorar las competencias investigativas estudiantiles; sin embargo, se resalta el hecho que la mayoría de estudios se basan en autoreportes de los estudiantes y que se requieren instrumentos y métodos más rigurosos para valorar el impacto de las experiencias. A esto se añade el hecho que un informe de la *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (27) esboza un conjunto de recomendaciones que reiteran la necesidad de realizar estudios bien diseñados que tengan la capacidad de obtener resultados más objetivos a partir de las experiencias investigativas en el pregrado.

Por otro lado, los estudios que implementaron una EIBC reportan diversos hallazgos. En el estudio de Stoeckman *et al.* (28) se desarrollaron módulos

integradores para realizar proyectos de investigación como parte de un curso de bioquímica; y al cabo de dos años de seguimiento se lograron publicaciones con autoría estudiantil, reducción de costos pues se compartió recursos, mayor independencia de los investigadores y mejores actitudes de los estudiantes sobre la investigación. Según las entrevistas a los estudiantes que participan en una EIBC, se indica que fue una experiencia muy significativa y motivadora, debido a que los mismos estudiantes fueron responsables de generar nuevos datos con el potencial de contribuir a la solución de un problema de investigación. Esto, en combinación con la motivación e instrucción por parte del docente, puede explicar el aumento de las ganancias en el aprendizaje (29).

Aunque los antecedentes indicados evidencian resultados favorables al implementar EIBC en la formación de competencias investigativas; existen estudios que discuten la metodología aplicada y discrepan de los hallazgos. En el Reino Unido varios programas de Medicina humana informaron que el 52 % de 905 proyectos basados en EIBC, brindaron oportunidades para que los estudiantes formen sus habilidades de investigación. Los demás proyectos no lograron los objetivos y no fueron completados, lo que indica la necesidad de una cuidadosa consideración sobre cómo diseñar estas experiencias (30,31).

Si bien los estudiantes expuestos a experiencias tempranas de investigación informan ganancias significativas en su autoeficacia para la investigación, cuando estos datos se analizan a largo plazo no se encuentran diferencias significativas frente a estudiantes que no tuvieron tales experiencias. De hecho, se informa una disminución en la identidad científica desde la línea de base hasta el final del segundo año de estudios (32). Si bien no está del todo claro qué podría estar causando esta disminución en la identidad científica, puede que se mejore la autoeficacia de la investigación, pero que no se afecte la identidad científica de los estudiantes. También puede deberse a una desmotivación estudiantil ("depresión del segundo año"), donde los estudiantes luchan o se sienten insatisfechos con el entorno académico durante su segundo año de la experiencia de pregrado (33). Hallazgos similares se encontraron en el estudio de Wolkow *et al.* (34), donde los estudiantes que participaron en la EIBC percibieron una mayor comprensión de lo que hacen los

investigadores y un mayor interés en perseguir una carrera investigadora. Sin embargo, para el último año de estudios, estas percepciones positivas habían caído a niveles compartidos por quienes no llevaron la experiencia. También se indica que para mantener las ganancias de aprendizaje se requieren múltiples EIBC a lo largo de todo un programa.

Kloser *et al.* (35) proporcionan evidencia convincente de que una EIBC resulta en mejoras inmediatas en la confianza en uno mismo, aunque no está claro si estos resultados son estables a lo largo de todo el pregrado, pudiendo disminuir a medida que el estudiante se expone a otras actividades curriculares. Esto también se puede deber a que los estudios que valoran las experiencias se basan en autoinformes y muchos de ellos en instrumentos de medición inapropiados.

## CONCLUSIÓN

Las experiencias investigativas basadas en cursos (EIBC) brindan auténticos proyectos de investigación dentro de un programa de estudio, son cursos en el que los estudiantes trabajan en colaboración para realizar investigaciones y desarrollar contribuciones novedosas a una comunidad científica. Las fuentes de información evidencian que mejoran el aprendizaje estudiantil, la formación de competencias investigativas, ganancias en su identidad científica, autoconfianza, y persistencia en su carrera de estudios. Las características básicas de una EIBC se enfocan en la realización de prácticas científicas, desarrollar preguntas que incentiven el descubrimiento, plantear temas relevantes para una comunidad, trabajar en colaboración con docentes e investigadores y repetir proyectos o actividades.

## CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno por declarar.

## FINANCIAMIENTO

No se contó con financiamiento para la realización del estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. van Wijk IJ, Daelmans HEM, Wouters A, Croiset G, Kusurkar RA. Exploring the timing of medical student research internships: before or after clerkships? *BMC Med Educ.* 2018 Nov 12;18(1):259. DOI 10.1186/s12909-018-1367-z.
2. Dekker FW, Halbesma N, Zeestraten EA, Vogelpoel EM, Bles MT, de Jong PG. Scientific training in the Leiden Medical School preclinical curriculum to prepare students for their research projects. *J Int Assoc Med Sci Educ.* 2009;19(2S):2-6.
3. Laidlaw A, Aiton J, Struthers J, Guild S. Developing research skills in medical students: AMEE Guide No. 69. *Med Teach.* 2012;34(9):e754-71. DOI 10.3109/0142159X.2012.
4. Linn MC, Palmer E, Baranger A, Gerard E, Stone E. Education. Undergraduate research experiences: impacts and opportunities. *Science.* 2015;347(6222):1261757. DOI 10.1126/science.1261757.
5. Langhammer CG, Garg K, Neubauer JA, Rosenthal S, Kinzy TG. Medical student research exposure via a series of modular research programs. *J Investig Med.* 2009; 57(1):11-7. DOI 10.2310/JIM.0b013e3181946fec.
6. Laursen S, Hunter AB, Seymour E, Thiry H, Melton G. Undergraduate research in the sciences: engaging students in real science. New York: Jossey-Bass; 2010.
7. Bangera G, Brownell SE. Course-based undergraduate research experiences can make scientific research more inclusive. *CBE Life Sci Educ.* 2014 Winter;13(4):602-6. DOI 10.1187/cbe.14-06-0099.
8. Beckman M, Hensel N. Making explicit the implicit: defining undergraduate research. *CURQ.* 2009;29(4):40-4.
9. Roth WM. Authentic school science: Knowing and learning in open-inquiry science laboratories. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic; 1995.
10. Lopatto D. Survey of Undergraduate Research Experiences (SURE): first findings. *Cell Biol Educ.* 2004;3:270-7. DOI 10.1187/cbe.04-07-0045.
11. Lopatto D. Undergraduate research as a high-impact student experience. *Peer Rev.* 2010;12:27-30.
12. Seymour S, Hunter AB, Laursen SL, De Antoni T. Establishing the benefits of research experiences for undergraduates in the sciences: First findings from a three-year study. *Science Educ.* 2004;88(4):493-534.
13. Robnett RD, Chemers MM, Zurbriggen EL. Longitudinal associations among undergraduates' research experience, self-efficacy, and identity. *J Res Sci Teach.* 2015;52:847-67.
14. Auchincloss LC, Laursen SL, Branchaw JL, Eagan K, Graham M, Hanauer DI, Et al. Assessment of course-based undergraduate research experiences: a meeting report. *CBE Life Sci Educ.* 2014 Spring;13(1):29-40. DOI 10.1187/cbe.14-01-0004.
15. Shapiro C, Moberg-Parker J, Toma S, Ayon C, Zimmerman H, Roth-Johnson EA, et al. Comparing the impact of course-based and apprentice-based research experiences in a life science laboratory curriculum. *J Microbiol Biol Educ.* 2015;16:186-97. DOI 10.1128/jmbe.v16i2.1045.
16. Esparza D, Wagler AE, Olimpo JT. Characterization of Instructor and Student Behaviors in CURE and Non-CURE Learning Environments: Impacts on Student Motivation, Science Identity Development, and Perceptions of the Laboratory Experience. *CBE Life Sci Educ.* 2020 Mar;19(1):ar10. DOI 10.1187/cbe.19-04-0082.
17. Brownell SE, Hekmat-Scafe DS, Singla V, Chandler Seawell P, Conklin Imam JF, Eddy SL, et al. A high-enrollment course-based undergraduate research experience improves student conceptions of scientific thinking and ability to interpret data. *CBE Life Sci Educ.* 2015 Summer;14(2):14:ar21. DOI 10.1187/cbe.14-05-0092.
18. Olimpo JT, Fisher GR, DeChenne-Peters SE. Development and Evaluation of the Tigriopus Course-Based Undergraduate Research Experience: Impacts on Students' Content Knowledge, Attitudes, and Motivation in a Majors Introductory Biology Course. *CBE Life Sci Educ.* 2016 winter;15(4):ar72. DOI 10.1187/cbe.15-11-0228.
19. Russell CB, Weaver GC. A comparative study of traditional, inquiry-based, and research-based laboratory curricula: Impacts on understanding of the nature of science. *Chem Educ Res Pract.* 2011;12(1):57-67. DOI 10.1039/C1RP90008K.
20. Caruso JP, Israel N, Rowland K, Lovelace MJ, Saunders MJ. Citizen Science: The Small World Initiative Improved Lecture Grades and California Critical Thinking Skills Test Scores of Nonscience Major Students at Florida Atlantic University. *J Microbiol Biol Educ.* 2016 Mar 1;17(1):156-62. DOI 10.1128/jmbe.v17i1.1011.

21. Rodenbusch SE, Hernandez PR, Simmons SL, Dolan EL. Early Engagement in Course-Based Research Increases Graduation Rates and Completion of Science, Engineering, and Mathematics Degrees. *CBE Life Sci Educ.* 2016 Summer;15(2):ar20. DOI 10.1187/cbe.16-03-0117.
22. Corwin LA, Runyon CR, Ghanem E, Sandy M, Clark G, Palmer GC, et al. Effects of Discovery, Iteration, and Collaboration in Laboratory Courses on Undergraduates' Research Career Intentions Fully Mediated by Student Ownership. *CBE Life Sci Educ.* 2018 Jun;17(2):ar20. DOI 10.1187/cbe.17-07-0141.
23. Gin LE, Rowland AA, Steinwand B, Bruno J, Corwin LA. Students Who Fail to Achieve Predefined Research Goals May Still Experience Many Positive Outcomes as a Result of CURE Participation. *CBE Life Sci Educ.* 2018 Dec;17(4):ar57. DOI 10.1187/cbe.18-03-0036.
24. Ayella A, Beck MR. A course-based undergraduate research experience investigating the consequences of nonconserved mutations in lactate dehydrogenase. *Biochem Mol Biol Educ.* 2018 May;46(3):285-96. DOI 10.1002/bmb.21115.
25. Sadler TD, Burgin S, McKinney L, Ponjuan L. Learning science through research apprenticeships: A critical review of the literature. *J Res Sci Teach.* 2010;47(3):235-56.
26. Krim JS, Coté LE, Schwartz RS, Stone EM, Cleaves JJ, Barry KJ, et al. Models and Impacts of Science Research Experiences: A Review of the Literature of CUREs, UREs, and TREs. *CBE Life Sci Educ.* 2019 Dec;18(4):ar65. DOI 10.1187/cbe.19-03-0069.
27. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Undergraduate research experiences for STEM students: Successes, challenges, and opportunities. Washington, DC: National Academies Press; 2017.
28. Stoeckman AK, Cai Y, Chapman KD. iCURE (iterative course-based undergraduate research experience): A case-study. *Biochem Mol Biol Educ.* 2019 Sep;47(5):565-72. DOI 10.1002/bmb.21279.
29. Chan PE, Graham-Day KJ, Ressa VA, Peters MT, Konrad M. Beyond Involvement: Promoting Student Ownership of Learning in Classrooms. *Intervention in School and Clinic.* 2014;50(2):105-13.
30. Bell S. Project-based learning for the 21st century: skills for the future. *Clear House.* 2010;83(2):39-43.
31. Chen CH, Yang YC. Revisiting the effects of project based learning on students' academic achievement: a meta-analysis investigating moderators. *Educ Res Rev.* 2019;26:71-81. DOI 10.1016/j.edurev.2018.11.001.
32. Ott LE, Godsay S, Stolle-McAllister K, Kowalewski C, Maton I, LaCourse WR. Introduction to Research: A Scalable, Online Badge Implemented in Conjunction with a Classroom-Based Undergraduate Research Experience (CURE) that Promotes Students Matriculation into Mentored Undergraduate Research. *UI J.* 2020;11:1.
33. Webb OJ, Cotton DRE. Deciphering the sophomore slump: Changes to student perceptions during the undergraduate journey. *High Educ.* 2019;77(1):173-90. DOI 10.1007/s10734-018-0268-8.
34. Wolkow TD, Jenkins J, Durrenberger L, Swanson-Hoyle K, Hines LM. One Early Course-Based Undergraduate Research Experience Produces Sustainable Knowledge Gains, but only Transient Perception Gains. *J Microbiol Biol Educ.* 2019 Jun 28;20(2):20.2.32. DOI 10.1128/jmbe.v20i2.1679.
35. Kloser M, Brownell S, Shavelson R, Fukami T. Effects of a research-based ecology lab course: a study of non-volunteer achievement, self-confidence, and perception of lab course purpose. *J Coll Sci Teach.* 2013;42:72-81.

