



Universidad de Chile

latinSoTL
Innovar + Comunicar + Avanzar

SINAES
Sistema Nacional de Acreditación
de la Educación Superior

Laspau Affiliated with
Harvard University

gi Centro
Interuniversitario
de Desarrollo

STEM BRASIL

PROF Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea 

Innovar y Transformar desde las Disciplinas:

Experiencias claves en la Educación Superior en
América Latina y el Caribe 2021-2022



Convocatoria a la Publicación Científica de Capítulos de Libro

Experiencias STEM en la formación de profesionales en Biología en Costa Rica

Steve A. Stephens-Cárdenas y Carolina Esquivel Dobles

¹ Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Latina de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica

² Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica
Steve.stephens@ulatina.net; carolina.esquivel.dobles@una.ac.cr

Resumen. Las nuevas tendencias en procesos de investigación en biología requieren de profesionales con capacidades técnicas y habilidades blandas, que les permitan adaptarse a los continuos desafíos que enfrenta la biodiversidad. Lo anterior, implica replantear y modernizar los procesos de enseñanza/aprendizaje en esta área de las ciencias biológicas. Las metodologías STEM surgen como una alternativa novedosa frente el desafío de mejorar las prácticas docentes. El objetivo es realizar una revisión de los métodos y actividades del aprendizaje STEM y su aplicación en carrera de Biología. Las experiencias que se comparten son metodologías de naturaleza mixta que tienen por objetivo generar un aprendizaje significativo a través del aprendizaje activo. Esta vivencia sienta las bases para la creación de nuevas experiencias pedagógicas, que incentiven el aprendizaje en un ambiente extracurricular que favorezcan actitudes como la autonomía y la participación activa guiada por los intereses propios del estudiantado y sus conocimientos, apoyados por el docente a cargo y en colaboración con sus pares, para dar respuesta las problemáticas actuales en el ámbito de la educación en biología y conservación.

Palabras clave: Aprendizaje activo, Metodologías STEM, Enseñanza de las Ciencias Biológicas.

1 Antecedentes

Los avances tecnológicos y científicos de los últimos años, la ciencia abierta, el uso de repositorios y plataformas de datos, el desarrollo de software libre y la tecnología han traído a la biología, como ciencia, a un punto de inflexión (Cañibano et al., 2019). Dado que, como humanidad, los retos que enfrentamos en materia de ambiente, salud, energía y agricultura son de una complejidad cada vez mayor, los profesionales en biología deben contar con habilidades y destrezas de manejar grandes cantidades de datos, usar herramientas bioinformáticas, estadísticas, moleculares y analíticas, adaptarse con rapidez al cambiante escenario científico y trabajar en sinergia con otras ramas de la ciencia y otras disciplinas. Además, los nuevos biólogos deben contar con habilidades blandas, como capacidad de trabajo en equipo, autogestión, estrategias de comunicación y alfabetización (Duncan, 2011), inclinación a trabajar por la resolución de problemas sociales y ética, por mencionar algunas de ellas.

Durante las últimas décadas, muchos científicos y educadores han llamado la atención sobre la necesidad de reestructurar la práctica docente para favorecer el desarrollo de las habilidades previamente mencionadas (Cooper et al., 2015). Pasando de una perspectiva tradicionalista centrada en el docente, a un enfoque activo centrado en el estudiante, que enfatice el desarrollo de experiencias de aprendizaje, que estimulen el pensamiento analítico, la resolución de problemas, creatividad e innovación y comunicación y toma de decisiones frente a las distintas problemáticas de la vida real (Aikens y Dolan, 2014; Snyder y Wiles, 2015; Triana et al., 2020).

En respuesta a este y otros retos de la docencia, el enfoque STEM (por sus siglas en inglés que representan Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) se ha propuesto como guía clave para el desarrollo de procesos educativos atractivos, efectivos e innovadores (Esquer Zárate y Fernández Morales, 2020; Hazari et al., 2017), ya que favorece las experiencias de aprendizaje que incentivan la participación activa del estudiante, facilitan el acceso al conocimiento y aprendizaje, y fomentan el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo (López Simó et al., 2020). Más allá del aula, las habilidades en las áreas STEM no solo se limitan a la capacitación académica, también, apunta a alfabetizar y dotar de competencias a los futuros ciudadanos para hacer una sociedad más capaz de involucrarse y dar respuesta a los retos científico-tecnológicos y sociales de la humanidad (Martín y Santaolalla, 2020).

Las metodologías STEM han permitido la integración de elementos de aprendizaje con un diseño centrado en el estudiante (Vandenhouten et al., 2017). Estas metodologías hacen énfasis en la ejecución de actividades que fomenten la interacción entre pares, con el docente, y con otros actores de la sociedad, de manera que se conviertan en oportunidades de aprendizaje auténtico, contextualizado, en donde los estudiantes son gestores de su propio aprendizaje, y logran desarrollar destrezas como el pensamiento crítico y la creatividad (Hung y Amida, 2020). Todo esto propicia el aprendizaje, a través de la integración de nuevos conocimientos, con experiencias en contextos reales, lo cual favorece el entrelazamiento con conocimientos previos. Estudios previos indican que estas aproximaciones son necesarias para mejorar calidad de la educación, pues generan en los estudiantes actitudes positivas hacia la investigación, la innovación y la autonomía en la toma de decisiones (Armbruster et al., 2009; Libman, 2010).

Es por esto que, el objetivo de este estudio es dar a conocer metodologías STEM usadas con éxito en la enseñanza de las ciencias biológicas a nivel de pregrado. A su vez, se comparten dos experiencias de implementación en dos universidades de Costa Rica. Si bien, existe un sinnúmero de trabajos que describen a profundidad los métodos STEM, este representa uno de los primeros esfuerzos en compilar experiencias aplicadas directamente al área de la biología, lo cual representa un insumo de alto valor para la mejora continua de los procesos de enseñanza y la creación de ambientes favorables para la práctica docente.

ACTIVIDADES STEM

Aunque tradicionalmente, los cursos en el área de las ciencias biológicas son llamativos para los estudiantes por incluir un alto porcentaje de actividades prácticas, desarrolladas tanto en laboratorios como en campo, la instrucción teórica, en la amplia mayoría de los casos, se desarrolla dentro de la estructura tradicional de enseñanza. En la cual, el ejercicio de la docencia se centra alrededor de la instrucción de la materia por parte del profesor mediante un método narrativo centrado en exposiciones teóricas (Apkarian et al., 2021).

Con el enfoque STEM y posteriormente STE(A)M, el cual incluye las artes dentro de las disciplinas de aprendizaje, el proceso de instrucción es reestructurado pasando del método de “exposición didáctica”, a un sistema de metodologías activas centradas en el estudiante (Manduca et al., 2017). Estas metodologías hacen énfasis en favorecer procesos de aprendizaje significativo, en contexto real, a través de la exploración e interacción voluntaria de los estudiantes para con los elementos conceptuales (Freeman et al., 2014; Takeuchi et al., 2020).

No existe un procedimiento estándar para el diseño y aplicación de actividades y prácticas que caen dentro del espectro STEAM, dado que gravitan alrededor de la teoría de aprendizaje constructivista. Esto implica que se desarrollan en respuesta a las interacciones y necesidades del estudiante y el docente, el entorno académico y social,

las estrategias de innovación de los docentes y los recursos disponibles (Cartagena et al., 2017).

Dentro del universo de actividades STEM, existen una serie de categorías mayores que permiten clasificar las actividades de acuerdo con su aplicación más general. Dichas actividades van desde la integración de elementos tecnológicos y actividades activas interdisciplinarias como el *gaming* (Silva y Mesquita, 2021) o la inclusión de aplicaciones de didáctica digital, hasta la transformación de los espacios y formas de aprendizaje como los métodos de aula invertida, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en proyectos, entre otros (Denny Muhammad Fajar et al., 2020). Aunque existe un cúmulo de prácticas pedagógicas STEM, desde el ámbito de los cursos de las carreras universitarias de biología y ciencias afines, la implementación de dichas actividades no es documentada con frecuencia, reduciendo el intercambio de experiencias y, por tanto, demorando el cambio de mentalidad en los docentes. A continuación, se presentan ejemplos de actividades desarrolladas en cursos de Biología dentro de las categorías de actividades más comunes de STEM junto con cursos o asignaturas, donde se han implementado exitosamente (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de las metodologías STEM con ejemplos de asignaturas donde se ha reportado su implementación.

| Actividad | Descripción | Curso implementado | Ejemplos |
|---|--|---|---|
| Aula invertida (AI) | Actividad en el cual los estudiantes estudian y preparan los contenidos de clase fuera de la misma, accediendo a dichos contenidos desde su casa, para posteriormente, en el aula de clase, desarrollar actividades de análisis y discusión que permitan interiorizar los conceptos aprendidos (Heyborne y Perrett, 2016). | Bioinformática Biología General Introducción a Biología | (Compeau, 2019) (Barral et al., 2018) (Sletten, 2017) |
| Modelo de gamificación (Aprendizaje mediado por juegos) | Técnica de aprendizaje en la cual se aprovechan las mecánicas de juego en ambientes de clase para facilitar el aprendizaje de conocimientos, el mejoramiento de habilidades y aumentar la motivación de los estudiantes (Guzmán-Rivera et al., 2020). | Educación escolar Biología Bioinformática: filogenética Educación en Biología general | (McCloughlin et al., 2009) (Kim et al., 2017) (Sadler et al., 2015) |
| Aprendizaje entre pares (Peer project learning) | Estrategia educativa en la que los estudiantes aprenden de las experiencias y conocimientos de sus propios compañeros, mediante la interacción colaborativa que se desarrolla al trabajar en equipo para alcanzar un objetivo. Esta estrategia se puede reflejar en diferentes | Microbiología | (Tariq, 2005) |

| | | | |
|--|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| | tipos de interacciones que van desde las tutorías entre estudiantes y los grupos de estudio, hasta proyectos colaborativos o trabajo de laboratorio y actividades comunitarias (Chang et al., 2020). | Introducción a la Biología | (Snyder y Wiles, 2015) |
| Aprendizaje basado en proyectos | Metodología de aprendizaje que favorece la adquisición de conocimientos y competencias a través de la participación manera activa, en la planeación, implementación y evaluación de proyectos de investigación sobre temáticas complejas y auténticas que tienen aplicación en el mundo real (Martí et al., 2010). | Investigación en el aula: Ecosistemas | (Denny Muhammad Fajar et al., 2020) |
| | | Microbiología | (Husna, s/f) |
| Aprendizaje basado en problemas (Problem Based Learning) | Estrategia didáctica que promueve el auto-aprendizaje, la reflexión y el pensamiento a través de la evaluación y resolución de problemas reales. Durante esta estrategia se acompaña al estudiante en su proceso autónomo de descubrimiento, búsqueda e integración de saberes a través de sus propias experiencias (Paredes-Curin, 2016). | Bioinformática | (Emery y Morgan, 2017) |
| | | Biología Marina | (Masigno, 2014) |
| | | Biología celular | (Chamany et al., 2008) |
| | | Biología general | (Allen y Tanner, 2003) |

2 Pregunta eje

¿Cómo las estrategias de mediación pedagógica STEM impactan la motivación, rendimiento y apreciación de los estudiantes en dos cursos de la carrera de Biología?

3 Narración de los casos

En el ámbito nacional, las experiencias documentadas de la implementación de actividades STEM en el ámbito de la biología son escasas o, al menos, no se encuentran disponibles al público. A continuación, se presentan dos casos de implementación de dichos métodos, en cursos de la carrera de Biología de dos universidades, una pública y otra privada, en Costa Rica, donde se desarrollan metodologías mixtas de aprendizaje activo que favorecen el desempeño de los estudiantes.

Caso 1: Actividad de trabajo integral en curso de Ecología de poblaciones y comunidades

El curso de Ecología de poblaciones y comunidades forma parte del plan de estudios del bachillerato en Biología con énfasis en Biología Tropical de la Universidad Nacional. Se cursa en el segundo ciclo del tercer nivel. Usualmente, el curso tiene una matrícula de 10-20 estudiantes. La temática en la que se aplicaron las innovaciones fue la de Cálculo del Tamaño Poblacional, por medio de métodos de marca-captura-recaptura. En esta clase, se abarca el concepto de población, las propiedades de las

poblaciones biológicas, métodos para marcar animales silvestres y métodos para la estimación del tamaño de una población silvestre. En una clase de dos horas, se aplicaron las siguientes estrategias de enseñanza-aprendizaje:

- 1- Trabajo colaborativo
- 2- Simulación no virtual
- 3- Uso de aplicaciones tecnológicas para obtener retroalimentación durante la clase

Dado que, en el curso de Ecología General, que es requisito del curso de Ecología de poblaciones, se abarcan los conceptos de población y algunas generalidades acerca del cálculo del tamaño poblacional, se inició con una actividad diagnóstica, no sumativa, utilizando la aplicación NearPod. Según las respuestas obtenidas, se realizó repaso de algunos conceptos que no habían sido dominados. Posteriormente, se brindó a los estudiantes hojitas autoadhesivas de colores, se reunieron en grupos y se les pidió que anotaran todos los métodos de marcaje para animales que conocían, usando una hojita para cada método. En promedio, cada grupo anotó 10-15 métodos. Luego de tener todos los métodos escritos, los estudiantes los clasificaron en un gradiente (Fig. 1), de acuerdo con su visibilidad (desde qué tan lejos la persona investigadora puede observar la marca en el animal), permanencia (cuánto tiempo la marca se queda en el animal) y ética (¿Es ético aplicar esta metodología de marcaje en un animal silvestre vivo?). Esta actividad suscita mucha discusión entre los estudiantes, les permite poner a prueba sus conocimientos previos, sus preconcepciones y conocer la experiencia de sus compañeros con otros métodos que no conocen.

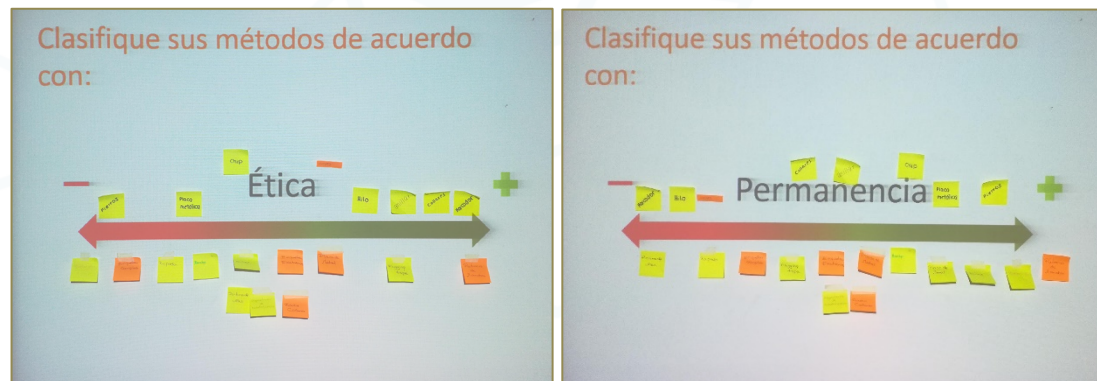


Fig. 1. Fotografías de la actividad, acerca de métodos para el marcaje de animales silvestres, en donde los estudiantes clasificaron diferentes metodologías según una gradiente de visibilidad, permanencia y ética. Elaboración propia.

Posteriormente, se hace una breve introducción al tema de estimación del tamaño poblacional y se propone una actividad de simulación no virtual. Previo a la clase, la persona docente coloca por todo el edificio y alrededores cartulinas en forma de peces, para esta actividad se utilizaron 150 peces. Las cartulinas utilizadas tenían un tamaño de 15 x 7 cm. Se da la instrucción a los estudiantes de salir y recorrer el espacio

buscando peces y colocándoles una marca con lapicero. Cada grupo utiliza una marca característica y deben contar cuántos peces encuentran, durante su primer “muestreo”. Cuando un grupo encuentra un pez, lo marca y lo cambia de lugar para evitar que otro grupo vea su ubicación. Para este muestreo, se les da un tiempo máximo de 10 minutos y pueden realizarlo en pares o tríos. Al terminar los diez minutos, regresan al aula para compartir la experiencia y recibir la siguiente instrucción. Esta primera parte simula un muestreo, en donde se aplica una primera marca en una población de animales y se les libera nuevamente en campo (muestreo con reemplazo). Después, cada grupo realiza un segundo muestreo, en donde cuentan cuántos peces marcados en el primer muestreo encuentran, además, cuántos peces nuevos, sin marcar logran encontrar. Para equiparar el esfuerzo de muestreo, también, se realiza la actividad por diez minutos.

Al regresar al aula, se explica la fórmula que permite calcular con los datos colectados el tamaño de la población. Cada grupo hace sus cálculos y se discute quién se acercó más al tamaño poblacional verdadero (el número de peces de cartulina colocó el docente en primer lugar). También, se discute porque ocurren diferencias en los resultados, algunas veces tienen que ver con las decisiones que tomaron los estudiantes durante el muestreo, por ejemplo, si solo una persona anotaba y otra buscaba o ambas buscaban y anotaban. Después de esta actividad práctica, se entrega una hoja con problemas en donde se amplía como calcular, también, los intervalos de confianza para el valor estimado de tamaño poblacional.

Caso 2: Implementación de la metodología *workshop* para la clase de bioestadística.

El curso de Bioestadística, hace parte de la malla curricular de la carrera de Ciencias Biológicas de la Universidad Latina de Costa Rica. Este es un curso para estudiantes de pregrado, de modalidad teórico-práctico, con una intensidad horaria de 3 horas de contacto a la semana y 9 horas de estudio individual con un promedio de 12 estudiantes por curso (min 6 – máximo 17). La innovación aplicada fue la ejecución del método *workshop* para desarrollar una actividad de análisis de casos y comunicar resultados al público. Esta actividad está dirigida al fomento de habilidades y experiencias requeridas en entornos laborales reales, tomando en cuenta dos de los pilares críticos del análisis estadístico: a) el uso de procedimientos analíticos apropiados para resumir los datos y detectar patrones en los datos y, b) la generación de evidencia estadística y comunicación de conclusiones obtenidas (Biggs, 1996).

La actividad *workshop* o taller de trabajo se define como una actividad mixta de aprendizaje basado en problemas y aprendizaje entre pares, la cual comprende primordialmente una transformación en la estructura de la sesión de clase, dado que durante la misma los estudiantes funcionan como un equipo para resolver de forma conjunta una pregunta de investigación y presentar resultados en formato de póster (Connolly, 2006; Udovic et al., 2002). Como preparación para la actividad, durante la semana previa, se contextualiza una problemática de interés actual y los estudiantes tienen el deber de hacer una consulta previa de cuáles serían los procedimientos estadísticos que mejor podrían generar evidencia para dar solución a dicha problemática. En la semana siguiente y durante todo el tiempo de clase, a los estudiantes

se les solicita presentarse con sus equipos de cómputo (o se les prestan equipos según la necesidad) a la clase, se hace una puesta en común de los resultados de sus investigaciones y se asigna una base de datos no reales, con información que permitirá dar respuesta a la pregunta de investigación establecida previamente. A partir de ese momento, los estudiantes tienen todo el tiempo para trabajar en equipo comprendiendo la base de datos y conociendo por sus propios medios los procedimientos estadísticos más útiles para encontrar evidencia. Al final de la actividad, los estudiantes deberán presentar sus hallazgos en formato de cartel (póster), el cual es colocado en las paredes del aula para ser presentado (Fig. 2).



Fig. 2. Palabras utilizadas por los estudiantes para describir las clases que han recibido con la nueva metodología. Elaboración propia.

Si bien todos los estudiantes trabajan en grupo y conocen los resultados de sus compañeros, estos resultados son presentados a un grupo de estudiantes de otras clases que se vinculan en la parte final de la actividad. En ese sentido, los participantes de la clase funcionan como un equipo de investigación, donde cada estudiante debe presentar sus hallazgos propios y, como equipo, deben generar una conclusión general unificada de cómo los hallazgos individuales permiten responder a la pregunta inicial. Durante la actividad, los estudiantes tienen la libertad de organizar su trabajo, elegir el mejor lugar y forma de trabajo, deben desarrollar procesos de consulta y búsqueda de procedimientos analíticos, pueden discutir con sus compañeros sus hallazgos o colaborar para aprender una técnica estadística, desarrollan proceso de análisis cuantitativo, diseñan y crean carteles a mano y comparten la información más relevante con compañeros de carrera. Así mismo, durante la actividad el profesor se convierte en

un gestor de la actividad, acompañando a todos los participantes, brindando consejos analíticos y guiando las elecciones analíticas de los participantes.

Durante la ejecución del curso, se desarrollaron diferentes herramientas educativas las cuales estaban dirigidas a dar al estudiante un rol de líder en su proceso de aprendizaje. Parte de los objetivos de la actividad es enfrentar al estudiante con sus propias falencias y la necesidad de conocer los principios teóricos de la bioestadística, por su propia iniciativa, que les permita tomar decisiones acertadas en diferentes ámbitos de su carrera profesional.

4 Lecciones, aprendizajes y recomendaciones que surgen de las experiencias

La implementación de estas metodologías tuvo efectos positivos en diversos aspectos de la clase. Estas mejoras se evaluaron por medio de encuestas cortas que los estudiantes contestaron al finalizar la actividad y por la valoración subjetiva del docente de su experiencia. Por ejemplo, en el curso de Ecología de Poblaciones, los estudiantes reportaron sentirse más motivados de continuar con el curso después de haber tenido clases con metodologías activas de enseñanza-aprendizaje que cuando matricularon el curso (Fig. 3). El 90 % de los estudiantes tenía un interés de intermedio a alto y este aumentó después de participar en las clases STEM.

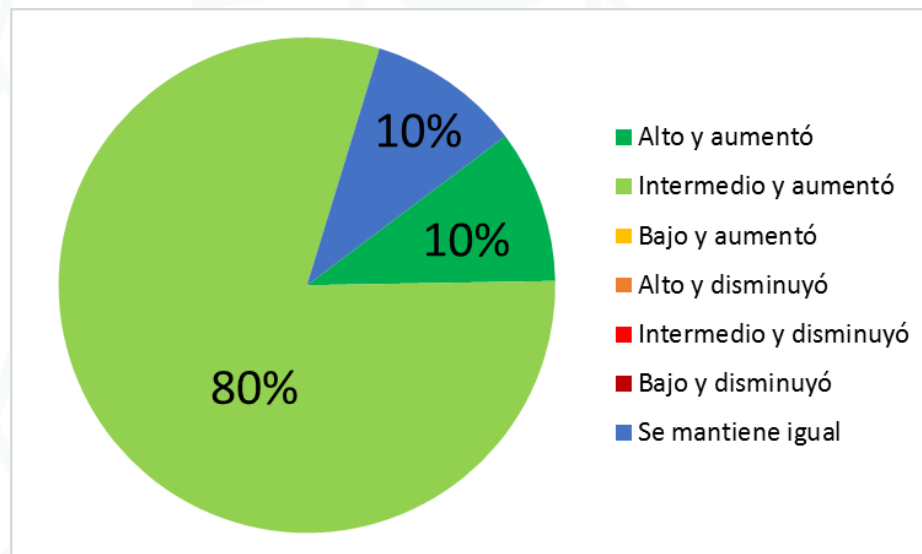


Fig. 3. Calificación que da el estudiantado (n = 10) a su nivel de interés por el curso de Ecología de poblaciones y comunidades, después de haber recibido clases con métodos activos de enseñanza-aprendizaje. Elaboración propia.

Los estudiantes notaron que el curso de Ecología de poblaciones fue más participativo y dinámico que otros cursos que han tomado de su carrera y que comprenden mejor la materia. En cuanto a la complejidad del curso la opinión, es variada, aunque hay una tendencia a percibirla como intermedia (Fig. 4).

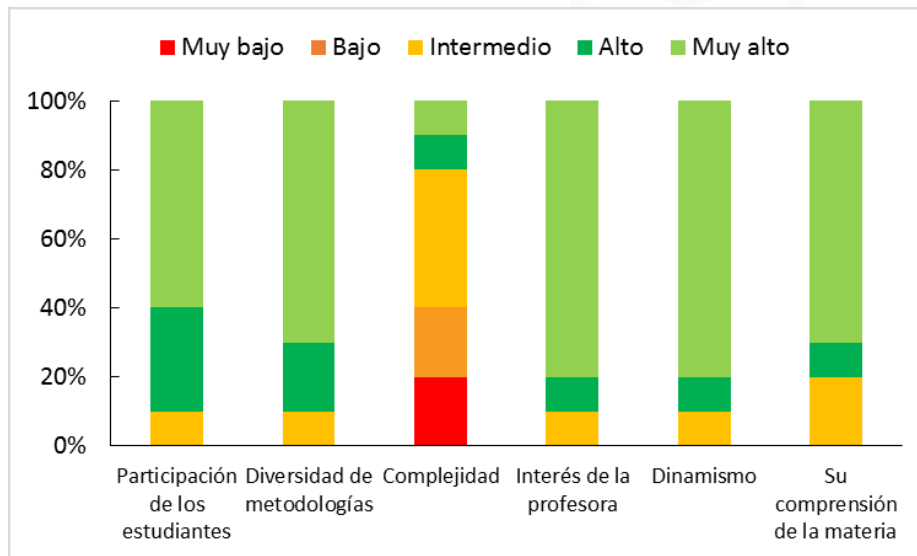


Fig. 4. Calificación que da el estudiantado (n =10) a diferentes aspectos del curso de Ecología de poblaciones y comunidades después de haber recibido clases con métodos STEM. Elaboración propia.

En el curso de Bioestadística, se observó un aumento en el nivel de participación y compromiso con la clase, así como un aumento en la calidad de las discusiones y argumentación analítica que se generó durante las sesiones. Los estudiantes se apersonaron de su rol de investigadores y su equipo, siendo más críticos y analíticos a la hora de la toma de decisiones en base a los resultados, producto del análisis estadístico. Algo que es alentador, cuando de forma anecdótica los estudiantes indican que los cursos de naturaleza analítica como Calculo, Estadística, Física y Bioestadística son cursos difíciles, aburridos y carentes de relevancia, al menos en el corto plazo. Además, reportan una muy alta comprensión de la materia y participación grupal (Fig. 5).

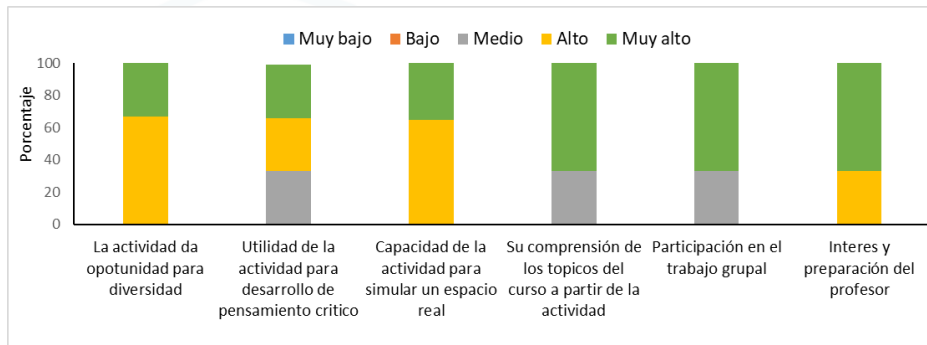


Fig. 5. Calificación que da el estudiantado (n =12) a diferentes aspectos del curso de Bioestadística, después de haber recibido clases con métodos STEM. Elaboración propia.

Por último, se les pidió a los estudiantes de ambos cursos que usaran tres palabras para definir su experiencia. En el curso de Ecología destacaron que la clase fue entretenida y dinámica, mientras que para los estudiantes de Bioestadística la clase fue diferente y nueva (Fig. 6).



Fig. 6. Palabras utilizadas por los estudiantes para describir las clases que han recibido con la nueva metodología en Ecología de poblaciones (A) y en Bioestadística (B). Elaboración propia.

En síntesis, la aplicación de métodos STEM en diversas áreas del ámbito de la carrera de Biología tuvo un impacto positivo sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes. En particular, sobre el desarrollo de una percepción positiva hacia las temáticas dadas. Este tipo de vínculo ha demostrado ser crítico en los procesos de enseñanza aprendizaje pues, sienta las bases para el autoaprendizaje y la exploración académica por parte del estudiante. Si bien, estudios previos han validado la implementación de métodos STEM en diferentes ámbitos de la enseñanza de la Biología, los casos acá expuestos demuestran que se los métodos STEM se pueden adaptar de manera óptima al contexto de las universidades públicas y privadas de Costa Rica.

Las experiencias que acá se comparten demuestran que la revisión de los métodos de enseñanza, así como la introducción de actividades que mejoren la didáctica e incentiven el trabajo mancomunado, ajustadas a la realidad de nuestro entorno social y académico más próximo son claves para mejorar tanto, los procesos de aprendizaje

como la motivación intrínseca de los estudiantes de la carrera de Biología. Estos resultados son un compromiso al mejoramiento continuo de las actividades, y la adaptación a las nuevas opciones curriculares, las tendencias científicas y los gustos y preferencias de los estudiantes, en aras de facilitar la formación de los biólogos del futuro.

5 Bibliografía

- Aikens, M. L., y Dolan, E. L. (2014). Teaching quantitative biology: goals, assessments, and resources. *Molecular Biology of the Cell*, 25(22), 3478-3481. <https://doi.org/10.1091/mbc.e14-06-1045>
- Allen, D., y Tanner, K. (2003). Approaches to Cell Biology teaching: Learning content in Context—Problem-Based Learning. *Cell Biology Education*, 2(2), 73-81. <https://doi.org/10.1187/cbe.03-04-0019>
- Apkarian, N., Henderson, C., Stains, M., Raker, J., Johnson, E., y Dancy, M. (2021). What really impacts the use of active learning in undergraduate STEM education? Results from a national survey of chemistry, mathematics, and physics instructors. *PLOS ONE*, 16(2), e0247544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247544>
- Armbruster, P., Patel, M., Johnson, E., y Weiss, M. (2009). Active Learning and Student-centered Pedagogy improve student attitudes and performance in Introductory Biology. *CBE—Life Sciences Education*, 8(3), 203–213. <https://doi.org/10.1187/cbe.09-03-0025>
- Barral, A. M., Ardi-Pastores, V. C., y Simmons, R. E. (2018). Student learning in an Accelerated Introductory Biology course is significantly enhanced by a Flipped-Learning Environment. *CBE—Life Sciences Education*, 17(3), ar38. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-07-0129>
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347-364. <https://doi.org/10.1007/BF00138871>
- Cañibano, C., Woolley, R., Iversen, E. J., Hinze, S., Hornbostel, S., y Tesch, J. (2019). A conceptual framework for studying science research careers. *The Journal of Technology Transfer*, 44(6), 1964–1992. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9659-3>
- Cartagena, Y. G., González, D. S. M. R., y Oviedo, F. B. (2017). Actividades STEM en la formación inicial de profesores: nuevos enfoques didácticos para los desafíos del siglo XXI. *Diálogos educativos*, (33), 35–46. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6212470>
- Chamany, K., Allen, D., y Tanner, K. (2008). Making Biology Learning Relevant to Students: Integrating People, History, and Context into College Biology Teaching. *CBE—Life Sciences Education*, 7(3), 267-278. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-06-0029>
- Chang, S.-C., Hsu, T.-C., y Jong, M. S.-Y. (2020). Integration of the peer assessment approach with a virtual reality design system for learning earth science. *Computers & Education*, 146, 103758. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103758>
- Compeau, P. (2019). Establishing a computational biology flipped classroom. *PLOS Computational Biology*, 15(5), e1006764. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006764>
- Connolly, M. R. (2006). Using workshops to improve instruction in STEM courses. *Metropolitan Universities*, 17(4), 53-65.
- Cooper, M. M., Caballero, M. D., Ebert-May, D., Fata-Hartley, C. L., Jardeleza, S. E., Krajcik, J. S., ... Underwood, S. M. (2015). Challenge faculty to transform STEM learning. *Science*, 350(6258), 281-282. <https://doi.org/10.1126/science.aab0933>
- Denny Muhammad Fajar, Ramli, M., Ariyanto, J., Widoretno, S., Sajidan, S., y Prasetyanti, N.

- M. (2020). Enhancing students' thinking skills through project-based learning in biology. *Biosfer*, 13(2), 230-249. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.v13n2.230-249>
- Duncan, A. (2011). Soft skills for scientists: not a soft option. *Assessment, Teaching & Learning Journal*, 11, 10-13.
- Emery, L. R., y Morgan, S. L. (2017). The application of project-based learning in bioinformatics training. *PLOS Computational Biology*, 13(8), e1005620. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005620>
- Esquer Zárate, M. D. P., y Fernández Morales, K. (2020). La práctica docente en áreas STEM: mapeo sistemático de la literatura. *Revista Educación*, 45(1), 547-561. <https://doi.org/10.15517/revedu.v45i1.42809>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., y Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Guzmán-Rivera, M. Á., Escudero-Nahón, A., y Canchola-Magdaleno, S. L. (2020). "Gamificación" de la enseñanza para ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas: cartografía conceptual. *Sinéctica*, (54), e1009. [https://doi.org/10.31391/S2007-7033\(2020\)0054-002](https://doi.org/10.31391/S2007-7033(2020)0054-002)
- Hazari, Z., Potvin, G., Cribbs, J. D., Godwin, A., Scott, T. D., y Klotz, L. (2017). Interest in STEM is contagious for students in biology, chemistry, and physics classes. *Science Advances*, 3(8), e1700046. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700046>
- Heyborne, W., y Perrett, J. (2016). To Flip or Not to Flip? Analysis of a Flipped Classroom pedagogy in a General Biology course. *Journal of College Science Teaching*, 045(04). https://doi.org/10.2505/4/jcst16_045_04_31
- Hung, W., y Amida, A. (2020). Problem-Based Learning in College Science. En *Active Learning in College Science* (pp. 325-339). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_21
- Husna, H., Hasruddin, y Gultom, T. (s/f). The effect of Project-Based Learning and Problem-Based Learning in the order of Contextual Learning in Microbiology lectures on the High Order Thinking skills of Biology students in FMIPA UNIMED. En *Proceedings of the 4th Annual International Seminar on Transformative Education and Educational Leadership (AISTEEL 2019)* (pp. 368-371). Atlantis Press. Recuperado de <https://www.atlantipress.com/article/125928364>
- Kim, M., Kim, Y., Qian, L., y Song, J. S. (2017). TeachEnG: a Teaching engine for Genomics. *Bioinformatics*, 33(20), 3296-3298. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx447>
- Libman, Z. (2010). Integrating Real-Life Data Analysis in Teaching Descriptive Statistics: A Constructivist Approach. *Journal of Statistics Education*, 18(1), 1-23. <https://doi.org/10.1080/10691898.2010.11889477>
- López Simó, V., Couso Lagarón, D., y Simarro Rodríguez, C. (2020). Educación STEM en y para el mundo digital. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(62). <https://doi.org/10.6018/red.410011>
- Manduca, C. A., Iverson, E. R., Luxenberg, M., Macdonald, R. H., McConnell, D. A., Mogk, D. W., y Tewksbury, B. J. (2017). Improving undergraduate STEM education: The efficacy of discipline-based professional development. *Science Advances*, 3(2), e1600193. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600193>
- Martí, J. A., Heydrich, M., Rojas, M., y Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 11-21.
- Martín, O., y Santaolalla, E. (2020). Educación STEM: Formación con «con-ciencia». *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, (381), 41-46. <https://doi.org/10.14422/pym.i381.y2020.006>
- Masigno, R. M. (2014). Enhancing Higher Order Thinking Skills in a Marine Biology Class through Problem-Based Learning. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*,

2(5), 1-6.

- McCloughlin, T., Gash, H., y O'Reilly, S. (2009). Teaching ecology using simple variable-based Flash games. *Science Live for Teachers (SL4T)*; Dublin City University/Royal Dublin Society: Dublin, Ireland.
- Paredes-Curín, C. R. (2016). Aprendizaje basado en problemas (ABP): Una estrategia de enseñanza de la educación ambiental, en estudiantes de un liceo municipal de Cañete. *Revista Electrónica Educare*, 20(1). <https://doi.org/10.15359/ree.20-1.6>
- Sadler, T. D., Romine, W. L., Menon, D., Ferdig, R. E., y Annetta, L. (2015). Learning Biology through Innovative curricula: A comparison of Game- and Nongame-Based approaches. *Science Education*, 99(4), 696-720. <https://doi.org/10.1002/sce.21171>
- Silva, P., y Mesquita, A. (2021). Gamification, Serious Games and Simulations: Experiences and contributions of international projects in Higher Education. En *In International Conference on Tourism, Technology and Systems* (pp. 430-438). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4256-9_39
- Sletten, S. R. (2017). Investigating Flipped Learning: Student self-regulated learning, perceptions, and achievement in an Introductory Biology course. *Journal of Science Education and Technology*, 26(3), 347-358. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9683-8>
- Snyder, J. J., y Wiles, J. R. (2015). Peer Led Team learning in Introductory Biology: Effects on peer leader critical thinking skills. *PLOS ONE*, 10(1), e0115084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115084>
- Takeuchi, M. A., Sengupta, P., Shanahan, M.-C., Adams, J. D., y Hachem, M. (2020). Transdisciplinarity in STEM education: a critical review. *Studies in Science Education*, 56(2), 213-253. <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755802>
- Tariq, V. N. (2005). Introduction and evaluation of Peer-assisted Learning in first-year undergraduate Bioscience. *Bioscience Education*, 6(1), 1-19. <https://doi.org/10.3108/beej.2005.06000004>
- Triana, D., Anggraito, Y. U., y Ridlo, S. (2020). Effectiveness of Environmental Change Learning Tools Based on STEM-PjBL Towards 4C Skills of Students. *Journal of Innovative Science Education*, 9(2 SE-Articles). <https://doi.org/10.15294/jise.v8i3.34048>
- Udovic, D., Morris, D., Dickman, A., Postlethwait, J., y Wetherwax, P. (2002). Workshop Biology: Demonstrating the effectiveness of Active Learning in an Introductory Biology course. *BioScience*, 52(3), 272-281. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0272:WBDTEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0272:WBDTEO]2.0.CO;2)
- Vandenhouten, C., Groessl, J., y Levintova, E. (2017). How Do You Use Problem-Based Learning to Improve Interdisciplinary Thinking? *New Directions for Teaching and Learning*, 2017(151), 117-133. <https://doi.org/10.1002/tl.20252>