



## Impacto del modelo STEM en el aprendizaje del Principio de Pascal

### Impact of the STEM model on learning Pascal's Principle

Rafael Norberto Calle-Chumo  
*Universidad Casa Grande, Guayaquil, Ecuador*

[rafael.calle@casagrande.edu.ec](mailto:rafael.calle@casagrande.edu.ec)

 <https://orcid.org/0000-0002-0816-6879>

Recepción: 14/02/2022 | Aceptación: 27/04/2022 | Publicación: 10/05/2022

#### Cómo citar (APA, séptima edición):

Calle-Chumo, R. N. (2022). Impacto del modelo STEM en el aprendizaje del Principio de Pascal. *INNOVA Research Journal*, 7(2), 78-96.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v7.n2.2022.2044>

#### Resumen

El propósito del presente artículo fue analizar el rendimiento de dos metodologías activas para mejorar la enseñanza de la Física, a través de una comparación entre aprendizaje basado en proyectos y STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), durante una práctica del Principio de Pascal en estudiantes de ingeniería, asistida por la metodología cuantitativa. Para ello, se determinó la ganancia de aprendizaje normalizada de Hake frente a dos escenarios de instrucción; ABP (grupo de control) frente a STEM (grupo experimental) con 69 estudiantes entre 18 y 21 años, a través de un cuestionario de diez preguntas de opción múltiple con una única respuesta. Como resultado, los estadísticos de aprendizaje compararon ambas metodologías y presentaron dos indicadores de rechazo: probabilidad inferior y estadístico t. Seguidamente, un análisis post-hoc apoyado por un factor de concentración verificó en cada grupo las medias de calificaciones de entrada y salida en zonas de comprensión. Al finalizar, se comprobó que la metodología STEM generó mayor incremento en el aprendizaje ya que sus anchos de distribución distaban en mayor valor frente al ABP, dejando la concentración de zonas en niveles superiores denominados como correctos. En definitiva, se comprobó que el modelo STEM brinda mayor efectividad metodológica, ya que caracteriza el entorno propicio para facultar el aprendizaje hacia la comprensión, creatividad, análisis y cálculos en estudiantes universitarios de ingeniería.

**Palabras claves:** enseñanza; aprendizaje; metodología; física; STEM.

### **Abstract**

The purpose of this article was to analyze the performance of two active methodologies to improve the teaching of Physics, through a comparison between project-based learning and STEM, during a practice of Pascal's Principle in engineering students, assisted by the methodology quantitative. To do this, Hake's normalized learning gain was determined against two instructional scenarios; PBL (control group) versus STEM (experimental group) with 69 students between 18 and 21 years old, through a questionnaire of ten multiple-choice questions with a single answer. As a result, the learning statistics compared both methodologies and presented two rejection indicators: lower probability and t-statistic. Next, a post-hoc analysis supported by a concentration factor verified in each group the means of entry and exit grades in areas of comprehension. At the end, it was verified that the STEM methodology generated a greater increase in learning since its distribution widths were far from the ABP, leaving the concentration of zones at higher levels denominated as correct. In short, it was found that the STEM model provides greater methodological effectiveness, since it characterizes the environment conducive to empowering learning towards understanding, creativity, analysis and calculations in university engineering students.

**Keywords:** teaching; learning; methodology; physics; STEM.

### **Introducción**

Hoy en día, el creciente interés por metodologías o modelos activos ha dado lugar a la coexistencia de diversas conceptualizaciones que desafían su comprensión. En la medida en que se pretenda que supongan un avance significativo en la didáctica de las ciencias, resulta necesario mejorar la comprensión de los docentes sobre su significado, desde su conceptualización o práctica in situ.

La enseñanza de la física es una labor ardua, puesto que, requiere que los estudiantes generen o propicien entornos de motivación intrínseca para el aprendizaje. Por ello, el docente necesita de un cambio situacional, no solo en las metodologías de enseñanza/aprendizaje que se implementan en el aula, sino, en la forma de pensar y actuar (Benegas et al., 2013). En consecuencia, se busca que el diseño del aprendizaje activo, transforme la conceptualización metodológica tradicionalista de los docentes de física, reemplazando y reforzando su clase teórica con actividades que permitan al educando predecir eventos mediante la observación de fenómenos físicos, discutan los resultados experimentales y sinteticen la información en base a sus experiencias educativas en nuevos entornos de aprendizaje.

Promover actividades independientes y complementarias es el enfoque que se propone a la nueva comunidad docente, ya que permitirá desarrollar habilidades y competencias de los estudiantes para su desenvolvimiento en la sociedad actual debido a la constante renovación y evolución en la enseñanza de la Física (Hernández et al., 2018).

En este sentido, el objetivo de la presente investigación es dilucidar el impacto de dos metodologías que involucran al estudiantado hacia la comprensión de una temática que conecta su realidad y desarrolla habilidades para la entrega de un producto final de trabajo. Para ello, se

compara la Metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos frente a la Metodología STEM, a través, de una ganancia de aprendizaje normalizada y su evolución durante una práctica del Principio de Pascal.

### Marco teórico

Concerniente al marco conceptual, en el campo de la mecánica de fluidos, la hidrostática, se encarga de los fenómenos asociados a fluidos en reposo. Así pues, uno de sus principios básicos se denomina; Principio de Pascal, el cual establece que: “la presión que se ejerce en un líquido confinado, se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones y sentidos”. Entre sus aplicaciones reconocidas resalta la prensa hidráulica, la cual, consiste en dos tubos interconectados provistos de un pistón cada uno, donde circula aceite. La particularidad de dicho mecanismo radica en la diferencia de área para cada pistón, de manera que, al aplicar una fuerza al pistón menor, se transmita igual intensidad, para generar un incremento en la fuerza del pistón mayor (Lara-Barragán y Núñez, 2007).

Por otra parte, en cuanto a las metodologías aplicadas a la enseñanza de la física, la creciente diversidad puede ocasionar cambios durante la comprensión de nuevos saberes (Vega, 2017). Por ello, el presente estudio emplea un cuestionario validado a través de teorías como: teoría clásica test o teoría moderna del ítem. Por lo cual, para el caso del Principio de Pascal existe un estudio relacionado que ha pasado por etapas necesarias de validación y confiabilidad que examina la evolución del aprendizaje (Barbosa, 2013).

Del mismo modo, otro fundamento según Solórzano y García (2016), detallan que el conectivismo es una teoría del aprendizaje para la nueva era digital, la cual, está centrada en el análisis de las posibles limitaciones del conductismo y se describe como una oportunidad de intercambiar conocimientos y experiencias con varios individuos. De modo que, pretende justificar la consecuencia que la tecnología ha tenido sobre la manera en que actualmente nos desenvolvemos, manifestamos y entendemos (Zapata, 2015). Es así que, el aprendizaje durante la era digital se caracteriza como un proceso de enlace continuo entre el aprendiz y su entorno; el cual, no está controlado por el individuo; no obstante, el entendimiento o conocimiento aplicable puede habitar fuera del ser humano (Sánchez, 2012). En definitiva, el conectivismo actual distingue la importancia de las herramientas digitales como un intento de mediación para el sistema educativo; sin embargo, sugiere que el rol de la tecnología se dirija en la distribución de identidad, cognición y conocimiento (Sánchez, et al., 2019). En concordancia con lo expuesto, se ha propuesto el uso de dos metodologías activas que podrán ser comparadas para analizar el impacto en el rendimiento de los estudiantes.

Es importante señalar, que el enfoque actual de la educación y las nuevas metodologías educativas, sin duda alguna, se basa en teorías que enfatizan el uso de métodos didácticos que ofrezcan al estudiante un aprendizaje activo (Pavon, et ál., 2016). Por ello, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una metodología docente centralizada en los estudiantes con un rol protagonista que direcciona su propio aprendizaje. Se trata de una formación que permite a los estudiantes hacer investigaciones, integrar la teoría con la práctica, y emplear los conocimientos y destrezas para amplificar un mecanismo de solución viable de un caso o problema planteado (Toledo y Sánchez, 2018). Así pues, los estudios de ABP están apoyados desde investigaciones

realizadas con éxito en la educación primaria y secundaria (Bradley-Levine y Mosier 2014). Seguidamente, en el entorno universitario la carrera de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Sevilla ha empleado la metodología ABP en Redes de Ordenadores (Estepa, 2011), del mismo modo, la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto de la Universidad de Zaragoza adaptó el método de sistemas de retículas de Diseño Gráfico con enseñanza ABP (Manchado y Berges, 2013). Por otra parte, para enseñanzas de cuarto nivel, se ha puesto en marcha la ABP en programas de postgrado con la finalidad de generar metodologías activas (Garrigós y Valero-García, 2012; Gonçalves, 2014).

Aunque la metodología ABP se puede realizar de manera individual, en el marco universitario se efectúa con frecuencia en grupos reducidos. En esencia, el ABP gira en torno a la investigación impulsada por los propios estudiantes partiendo de un caso complejo que requiere trabajo en equipo y concluye en la entrega de un producto final (Toledo y Sánchez, 2018).

En otro orden de ideas, hoy en día, existe una metodología educativa denominada STEM, la cual, se ha definido de forma imprecisa, con diversas concepciones que varían desde la visión como una sola asignatura hasta situaciones que proyectan al modelo STEM como un enfoque transdisciplinar (Bybee, 2013; Ring et al., 2017). De este modo, una de las definiciones generales de la educación STEM lo define como: “exploración de la enseñanza/aprendizaje entre dos o más áreas, y/o entre una asignatura STEM y una o más asignaturas complementarias” (Sanders, 2009, p. 21). Por consiguiente, el modelo o educación STEM se precisa como una unidad que se ha de enseñar de forma integrada y cohesiva (Breiner et al., 2012; Toma y Greca, 2018).

Igualmente, en trabajos previos se han presentado las conclusiones sobre la definición de educación STEM, considerándola un enfoque educativo que integra conocimientos y/o habilidades de varias disciplinas implicadas en el acrónimo; Science, Technology, Engineering and Mathematics orientado a la resolución de problemas y contextualizado en situaciones con diferentes niveles de autenticidad (Aguilera et al., 2021). En un enfoque de educación STEM, los docentes enfrentan el desafío de favorecer procesos educativos que permitan identificar conexiones entre las disciplinas, por medio del diseño de lecciones interdisciplinarias (Carmona-Mesa et al., 2019; Li, Ernst y Williams, 2016).

A continuación, se describe las etapas del modelo respecto a las cuatro disciplinas propuestas:

a. Etapa 1: Ciencia

Esta disciplina pretende explicar la existencia de todo en forma natural. Es así que, las áreas de la educación científica como: Física, Química, Ciencias de la Tierra, Biología, Biotecnología y Biomedicina son consideradas como mecanismos explícitos de fenómenos naturales. Por tal motivo, los estudiantes conocen hechos científicos y dan sentido de pertinencia o aplicación en problemáticas nuevas y actuales. En esta etapa se exige tres necesidades: (1) exploración de puntos de vistas u observaciones, (2) trabajo experimental y (3) consenso final. El aporte del aprendizaje científico posibilita al estudiantado a pensar de manera disciplinada y científica (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018).

b. Etapa 2: Tecnología

Se responsabiliza del estudio de lo creado por el ser humano, conectando las ciencias y las matemáticas en un mismo entorno. La estrecha relación en el ámbito educativo, se debe a que los avances científicos están concatenados con los tecnológicos, lo cual genera una correspondencia directa, donde la ciencia brinda desarrollo sostenible y la tecnología aporta explicación. El objetivo principal de la tecnología se basa en formar personas funcionales y técnicas, de tal manera que puedan acoplarse a las variaciones tecnológicas inesperadas, restando importancia a contenidos singulares y enfocando su atención a los sistemas y conexiones. Por ello, se considera como disciplina transversal del modelo STEM (Dugger, 1993).

c. Etapa 3: Ingeniería

El uso de la ingeniería se extiende hasta la creatividad apoyado en las ciencias y matemáticas, y que se sirve de la tecnología para crear o diseñar contribuciones significativas para el mundo (Yakman, 2008), en otras palabras, la ingeniería desarrolla y amplifica nuevas tecnologías.

Por otro lado, llama la atención la escasa inclusión de la ingeniería dentro de las disciplinas que integran la educación básica, lo cual ha propiciado una desvinculación entre los estudiantes y la ciencia. Por ello, en atención a lo expuesto, es necesario que el estudiantado pueda asimilar a temprana edad competencias con las ingenierías para diseñar, construir y dirigir experimentos, así como la interpretación de datos y análisis de resultados, con la finalidad de trabajar de forma multidisciplinaria, identificar problemas y proponer mecanismos de resolución (Grasso y Martinelli, 2007).

d. Etapa 4: Matemáticas

Es una disciplina consolidada como una asignatura individual y que su estudio se centra en conocer y comprender los números y sus operaciones, con las diversas variantes según cada aplicación. Las matemáticas otorgan un apoyo principal al modelo STEM, debido a que la resolución de problemas y su razonamiento lógico integran conceptos en la vida real. Su enseñanza/aprendizaje debe estar sujeta a casos aplicados con el entorno, revelando la forma correcta de pensar y cuestionar la realidad, como un entendimiento del lenguaje universal, a través del cual todas las comunicaciones e interacciones son reguladas, definidas y comprendidas (Alsina y Calabuig, 2019).

Por otra parte, un factor significativo que posibilita las intenciones de carrera de los estudiantes y la permanencia en las disciplinas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) es la dirección de sus intereses y motivaciones después del nivel primario, debido a que las creencias de los estudiantes juegan un rol fundamental (Chittum et al., 2017).

## Metodología

El presente estudio de investigación se sustenta desde el nivel cuantitativo, pues según Sheard (2018), la investigación cuantitativa maneja variables numéricas a través de métodos estadísticos, apoyados en el ordenamiento, análisis, interpretación y descripción de resultados;

destaca la importancia o interés al presentar datos o valores sobre pruebas estadísticas y las formas correctas de gestión. Del mismo modo, para planificar las distribuciones de grupos y su análisis es necesario definir una población específica, en otras palabras, establecer los entes o individuos que estarán sujetos al estudio detalladamente (Taylor, 2019).

En virtud de lo expuesto, el estudio presenta una población conformada por 69 estudiantes pertenecientes a una universidad ecuatoriana que cursaron la asignatura de Física II, del segundo semestre de la carrera de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ciencias Naturales, cuyas edades oscilan entre los 18 años y 21 años. Además, el estudio se llevará a cabo de acuerdo a la distribución de los cursos, dispuesta por la asignación de carrera del programa universitario; el curso G-201 denominado grupo de control asistido por la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) dispone de 32 estudiantes y el curso G-202 denominado grupo experimental asistido por la metodología STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) dispone de 37 estudiantes, proponiendo un PCE (prueba corta de entrada) y un PCS (prueba corta de salida), para comparar la ganancia de aprendizaje normalizada mediante el factor de Hake entre ambas metodologías de enseñanza y determinar la evolución del aprendizaje con el factor de BAO.

El instrumento de investigación denominado prueba corta de entrada o salida, es un cuestionario con diez ítems de opción múltiple que aborda los contenidos relevantes del Principio de Pascal, presenta una sola respuesta correcta y tiene un diseño cuasi-experimental que según Hernández Sampieri (2006), se aplican a hechos o situaciones reales donde no se pueden conformar grupos aleatorios, pero se puede manipular la variable experimental. Las hipótesis planteadas son:  $H_0$ : La utilización del Modelo STEM genera igual rendimiento que el modelo ABP para el estudiantado que desarrolló una práctica del Principio de Pascal.  $H_1$ : La utilización del Modelo STEM genera diferente rendimiento que el modelo ABP para el estudiantado que desarrolló una práctica del Principio de Pascal.

## **Procedimiento**

### **Grupo de control**

Para el curso G-201 el proceso de enseñanza/aprendizaje se orienta con la metodología ABP. Inicialmente, la propuesta permite a los estudiantes adquirir conocimientos y competencias clave mediante la elaboración de proyectos que dan respuesta a problemas de la vida real. El estudiantado se convierte en protagonista de su propio aprendizaje y desarrollan su autonomía y responsabilidad, ya que son ellos los encargados de planificar, estructurar el trabajo y elaborar el producto para resolver la temática planteada. Para ello, la secuencia didáctica de la metodología ABP, se realizó mediante una adaptación del esquema propuesto por Cadena (2002) distribuidos en doce puntos.

1. Fase de entrada. Una prueba objetiva corta de entrada (PCE), con la intención de diagnosticar los conocimientos previos del estudiante y promover la toma de conciencia sobre el estado de su propia información científica, lo que permite clarificar la búsqueda futura en el proceso experimental y de resultados.

2. Fase de planteamiento. Principio de Pascal. Una pregunta guía abierta ayuda a detectar conocimientos previos sobre el tema y les invite a pensar qué deben investigar y que estrategias deben poner en marcha para resolver la cuestión.
3. Fase de equipos. Organiza grupos de tres o cuatro, para que haya diversidad de perfiles y cada uno desempeñe un rol.
4. Fase del producto. Establece el producto que deben desarrollar los estudiantes en función de las competencias que quieras desarrollar. Una investigación científica, una maqueta y presentación del tema (rúbrica).
5. Fase de planificación. Plan de trabajo donde especifiquen las tareas previstas, los encargados de cada una y el calendario para realizarlas.
6. Fase de investigación. Autonomía para búsqueda, contraste y análisis de información que necesitan para realizar el trabajo.
7. Fase de análisis y síntesis. Ha llegado el momento de que tus alumnos pongan en común la información recopilada, compartan sus ideas, debatan, elaboren hipótesis, estructuren la información y busquen entre toda la mejor respuesta a la pregunta inicial.
8. Fase de elaboración. En esta fase los estudiantes tendrán que aplicar lo aprendido a la realización de un producto que dé respuesta a la cuestión planteada al principio desarrollando su creatividad.
9. Fase de presentación. Los estudiantes deben exponer a sus compañeros lo que han aprendido y mostrar cómo han dado respuesta al problema inicial.
10. Fase de resolución colectiva. Una vez concluidas las presentaciones de todos los grupos, reflexiona con tus alumnos sobre la experiencia e invítalos a buscar entre toda una respuesta colectiva a la pregunta inicial.
11. Fase de clase teórica. Expuesta por el docente con énfasis en la discusión de los fundamentos físicos respecto a la práctica del Principio de Pascal.
12. Fase de salida. Una prueba corta de salida (PCS), que consiste en una serie de ítems de elección múltiple y de apareamiento, para poder cuantificar y comparar las consecuencias didácticas de toda la metodología previamente expuesta, cuyos resultados mostramos en las tablas de resultados.

### **Grupo experimental**

Para el curso G-202 el mecanismo de enseñanza/aprendizaje se direcciona con una propuesta metodológica alternativa e innovadora a través del modelo STEM. Su objetivo central consistió en provocar un cambio actitudinal en el estudiantado mediante la promoción de un conflicto cognitivo; proceso que permite vincular el conocimiento nuevo con las experiencias de aprendizaje previas. Así pues, desde los conceptos básicos de Hidrostática, se introduce en la situación experimental con la ayuda de laboratorios virtuales asistidos por el simulador PhET. De modo que, la secuencia didáctica de la metodología STEM, se desarrolló en seis puntos:

1. Fase previa. Se realiza una prueba corta de entrada (PCE), para diagnosticar experiencias o conocimientos previos del estudiantado.
2. Fase distributiva. Presentación del tema y distribución de grupos de trabajo por parte del docente.
3. Fase preparatoria. En la que se precisa el objetivo y se detectan las necesidades cognitivas. Luego, se describen las etapas del modelo con mención en cuatro disciplinas:

- i. Etapa Science. Los estudiantes realizan una búsqueda de información analizando el principio físico de presión hidráulica y principio de Pascal, los conceptos y teoremas físicos que involucran la construcción de una prensa hidráulica. El coordinador del grupo comparte la información recolectada con los demás miembros para gestionar un mejor conocimiento.
  - ii. Etapa Technology. Se busca información sobre los tipos de prensa hidráulica y se plantea el diseño del prototipo más exacto que se desea implementar, analizando a su vez, las diversas tecnologías existentes para el desarrollo del prototipo.
  - iii. Etapa Engineering. Se basa en la elaboración o implementación del prototipo. Se analiza la resistencia del material a utilizar y se pone en marcha diferentes ensayos que aseguren que el diseño realizado no presente fallas técnicas.
  - iv. Etapa Math. Con el prototipo final se analizan problemas referentes a la prensa hidráulica, con la finalidad de comparar datos teóricos y datos experimentales. Además, la etapa incluye el desarrollo de una experimentación donde se calcula la fuerza que produce el prototipo creado a partir de simulaciones en MATLAB. El código es facilitado por el docente para que visualicen las ventajas que presenta un entorno de programación durante el análisis de datos y cálculos numéricos.
4. Fase expositiva. Se presenta de manera formal el prototipo de cada grupo, haciendo hincapié en lo desarrollado en cada una de las fases del Modelo STEM.
  5. Fase feedback. Se realiza una sesión fundamentada por el docente respecto a la práctica del Principio de Pascal.
  6. Fase de cierre. Una prueba corta de salida (PCS), adquiere información para determinar la evolución del aprendizaje mediante una serie de ítems de elección múltiple y de apareamiento, con la finalidad de cuantificar y comparar las consecuencias didácticas de la metodología previamente expuesta, cuyos datos mostramos en las tablas de resultados.

## Resultados y Discusión

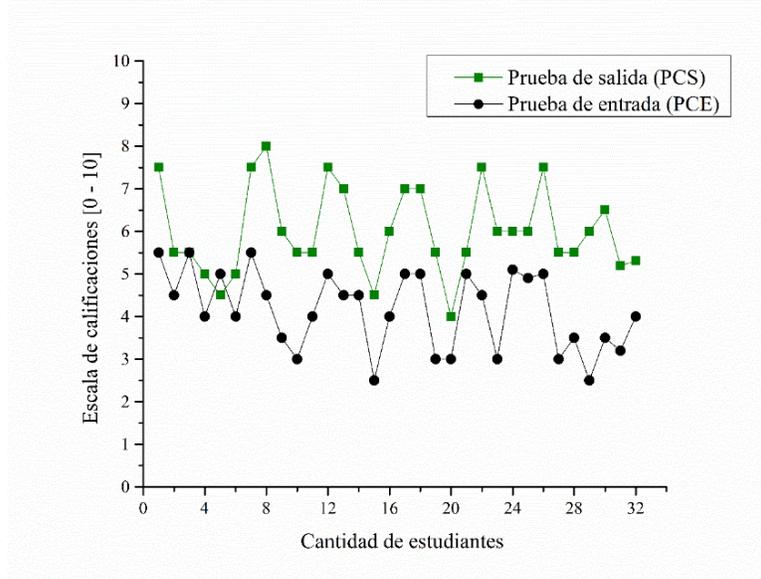
El análisis de datos obtenidos en las pruebas cortas de entrada y de salida para ambos grupos, se realizó a través del Programa OriginPro 9.0 ya que facilita la representación de los diagramas de tendencia. Seguidamente, se utilizó el Factor de Hake para determinar la ganancia normalizada del aprendizaje y una prueba t-Student con el propósito de mostrar la efectividad de las metodologías. Del mismo modo, el factor de BAO se utilizó para precisar la evolución del aprendizaje.

### Estadísticos de Aprendizaje

En las siguientes figuras 1 y 2, se detallan las calificaciones obtenidas por cada estudiante según la metodología de enseñanza. Posteriormente, los datos del grupo G–201 asistido por ABP y grupo G–202 asistido por STEM se agrupan para análisis estadísticos que identifican el impacto de dichas metodologías.

### Figura 1

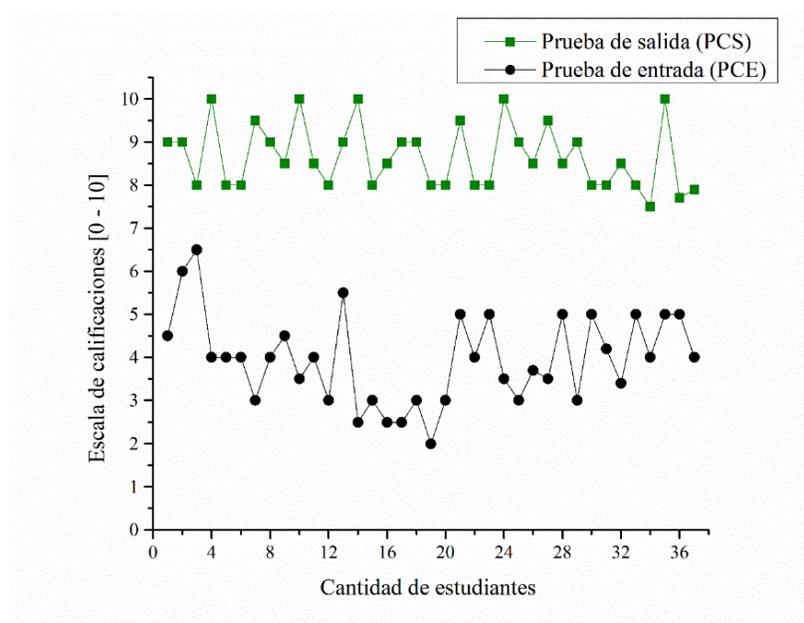
Modelo ABP. Calificaciones obtenidas por estudiante para el grupo de control G-201



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 2

Modelo STEM. Calificaciones obtenidas por estudiante para el grupo experimental G-202



Fuente: Elaboración propia.

Sin duda alguna, el modelo STEM representa un incremento mayor frente al escenario del modelo ABP, debido a que la mayoría de las medias de calificaciones sobrepasa la escala de 8. Del mismo modo, los anchos de distribución de cada media por estudiante respecto a la entrada y salida de las pruebas de control, pretenden detectar una ganancia de aprendizaje superior; no obstante, se debe normalizar la ganancia para asegurar que el sesgo de investigación por conceptos previos no influya en el análisis estadístico de aprendizaje.

### Factor de Hake

Según Hake (1998), es un estadístico que determina la ganancia normalizada de aprendizaje (G) alcanzada durante una metodología de enseñanza y compara los promedios de la prueba de entrada ( $M_e$ ) frente a los promedios de la prueba de salida ( $M_s$ ). En la ecuación 1, se detalla la distribución de las variables de control para calcular el índice de Hake.

$$G = \frac{[M_s] - [M_e]}{1 - [M_e]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dicha ganancia normalizada se establece según los siguientes rangos o condiciones de borde:

- Ganancia Baja [ $G \leq 0,3$ ]
- Ganancia Media [ $0,3 < G \leq 0,7$ ]
- Ganancia Alta [ $G > 0,7$ ]

Además, es necesario calcular los anchos de distribución de G mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta \langle G \rangle = \frac{1}{[1 - M_e]^2} \sqrt{[1 - M_e]^2 [\Delta M_s^2] + [M_s - 1]^2 [\Delta M_e^2]} \quad \text{Ecuación 2}$$

De ahí, con el promedio de calificaciones de la prueba corta de entrada ( $M_e$ ) y la ganancia normalizada de Hake (G) se construye un gráfico « $\langle G \rangle$  vs  $\langle M_e \rangle$ ». De modo que, para interpretar dichos resultados se propone dividir el gráfico entre las regiones baja, media y alta.

En la Tabla 1, se detalla para ambas metodologías una caracterización a partir de los promedios de entrada y salida de ambos grupos, con el propósito de determinar la proporcionalidad de crecimiento por cada uno, de manera que, dicha ganancia normalizada no dependa de los conocimientos preliminares de los estudiantes. La sistematización de datos y cálculo de indicadores, se precisó con el software ORIGIN-PRO 9.0: ganancia normalizada de Hake (G), ancho de distribución de ganancia ( $\Delta \langle G \rangle$ ) y medidas de tendencia central con una ponderación hacia la escala [0,0 – 1,0].

**Tabla 1**

*Indicadores de aprendizaje para grupo de control y grupo experimental*

Indicadores	Grupo de control Metodología ABP G–201	Grupo experimental Metodología STEM G–202
$M_e$	0,41	0,40
$DS_e$	0,09	0,10
$M_s$	0,60	0,87
$DS_s$	0,10	0,07
$G$	0,32	0,78
$\Delta <G>$	0,20	0,12

Nota. ( $\Delta <G>$ ): Ancho de distribución o desviación de la ganancia normalizada de Hake.

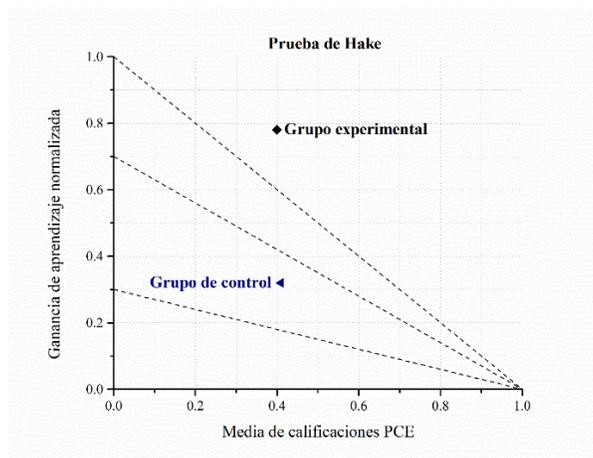
Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, cuando los anchos de distribución son próximos a la ganancia normalizada el instrumento de investigación presenta una zona ciega, es decir que, se genera un sesgo durante la investigación. Por lo tanto, con lo reportado en la tabla 1 se ha demostrado que ambas metodologías empleadas generan un cambio sustancial y muestran un aprendizaje significativo en el estudiantado. No obstante, la metodología STEM genera mayor rendimiento en el aprendizaje, ya que el valor de su ganancia normalizada es superior frente al modelo ABP y el ancho de distribución presenta una cuantía lejana a dicha ganancia. En otras palabras, cuando la ganancia  $<G>$  reporta un valor muy superior al valor de  $\Delta <G>$  se rechaza la zona ciega de investigación.

Por simplicidad, en la Figura 3 se detalla las tres regiones propuestas; Baja-G, Media-G y Alta-G, en donde se muestra el avance de ambos grupos frente al empleo de dos metodologías; modelo ABP versus modelo STEM.

**Figura 3**

*Ganancia normalizada frente al promedio de prueba corta de entrada (PCE). Indicador: (◀) Grupo 201; (◆) Grupo 202*



Fuente: Elaboración propia.

Ciertamente, el grupo de control 201 alcanza una región Media–G con metodología ABP; sin embargo, el grupo experimental 202 supera la ganancia normalizada debido a la secuencia didáctica propuesta por el modelo STEM, el cual, fue asistido por cuatro disciplinas, consiguiendo una región de Alta–G. Por ello, la implementación de metodologías STEM para la enseñanza del Principio de Pascal, incrementa el aprendizaje significativo e involucra a los estudiantes de ingeniería con mayor frecuencia debido al procedimiento seguido con énfasis en las diversas disciplinas, asegurando una ganancia superior a la esperada por las metodologías ABP.

### Prueba t-Student

Es un estadístico comparativo de datos, que precisa o determina la diferencia significativa entre las medias de dos grupos (Torales et al., 2016). En la Tabla 2, se detallan los resultados estadísticos para muestras relacionadas en comparación con medias provenientes de grupos independientes o no independientes (Merino-Soto y Willson, 2013).

**Tabla 2**

*Prueba t para medias de dos muestras emparejadas*

	Prueba corta de entrada (PCE)		Prueba corta de salida (PCS)	
	ABP	STEM	ABP	STEM
Media	0,4275	0,375	0,5975	0,875
Varianza	0,008	0,015	0,014	0,005
Observaciones	20	20	20	20
Coeficiente de correlación de Pearson		0,32		0,28
Diferencia hipotética de las medias		0		0
Grados de libertad		19		19
Estadístico t		1,86		-10,46
P(T<=t) una cola		0,04		1,27E-09
Valor crítico de t (una cola)		1,73		1,73
P(T<=t) dos colas		0,08		2,53E-09
Valor crítico de t (dos colas)		2,09		2,09

*Nota:* La probabilidad (P) tiene un valor menor a 0,05 lo que permite rechazar la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) durante la PCS.

*Fuente:* Elaboración propia.

Analizando los valores conseguidos en la prueba t-Student, se precisa para los datos PCE un valor de  $P = 0,078$  superior al valor establecido del nivel de significancia de 0,05. Este valor permite establecer que no existe una diferencia significativa entre los grupos de investigación en el momento en que se aplicó la prueba de entrada. Por consiguiente, antes de su tratamiento ambos grupos demostraron conocimientos y/o deficiencias equivalentes.

Por otra parte, los valores reportados de los datos PCS detallan un valor de  $P = 2,53E-09$  siendo valor ínfimo frente al nivel de significancia (0,05), por lo que en esta etapa existe diferencia significativa entre las medias de salidas para los grupos de investigación. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula debido a la probabilidad registrada y el valor Estadístico t de  $-10,46$  lo cual justifica y valida el uso del Modelo STEM para mayor rendimiento en la práctica del Principio de Pascal.

### **Evolución del aprendizaje**

El proceso de aprendizaje del estudiantado se fundamenta como el centro decisivo estructural del sistema educativo. De manera que, cada vez resulta usual encontrarse con una gama de actividades que deben ir ejecutándose durante el pensum académico de cada asignatura, con el propósito de comprobar que el estudiantado asimila los conceptos al ritmo adecuado (Reguart y Camarero, 2020). Es así que, los resultados obtenidos en la presente investigación detallan zonas de monitoreo que clasifican el aprendizaje por niveles: bajo, medio y alto.

### **Factor de BAO**

Es así que, para dar cuenta a la evolución de aprendizaje en el estudiantado, se usan vectores de evolución generados desde un estadístico denominado factor de concentración. Bao y Redish (2006), reportan un análisis cuantitativo respecto a la manera de obtener información sobre las respuestas de los estudiantes cuando contestan un cuestionario de opción múltiple con respuesta única. El diseño se basa en un constructo que comunica la distribución de respuestas en un gráfico de «concentración» en función del «puntaje promedio», y así detectar el estado de comprensión representado por zonas de modelos que dan cuenta de la respuesta frente a una situación planteada. El factor C de concentración se define en función de las respuestas de los estudiantes, que toma valores en un intervalo de cero a uno [0,1], dado por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \left[ \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

m: número de elección para una pregunta particular.

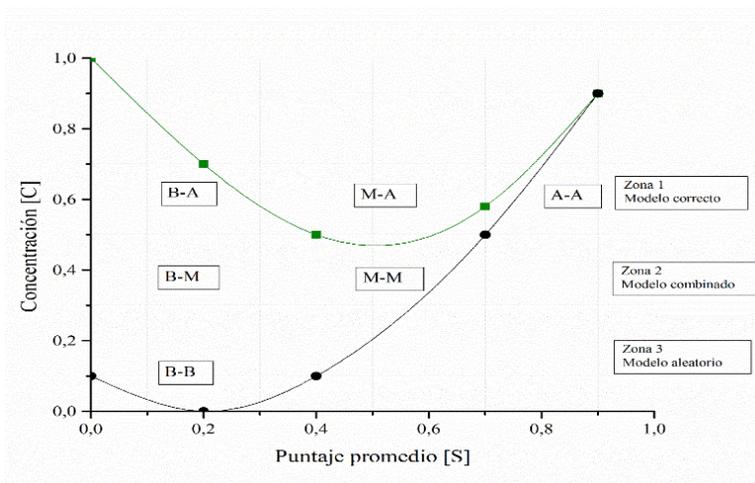
N: número de estudiantes.

$n_i$ : número de estudiantes que han escogido la respuesta i de una pregunta.

De manera que, con los valores reportados sobre el puntaje promedio denominado “S” y el factor de concentración denominado “C”, se elabora un gráfico «S vs C» para identificar patrones asociados a modelos de razonamiento o respuestas escogidas por el estudiantado. Luego, para determinar el área de dichos patrones se utilizan multiplicadores de Lagrange, los cuales definen funciones máxima y mínima (curva verde y curva negra), de modo que se condiciona la zona de borde.

**Figura 4**

Zona de Bao para detección de razonamiento desde cuestionario. El par ordenado denotado por "SC" precisa el estado de conocimiento del estudiantado



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4, las coordenadas de los puntos de «concentración» frente a «puntaje promedio» señala la zona de comprensión del estudiante al responder una pregunta que ha desencadenado el manejo de modelos de razonamiento. Al finalizar las sesiones, el aprendiz interpreta el contenido de enseñanza y el setpoint del estado de comprensión se traslada en el espacio bidimensional de configuraciones "SC" denotando una curva de aprendizaje. Así que, al examinar la entrada y la salida del aprendiz, se obtienen dos pares ordenados de datos para construir un segmento orientado desde la ganancia, llamado vector de aprendizaje. Como resultado, dicho vector especifica la evolución del estado de una población determinada debido a la instrucción.

En virtud de lo expuesto, en la Tabla 3 se establece la codificación de zonas de Bao con el uso de letras del idioma español: B, bajo; M, medio, y A, alto. Por ejemplo, un punto localizado en la zona BB designa bajo puntaje promedio y baja concentración, en otras palabras, la mayoría de estudiantes no cuentan con un modelo dominante de razonamiento respecto a la temática y sus respuestas son respondidas aleatoriamente, mientras que, para puntuaciones cercanas denotadas en un punto de BA implica que la prueba opera en un modelo incorrecto dominante (Bao y Redish, 2006).

**Tabla 3**

*Codificación de intervalos de concentración*

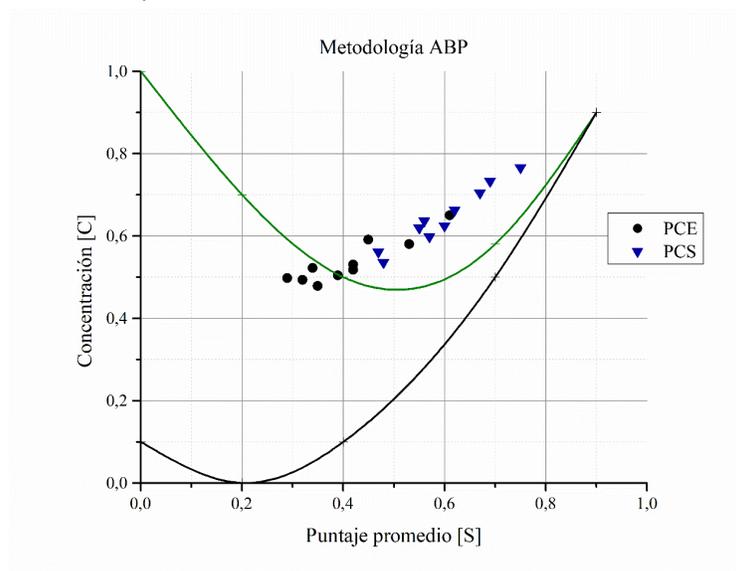
Puntaje promedio	Nivel obtenido	Concentración (C)	Código
[0,0 – 0,4]	Bajo	0,0 – 0,2	B
[0,4 – 0,7]	Medio	0,2 – 0,5	M
[0,7 – 1,0]	Alto	0,5 – 1,0	A

Fuente: Bao y Redish (2006).

En definitiva, la presente codificación distingue en un gráfico de C en función de S, la evolución de los grupos desde un estado inicial (PCE) hasta un estado final (PCS) al aplicar la instrucción. En esta investigación, se trabaja con ambos grupos para analizar los vectores de evolución por pregunta que identifican cómo varía el estado “SC” por efecto de cada metodología. A continuación, se muestran los valores obtenidos y las zonas de comprensión según la metodología.

**Figura 5**

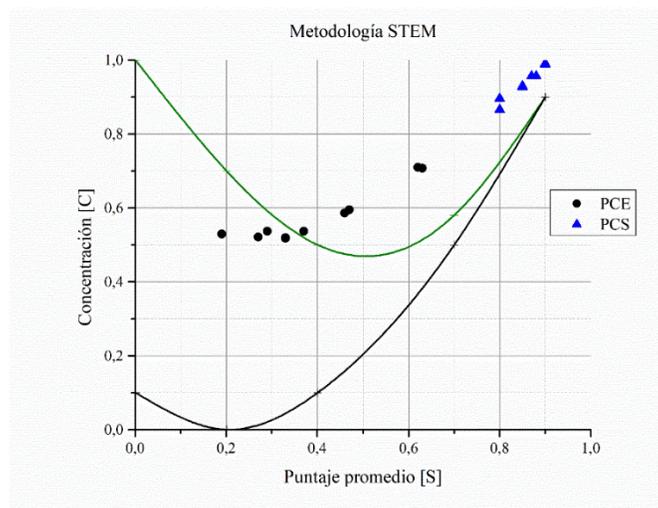
*Zona de Bao; detección de razonamiento en modelo ABP*



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 6**

*Zona de Bao; detección de razonamiento en modelo STEM*



*Fuente:* Elaboración propia.

Sin duda alguna, el empleo del modelo STEM en la práctica del Principio de Pascal permite a los estudiantes obtener un incremento en la ganancia de aprendizaje frente al modelo ABP, debido a que la elección de respuestas respecto al cuestionario, está sujeta a los puntos localizados dentro del modelo correcto de la zona AA. Por otro lado, el grupo de control direccionado por el modelo ABP se encuentra parcialmente dentro de la zona MA y la zona MM, por lo cual se estima en una tendencia de modelo combinatorio de aprendizaje alcanzado que debe de ser mejorado, ya que puede contener implícitamente criterios de selección aleatorios en las respuestas obtenidas durante los cuestionarios.

## Conclusiones

Se ha comprobado que la nueva estrategia metodológica denominada modelo STEM, genera mayor ganancia y efectividad frente a la metodología ABP, debido a que se caracteriza por propiciar un ambiente interactivo que faculta el aprendizaje del Principio de Pascal con cuatro disciplinas que extienden la comprensión, creatividad, análisis y cálculos en estudiantes universitarios de ingeniería. Por otra parte, su ganancia normalizada de Hake, vislumbró para ambos grupos el aprendizaje de salida de los estudiantes sin estar supeditados de los conocimientos previos de física. Del mismo modo, el factor de concentración permitió detectar la elección de respuestas frente a un cuestionario de diez preguntas validado, en donde se muestra las zonas de Bao que distinguen marcaciones de respuestas correctas y aleatorias. A su vez, los valores obtenidos de ganancia para el grupo STEM, estuvieron en el régimen alto, mientras que para el grupo de control estuvieron en el régimen medio, como se observa en la figura 5. Se pretende identificar a  $\langle G \rangle$  como un valor válido de la efectividad del método empleado para propiciar el aprendizaje de una temática en una población de estudiantes, significa que, se ha demostrado que la implementación de la metodología STEM durante la instrucción del Principio de Pascal resaltó una diferenciación entre ganancias normalizadas de aprendizaje.

En consecuencia, la metodología STEM genera un entorno de aprendizaje más favorable e interactivo con los estudiantes, el experimento, compañeros y docente, así como una mayor probabilidad de participación durante la construcción de mecanismos explicativos de fenómenos físicos. Es decir, se genera un aprendizaje experiencial sobre la física y no solo de exposición de conocimiento, como en el caso de la metodología ABP. Esta metodología STEM implica mayor movilización de los participantes debido a las actividades que involucran el cuerpo y la mente, lo cual se considera proporcional a la ganancia de aprendizaje alcanzada. Por otra parte, desde la evolución de Bao, se ha visto que el grupo experimental logra mayor comprensión en la mayoría de las preguntas del cuestionario llegando hasta la zona AA que define al modelo correcto, mientras que, el grupo de control se estanca en zonas MA y no desarrolla lo suficiente presentando modelos de pensamiento combinatorio o quizás incorrectos.

Finalmente, se puede inferir que resulta de gran relevancia reconocer que el Principio de Pascal puede ser mejor aprendido por estudiantes de ingeniería, cuando se instruye mediante un modelo que identifica conexiones entre varias disciplinas que desarrollan sus competencias y habilidades a través del diseño de lecciones o esquemas interdisciplinarios como la metodología STEM.

## Referencias Bibliográficas

- Aguilera, D., Lupiáñez Gómez, J.L., Perales Palacios, J., y Vílchez González, J.M. (2021). *¿Qué es la Educación STEM? Definición basada en la revisión de la literatura*. Actas de los 29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Córdoba y APICE. <https://apice-dce.com/2021/04/04/xxix-encuentros-celebrados-en-cordoba/>
- Alsina, Á., y Calabuig, M.T. (2019). Vinculando educación matemática y sostenibilidad: implicaciones para la formación inicial de maestros como herramienta de transformación social. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 1(1), 1203. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_educ\\_ambient\\_sostenibilidad.2019.v1.i1.1203](https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2019.v1.i1.1203)
- Bao, L. & Redish, E. (2006). Model Analysis: Assessing the Dynamics of Student Learning. *Physics Review Special Topics-Physics Education Research*, 2, 010103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010103>
- Barbosa, L. H. (2013). Construcción, validación y calibración de un instrumento de medida del aprendizaje: Test de Ley de Bernoulli. *Revista Educación en Ingeniería*, 8(15), 24-37. <https://doi.org/10.26507/rei.v8n15.301>
- Benegas, J., Alarcón, H. y Zavala, G. (2013). Formación de Profesorado en Metodologías de Aprendizaje Activo de la Física. En J. Benegas, M. C. Pérez de Landazabal y J. Otero (Eds.). *El Aprendizaje Activo de la Física Básica Universitaria* (pp. 193-203). Santiago de Compostela, España: Andavira. <https://bit.ly/39Dnrww>
- Bradley-Levine, J. y Mosier, G. (2014). Literature Review on Project-Based Learning. University of Indianapolis Center of Excellence in Leadership of Learning.
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C. & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education. Challenges and opportunities*. NSTA press.
- Carmona-Mesa, J. A., Arias-Suárez, J. y Villa-Ochoa, J. A. (2019). Formación inicial de profesores basados en proyectos para el diseño de lecciones STEAM. In E. Serna (Ed.), *Revolución en la Formación y la Capacitación para el Siglo XXI* (2ª Ed.) Vol. I, 483–492. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3524356>
- Chittum, J. R., Jones, B. D., Akalin, S., & Schram, Á. B. (2017). The effects of an afterschool STEM program on students' motivation and engagement. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0065-4>
- Dugger, J., W. E. (1993). *The relationship between technology, science, engineering and mathematics*. Comunicación presentada en el Annual Conference of the American Vocational Association. Nashville. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED366795.pdf>
- Estepa, R.M. y Estepa, A. J. (2011). Trabajar con la incertidumbre del mundo laboral: análisis de una experiencia con Aprendizaje Basado en Problemas en Redes de Ordenadores. *Revista de Docencia Universitaria (REDU)*. Número monográfico dedicado al Practicum y las prácticas en empresas, 9(2), 213 - 232. <https://doi.org/10.4995/redu.2011.6169>
- Garrigós, J. y Valero-García, M. (2012). Hablando sobre Aprendizaje Basado en Proyectos con Júlia. *Revista de Docencia Universitaria (REDU)*, 10(3), 125–151. <https://doi.org/10.4995/redu.2012.6017>
- Gonçalves, S.R. (2014). Preparing Graduates for Professional Practice: Findings from a Case Study of Project-based Learning (PBL). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 139 (22), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.064>

- Grasso, D., & Martinelli, D. (2007). Holistic Engineering. *Chronicle of Higher Education*, 53(28), B07-B08.
- Hernández-Silva, C., López-Fernández, L., González-Donoso, A., y Tecpan-Flores, S. (2018). Impacto de estrategias de aprendizaje activo sobre el conocimiento disciplinar de futuros profesores de física, en un curso de didáctica. *Pensamiento Educativo, Revista de Investigación Latinoamericana (PEL)*, 55(1), 1-12. <https://doi.org/10.7764/PEL.55.1.2018.6>
- Lara-Barragán, A., y Núñez, H. (2007). Física II. Un Enfoque Constructivista (1°. Edición). Pearson Educación, México. <https://bit.ly/3L01TXO>
- Li, S., Ernst, J. V. & Williams, T. O. (2016). Supporting students with disabilities and limited English proficiency: STEM educator professional development participation and perceived utility. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0035-2>
- Manchado, E. y Berges, L. (2013). Una experiencia de PBL en Grado de Ingeniería de Diseño Industrial, adaptando el método de sistemas de retículas de Diseño Gráfico. *Revista de Docencia Universitaria (REDU)*. Número especial dedicado a Engineering Education, 11, 19-46. <https://doi.org/10.4995/redu.2013.5546>
- Merino-Soto, C. A., y Willson, V. (2013). Comparación de variables de distribución T: Una aplicación en la diferencia de grupos para la validez de constructo. *Liberabit*, 19 (2), 243-239. <http://ojs3.revistaliberabit.com/publicaciones/?portfolio=revista-liberabit-vol-19-2>
- Pavón Brito, C., Encalada Noboa, J., y Matute Fernández, K. (2016). Página web para fortalecer el conocimiento general de la física: un ejemplo de proyecto semillero. *INNOVA Research Journal*, 1(12), 23-28. <https://doi.org/10.33890/innova.v1.n12.2016.80>
- Reguart Segarra, N., y Camarero Suárez, V. (2020). *La evolución en el aprendizaje del alumnado a través de la contra práctica en la asignatura de Derecho Eclesiástico del Estado*. Libro de Actas IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red, 61–70.
- Ring, E. A., Dare, E. A., Crotty, E. A. & Roehrig, G. H. (2017). The evolution of teacher conceptions of STEM education throughout an intensive professional development experience. *Journal of Science Teacher Education*, 28(5), 444-467. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2017.1356671>
- Sánchez-Cabrero, R., Costa-Román, O., Mañoso-Pacheco, L., Novillo-López, M., y Pericacho-Gómez, F. (2019). Orígenes del conectivismo como nuevo paradigma del aprendizaje en la era digital. *Educación y Humanismo*, 21(36), 121-142. <https://doi.org/10.17081/eduhum.21.36.3265>
- Sánchez-Ruiz, E. (2012). *Cibertrónica: Aprendiendo con tecnologías de la inteligencia en la web semántica*. Ediciones Díaz de Santos. 308 pp. <https://bit.ly/3Kl89ZV>
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68(4), 20-26. <https://www.teachmeteamwork.com/files/sanders.istem.ed.ttt.istem.ed.def.pdf>
- Solórzano, F. y García, A. (2016). Fundamentos del aprendizaje en red desde el conectivismo y la teoría de la actividad. *Revista Cubana de Educación Superior*, 35(3), 98-112. <https://bit.ly/3vZBFjW>
- Toledo Morales, P., y Sánchez García, J. M. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia universitaria. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 22(2). <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i2.7733>

- Toma, R. B. & Greca, I. M. (2018). The effect of integrative STEM instruction on elementary students' attitudes toward science. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 14(4), 1383-1395. <https://doi.org/10.29333/ejmste/83676>
- Torales, J., Barrios, I., Viveros-Filártiga, D., Jiménez-Legal, E., Samudio, M. Aquino, S., & Samudio, A. (2016). Conocimiento sobre métodos básicos de estadística, epidemiología e investigación de médicos residentes de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. *Revista Educación Médica*, 18 (4), 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2016.06.018>
- Vázquez-Alonso, Á., & Antonia Manassero-Mas, M. (2018). Más allá de la comprensión científica: educación científica para desarrollar el pensamiento. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(2). [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC\\_17\\_2\\_02\\_ex1065.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_2_02_ex1065.pdf)
- Vega, F. G. (2017). Dificultades conceptuales para la comprensión de la ecuación de Bernoulli. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 339-352. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3360/3101>
- Yakman, G. (2008). *STΣ@M Education: an overview of creating a model of integrative education*. En M.J. de Vries (Ed.), *PATT-19 Proceedings* (335-358). Reston, V.A.: ITEEA. [http://www.lajse.org/may19/2019\\_12050.pdf](http://www.lajse.org/may19/2019_12050.pdf)
- Zapata, M. (2015). Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. Bases para un nuevo modelo teórico a partir de una visión crítica del “conectivismo”. *Education in the Knowledge Society*, 16(1), 69-102. <https://doi.org/10.14201/eks201516169102>