

# Interdisciplinary Service-Learning Strategy to Strengthen STEM Competencies in Vulnerable Sectors: The Con-Ciencia Project

Jennifer Avilés ; Alejandro Carrión ; Jorge Chamba 

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador,  
[jaaviles@espol.edu.ec](mailto:jaaviles@espol.edu.ec), [lcarrion@espol.edu.ec](mailto:lcarrion@espol.edu.ec), [jechamba@espol.edu.ec](mailto:jechamba@espol.edu.ec)

*Abstract— The gap in scientific and technical education in vulnerable sectors represents a significant barrier to social mobility and the development of future engineering vocations. This article presents the results of the “Con-Ciencia” project, an interdisciplinary service-learning intervention designed to strengthen STEM competencies in two educational institutions located in marginalized contexts in Ecuador. The project implemented a dual-approach model: (1) academic reinforcement in Mathematics and Physics for a first group of students through active learning methodologies, contrasted with a second group in which a traditional instructional approach and conventional Mathematics reinforcement were employed; and (2) a technical intervention focused on industrial safety and workshop organization. The initiative integrated the collaboration of undergraduate students from the fields of Mathematics, Industrial Engineering, Mechanical Engineering, and Product Design, together with graduate students in Education. The study followed a quasi-experimental design with pre-test and post-test diagnostic assessments applied to a population of 230 direct beneficiaries. Quantitative results showed improvements in Mathematics and Physics performance, while the technical intervention led to the reorganization of school workshops through the implementation of safety signage and the delimitation of risk areas. These findings validate the proposed model as a scalable strategy for fostering STEM skills and social responsibility in engineering education.*

*Keywords— STEM Education, Service-Learning, Engineering Education, Social Impact, Vulnerable Contexts.*

# Estrategia Interdisciplinaria de Aprendizaje-Servicio para Fortalecer Competencias STEM en Sectores Vulnerables: El Proyecto Con-Ciencia

Jennifer Avilés ; Alejandro Carrión ; Jorge Chamba 

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador,  
jaaviles@espol.edu.ec, lcarrion@espol.edu.ec, jechamba@espol.edu.ec

**Resumen–** La brecha en la educación científica y técnica en sectores vulnerables representa una barrera significativa para la movilidad social y el desarrollo de futuras vocaciones en ingeniería. Este artículo presenta los resultados del proyecto “Con-Ciencia”, una intervención interdisciplinaria de aprendizaje-servicio diseñada para fortalecer competencias STEM en dos instituciones educativas de contextos marginados en Ecuador. El proyecto implementó un modelo de doble enfoque: (1) Refuerzo académico en Matemáticas y Física utilizando para un primer grupo de estudiantes empleando metodologías de aprendizaje activo y contrastando con un segundo grupo donde se empleó enfoque tradicional y refuerzo en Matemáticas, y (2) Intervención técnica en seguridad industrial y organización de talleres. La iniciativa integró la colaboración de estudiantes de pregrado de las carreras de Matemáticas, Ingeniería Industrial, Mecánica y Diseño de Productos, junto con estudiantes de posgrado en Educación. El estudio siguió un diseño cuasiexperimental con pruebas diagnósticas de entrada y salida aplicadas a una población de 230 beneficiarios directos. Los resultados cuantitativos muestran mejoras en Matemáticas y Física, y la intervención técnica derivó en la reorganización de los talleres escolares mediante la implementación de señalización de seguridad y delimitación de zonas de riesgo. Estos hallazgos validan el modelo propuesto como una estrategia escalable para fomentar habilidades STEM y responsabilidad social en la formación de ingenieros.

**Palabras clave–** Educación STEM, Aprendizaje-Servicio, Educación en Ingeniería, Impacto Social, Contextos Vulnerables.

## I. INTRODUCCIÓN

En el panorama educativo de América Latina, la formación de capital humano en Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) enfrenta una crisis estructural que la literatura contemporánea describe como la “tubería con fugas” (leaky pipeline) [1]. Esta metáfora ilustra la pérdida progresiva y sistemática de talento potencial a lo largo del trayecto educativo, exacerbada por brechas de calidad que afectan desproporcionadamente a sectores socioeconómicamente vulnerables [4]. Informes recientes de organismos internacionales señalan que la falta de apropiación de conocimientos científicos básicos y el bajo rendimiento en competencias lógico-matemáticas en la educación secundaria no solo limitan la movilidad social individual, sino que restringen la capacidad de innovación y competitividad económica de la región [3], [4].

La problemática se agrava en contextos de marginación urbana, donde la “pobreza de aprendizaje” se combina con la carencia de infraestructura técnica adecuada y la ausencia de referentes profesionales (role models) [5]. Los estudiantes en estos entornos a menudo perciben a la ingeniería como una disciplina distante y abstracta, desconectada de su realidad inmediata. Por tanto, el desafío de las Instituciones de Educación Superior (IES) trasciende la mera cobertura académica; se trata de un imperativo de justicia social orientado a democratizar el acceso al conocimiento tecnológico y fomentar vocaciones científicas tempranas [6].

En respuesta a este escenario, las IES están llamadas a redefinir su función social, evolucionando desde modelos extensionistas tradicionales hacia enfoques de Responsabilidad Social Universitaria (RSU) bidireccionales [7]. En este marco, el Aprendizaje-Servicio (ApS) en Ingeniería (Engineering Service-Learning) emerge como una pedagogía de alto impacto que integra el servicio comunitario con el currículo académico. A diferencia del voluntariado, el ApS se fundamenta teóricamente en el aprendizaje experiencial y situado [13], [12], donde la comunidad actúa como un “laboratorio vivo”. Esto permite que los estudiantes de ingeniería enfrenten “problemas mal definidos” (ill-structured problems), desarrollando competencias críticas para el siglo XXI, tales como el diseño bajo restricciones, la comunicación intercultural, la ética profesional y la gestión de proyectos complejos [8], [9], [10].

Sin embargo, al revisar el estado del arte sobre intervenciones STEM en contextos vulnerables, se identifica una fragmentación en las estrategias. La literatura tiende a reportar iniciativas unidimensionales: o bien se centran exclusivamente en la nivelación cognitiva (tutorías académicas), o bien en la donación de infraestructura física, sin vincular ambos aspectos [11]. Existe una carencia documentada de modelos holísticos que reconozcan que el entorno físico del aprendizaje (el taller, el laboratorio) es tan determinante como la mediación pedagógica. Como se ilustra en la Tabla I, el presente estudio propone un cambio de paradigma hacia una intervención integral.

TABLA I  
CAMBIO DE PARADIGMA: DEL ASISTENCIALISMO A LA INGENIERÍA  
HUMANITARIA

| Dimensión de Análisis            | Enfoque Tradicional (Voluntariado / Extensión)                                                             | Enfoque Propuesto (Proyecto "Con-Ciencia")                                                                                                               |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo de Interacción            | Unidireccional / Asistencialista: La universidad "entrega" conocimiento a una comunidad pasiva.            | Bidireccional / Co-constructivo: Se crea una "Comunidad de Práctica" donde universidad y escuela aprenden mutuamente.                                    |
| Alcance de la Intervención       | Focalizado y Académico: Limitado exclusivamente a la nivelación cognitiva en el aula (clases de refuerzo). | Holístico y Sistémico: Integra el refuerzo académico más seguridad y prevención riesgo en talleres de mecánica                                           |
| Rol del Estudiante Universitario | Tutor Académico: Su función principal es la transmisión de contenidos teóricos ya existentes.              | Consultor Técnico Junior: Diagnostica riesgos, diseña soluciones de ingeniería (señalética, layout) y gestiona proyectos reales.                         |
| Impacto en el Entorno            | Nulo o Limitado: El entorno físico (taller/aula) se mantiene inalterado tras la intervención.              | Transformación: Se instaura una "Cultura de Seguridad" (Safety Culture) mediante señalización industrial y delimitación de zonas de riesgo en talleres.. |
| Sostenibilidad                   | Baja: Los beneficios suelen desaparecer al finalizar el ciclo de tutorías.                                 | Mejorada: Se provee recursos tangibles y digitales (Plataforma LMS) para la continuidad autónoma.                                                        |
| Competencias Desarrolladas       | Básicas: Sensibilización social y paciencia.                                                               | Profesionales (ABET/EUR-ACE): Diseño bajo restricciones, ética profesional y solución de problemas complejos.                                            |

Para abordar esta brecha, este artículo presenta y analiza el proyecto "Con-Ciencia: Fortalecimiento y Difusión de las Ciencias", una iniciativa interdisciplinaria desarrollada por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en Guayaquil, Ecuador. Este proyecto surge de un diagnóstico situado que evidenció no solo un rezago cognitivo en Matemáticas y Física, sino condiciones de riesgo latente en los talleres técnicos de las instituciones beneficiarias: la Unidad Educativa Sagrada Familia de Nazaret y la Unidad Educativa Fe y Alegría.

La intervención se distingue por su modelo de "doble hélice", articulando dos ejes de acción simultáneos:

1. Componente Pedagógico: Implementación de metodologías activas (Aprendizaje Basado en Problemas) para la enseñanza de ciencias exactas.
2. Componente Técnico-Ingenieril: Aplicación de conocimientos de Ingeniería Industrial y Mecánica para el diagnóstico de seguridad, señalización industrial y rediseño ergonómico de talleres de torno y soldadura.

Esta estructura permitió configurar una "Comunidad de Práctica" [12], donde estudiantes universitarios de diversas ramas (Ingeniería, Diseño y Educación) interactuaron sinérgicamente, validando sus competencias profesionales en un entorno real. El objetivo de este manuscrito es doble: primero, evaluar el impacto cuantitativo de la intervención en el rendimiento académico de 230 beneficiarios a través de un diseño cuasiexperimental; y segundo, discutir cómo la integración de la ingeniería técnica en procesos educativos escolares fortalece la cultura de seguridad y motiva la futura inserción de los bachilleres en carreras STEM.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El diseño e implementación del proyecto "Con-Ciencia" trasciende el voluntariado tradicional para situarse como una intervención educativa basada en evidencia. Su arquitectura conceptual se sustenta en la intersección de cuatro pilares teóricos: la teoría del Capital Científico en contextos vulnerables, el Aprendizaje-Servicio (ApS) bajo el modelo experiencial de Kolb, el Andamiaje Cognitivo en la enseñanza de las ciencias, y el desarrollo de competencias de egreso en ingeniería mediante la práctica situada.

### A. La Brecha STEM y el "Capital Científico"

La educación en Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) es reconocida globalmente como un motor de movilidad social. Sin embargo, en América Latina, la desigualdad estructural genera lo que Archer et al. denominan una carencia de "Capital Científico" [2]. Este concepto postula que la probabilidad de que un estudiante elija una carrera de ingeniería no depende solo de su capacidad cognitiva, sino de su exposición a recursos, hábitos y referentes científicos en su entorno familiar y social. En contextos de alta vulnerabilidad, la ausencia de laboratorios funcionales y la falta de *role models* (ingenieros o científicos cercanos) limitan la "apropiación social del conocimiento" [5]. Por tanto, las intervenciones no deben limitarse a la transmisión de contenidos teóricos, sino que deben construir un ecosistema que normalice la práctica científica y técnica, transformando la percepción de la ingeniería de algo "ajeno" a una herramienta tangible de resolución de problemas.

### B. Aprendizaje-Servicio (ApS) y el Ciclo Experiencial de Kolb

El ApS se define como una propuesta pedagógica que integra el servicio comunitario con el currículo académico, creando una relación de reciprocidad. En la educación en ingeniería, el ApS operacionaliza el Ciclo de Aprendizaje

Experiencial de Kolb [13], permitiendo a los estudiantes universitarios transitar por cuatro etapas:

1. Experiencia Concreta: La inmersión en los talleres escolares con necesidades de mejora en sus condiciones físicas y técnicas.
2. Observación Reflexiva: El análisis de las carencias de seguridad y necesidades pedagógicas.
3. Conceptualización Abstracta: El diseño de soluciones técnicas (señalética, *layout*) y planes de clase.
4. Experimentación Activa: La implementación de las mejoras y la ejecución de las tutorías. Este ciclo transforma problemas "mal definidos" (*ill-structured problems*) —típicos de la ingeniería real— en oportunidades de aprendizaje, validando que la vinculación universidad-sociedad es un vehículo para la maduración profesional.

#### C. Andamiaje Cognitivo y Zona de Desarrollo Próximo

Para el componente de refuerzo académico, el proyecto adopta el concepto vygotskiano de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). Los estudiantes de ingeniería no actúan meramente como instructores, sino como "pares más capaces" que proveen el Andamiaje (*Scaffolding*) necesario para que los estudiantes de colegio alcancen niveles de comprensión matemática que no lograrían autónomamente [14],[15]. A diferencia de la enseñanza magistral vertical, este modelo de tutoría entre pares reduce la ansiedad hacia las matemáticas y la física, facilitando un clima de confianza donde el error es visto como parte del proceso de aprendizaje y no como un fracaso, elemento crucial para la retención en disciplinas STEM.

#### D. Cultura de Seguridad y Aprendizaje Situado

La intervención técnica se fundamenta en la teoría del Aprendizaje Situado de Lave y Wenger [12]. Al intervenir los talleres de torno y soldadura, el proyecto transforma estos espacios en "Comunidades de Práctica". La introducción de normas de seguridad industrial, señalización técnica y ergonomía no es un mero adorno estético; constituye la instauración de una Cultura de Seguridad (*Safety Culture*) desde la educación secundaria. Los estudiantes de ingeniería transfieren normativas técnicas (como normas ISO o regulaciones locales de seguridad) a un contexto real, validando su capacidad para adaptar estándares internacionales a entornos con recursos limitados, una competencia clave en la ingeniería humanitaria.

#### E. Componente Formativo: Desarrollo de Competencias Transversales

Finalmente, el proyecto "Con-Ciencia" se concibe como un laboratorio para el desarrollo de competencias profesionales en los estudiantes universitarios, alineadas con estándares internacionales de acreditación (como ABET o EUR-ACE) [16]. El modelo fomenta tres dimensiones competenciales:

1. Responsabilidad Ética y Profesional: Al comprender el impacto social de sus decisiones técnicas en la seguridad de los beneficiarios.

2. Comunicación Efectiva: Al tener que "traducir" conceptos complejos de Matemáticas, Física o ingeniería a un lenguaje accesible para adolescentes.
3. Trabajo en Equipos Multidisciplinarios: Al integrar saberes de Ingeniería Mecánica, Industrial y Diseño para una solución integral.

### III. DATOS Y VARIABLES

#### A. Población y Participantes

El estudio se llevó a cabo con una población total de 230 beneficiarios directos (alumnos) pertenecientes a dos instituciones educativas situadas en zonas de alta vulnerabilidad socioeconómica en Guayaquil, Ecuador. La muestra de estudiantes se distribuyó de la siguiente manera según la intervención académica:

- Unidad Educativa Fe y Alegría (La 40): Se trabajó con una muestra de  $N = 206$  estudiantes de bachillerato para el refuerzo de Matemáticas y un subgrupo de  $N = 62$  estudiantes para la intervención en Física.
- Colegio Sagrada Familia de Nazaret: La intervención se focalizó en el nivel de Primero de Bachillerato, con un grupo de  $N = 24$  estudiantes que recibieron acompañamiento sostenido.

Además de los estudiantes, participaron actores clave como docentes de las instituciones y padres de familia, quienes formaron parte de los talleres de sensibilización y cierre. Los docentes escolares actuaron como facilitadores del proceso, acompañaron la observación de aula y colaboraron en la retroalimentación pedagógica, sin sustituir la labor docente institucional.

#### B. Diseño de Variables

Para evaluar el impacto del proyecto "Con-Ciencia", se definió un diseño de investigación basado en la relación entre la intervención pedagógica/técnica (variable independiente) y el desempeño académico/seguridad (variables dependientes).

TABLA II  
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| Tipo de Variable | Variable                   | Definición Operacional                                                                      | Indicador                                                    | Instrumento                                                |
|------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Independiente    | Proyecto "Con-Ciencia"     | Implementación de tutorías con metodologías activas (ABP) y adecuación técnica de talleres. | Ejecución de sesiones (Horas/Semana)                         | Registros de asistencia y bitácoras de campo               |
| Dependiente 1    | Rendimiento Académico STEM | Nivel de dominio de conocimientos en Matemáticas y Física.                                  | Calificación sobre 10.0 puntos (Escala nacional).            | Pruebas diagnósticas estandarizadas (Pre-test y Post-test) |
| Dependiente 2    | Seguridad Técnica          | Grado de adecuación del entorno físico a normas de seguridad.                               | Presencia de señalización y delimitación de zonas de riesgo. | Lista de cotejo técnica y observación directa              |
| Interviniente    | Nivel Educativo            | Grado escolar del estudiante.                                                               | Bachillerato General Unificado (BGU).                        | Ficha de matrícula                                         |

Para garantizar la validez de los resultados, se diseñó una matriz de operacionalización que vincula las estrategias de intervención con indicadores cuantificables. Como se detalla en la Tabla II, la variable independiente se define como la aplicación del modelo interdisciplinario 'Con-Ciencia', el cual se desglosa en componentes académicos y técnicos.

Las variables dependientes se categorizaron en dos dimensiones: el rendimiento cognitivo, medido a través de la evolución de las calificaciones en pruebas estandarizadas, y la adecuación técnica del entorno, evaluada mediante la implementación de normas de seguridad industrial en los talleres. Esta estructuración permitió triangular los datos obtenidos mediante instrumentos cuantitativos (pre-test/post-test) y cualitativos (fichas de observación y listas de cotejo).

### C. Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos cuantitativos se realizó mediante pruebas de diagnóstico estructuradas (Pre-test) al inicio de la intervención y pruebas de salida (Post-test) al finalizar la intervención para los dos colegios participantes. Estas evaluaciones fueron diseñadas por los estudiantes de ingeniería y validadas por los docentes tutores para asegurar su alineación con el currículo nacional.

- Línea Base: Los diagnósticos iniciales revelaron un rezago significativo. En Matemáticas, el promedio

inicial osciló entre 4.5 y 4.6 sobre 10 en ambas instituciones. En Física, el promedio base se situó en 5.0/10, y solo fue posible dictar esta materia en Fe y Alegría.

- Validación Cualitativa: Se utilizaron fichas de observación y rúbricas para evaluar la participación en clase y la apropiación de los espacios técnicos rediseñados.

## IV. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto con predominancia cuantitativa, utilizando un diseño cuasiexperimental pretest-postest comparativo con grupos no equivalentes. La metodología adoptó el modelo de Aprendizaje-Servicio (ApS), permitiendo articular los objetivos de aprendizaje de los estudiantes universitarios con las necesidades reales de comunidades vulnerables. La metodología se basa en cuatro ejes de intervención mostrados en la Fig. 1.

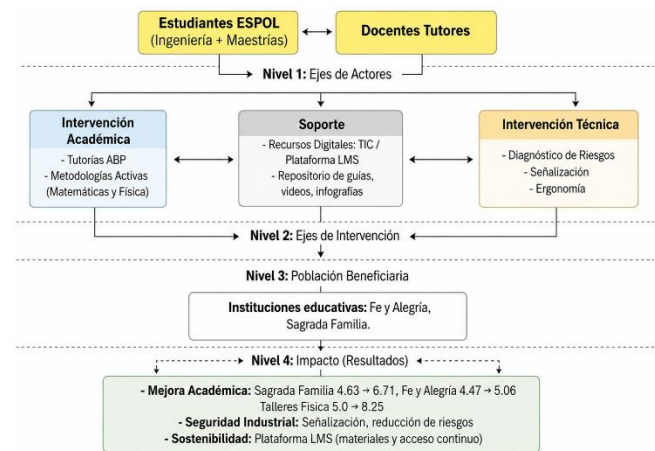


Fig. 1. Esquema Metodológico del proyecto "Con-Ciencia".

### A. Participantes y Contexto

La población beneficiaria directa ascendió a 230 estudiantes. La muestra de estudiantes se distribuyó según la línea de intervención:

- Refuerzo en Matemáticas: se trabajó con estudiantes de la Unidad Educativa Fe y Alegría y del Colegio Sagrada Familia de Nazaret.
- Refuerzo en Física: se intervino con un grupo focalizado de 62 estudiantes en la Unidad Educativa Fe y Alegría.
- Intervención técnica: participaron estudiantes de bachillerato técnico en los talleres de soldadura y mecánica.

### B. Operacionalización de Variables

Para evaluar la efectividad del proyecto "Con-Ciencia", se definieron variables e indicadores específicos que permitieron



incremento del 45.7%, elevando el promedio de 4.63/10 a 6.71/10.

TABLA IV  
 RESULTADOS ACADÉMICOS RESUMIDOS DEL PROYECTO CON-CIENCIA

| Grupo / Institución              | Pre-test | Post-test | Mejora | Observación                        |
|----------------------------------|----------|-----------|--------|------------------------------------|
| UE Sagrada Familia (Matemáticas) | 4.63     | 6.71      | 45.7%  | Tutoría personalizada (focalizado) |
| U.E. Fe y Alegría (Matemáticas)  | 4.47     | 5.06      | 13.2%  | Intervención masiva                |
| U.E. Fe y Alegría (Física)       | 5.0      | 8.25      | 65%    | Talleres focalizados               |

Este resultado se asocia con el acompañamiento continuo y la atención individualizada que se observa en la Fig. 4, donde se estableció una relación aproximada de un tutor por cada cinco estudiantes. Adicionalmente, la intervención se desarrolló dentro de la jornada escolar, alcanzando una asistencia del 95% y una duración acumulada de 60 horas a lo largo del año académico.

TABLA V  
 TABLA COMPARATIVA METODOLÓGICA

| Grupo / Institución    | Modelo personalizado | Modelo Tradicional |
|------------------------|----------------------|--------------------|
| Ratio Tutor-estudiante | 1:5                  | 1:20               |
| % Asistencia           | 95%                  | 60%                |
| Horas                  | 60                   | 30                 |
| Mejora                 | 45.7%                | 13.2%              |



Fig. 4. Estudiante de la ESPOL liderando una sesión de refuerzo académico ante estudiantes durante el II PAO 2024.

En contraste, en la U.E. Fe y Alegría (N = 206), la intervención de carácter masivo como se observa en la Fig. 3, evidenció una mejora más moderada del 13.2%, con un aumento del promedio de 4.47 a 5.06. Este programa, concebido como actividad extracurricular, contempló 30 horas académicas; sin embargo, la asistencia promedio se situó en el 60%. Asimismo, la relación tutor-estudiante fue considerablemente mayor, con dos tutores atendiendo grupos

de aproximadamente 40 participantes, lo que limitó el seguimiento individualizado. Se resume esta información en la Tabla V.

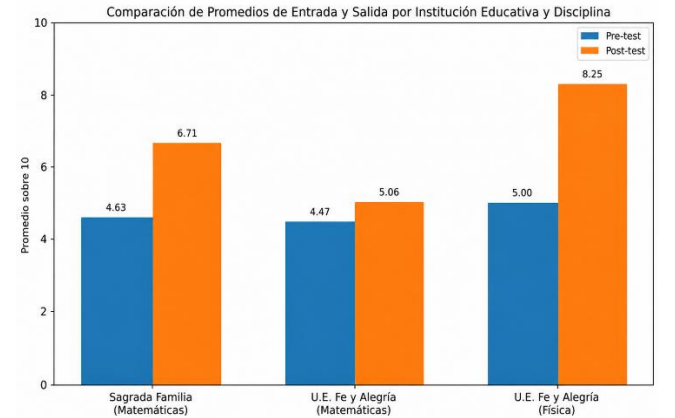


Fig. 5. Evolución del Rendimiento Académico por Grupo de Intervención.

B. Análisis comparativo de los resultados de la intervención pedagógica en Matemática.

Con el fin de complementar los resultados descriptivos previamente expuestos, Se realizó un análisis comparativo entre las calificaciones obtenidas en el pretest y el postest en dos grupos de estudiantes de bachillerato pertenecientes a las instituciones Sagrada Familia (n=24) y Fe y Alegría (n=206). Debido a que las mediciones fueron aplicadas a los mismos participantes antes y después de la intervención, se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas. Previamente, se verificó el supuesto de normalidad de las diferencias mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

En el grupo Sagrada Familia, los resultados de normalidad evidenciaron que las diferencias entre ambas mediciones presentaban una distribución aproximadamente normal ( $W=0.928$ ;  $p=0.086$ ), lo que permitió aplicar la prueba t pareada. Los resultados mostraron un incremento significativo del promedio académico, pasando de  $M=4.63$  a  $M=6.71$ , equivalente a una mejora aproximada del 45%. La prueba t evidenció diferencias estadísticamente significativas ( $t(23)=6.03$ ;  $p<0.001$ ).

En el grupo Fe y Alegría, la prueba de normalidad indicó desviaciones respecto a la distribución normal ( $W=0.972$ ;  $p<0.001$ ); sin embargo, debido al tamaño muestral elevado, se aplicó la prueba t pareada apoyándose en el Teorema Central del Límite. En este caso, el promedio aumentó de  $M=4.47$  a  $M=5.06$ , representando una mejora aproximada del 13.4%, con diferencias estadísticamente significativas ( $t(205)=3.75$ ;  $p<0.001$ ). Comparativamente, ambos grupos mostraron mejoras significativas; no obstante, el grupo Sagrada Familia, que recibió atención personalizada y trabajo en grupos reducidos, presentó un incremento considerablemente mayor que el grupo

Fe y Alegría, donde se empleó una metodología tradicional basada en clases magistrales para grupos numerosos. En conjunto, los resultados sugieren que las estrategias pedagógicas centradas en el acompañamiento personalizado, la interacción constante y el trabajo en grupos pequeños generan un impacto más favorable en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de bachillerato que los enfoques tradicionales basados en clases magistrales.

#### *B. Intervención técnica e infraestructura (componente ingeniería)*

Más allá de las métricas académicas, el proyecto generó resultados tangibles en la seguridad industrial de los talleres técnicos de las instituciones. Estudiantes de las carreras de Ingeniería Industrial y Mecánica realizaron un diagnóstico de riesgos en los laboratorios de torno y soldadura.

Como resultado de esta inspección técnica, se ejecutó un plan de adecuación que incluyó:

- 1) Delimitación de áreas: implementación de líneas de seguridad en el piso para separar las zonas de operación de maquinaria de las zonas de tránsito seguro.
- 2) Señalización industrial: instalación de señalética preventiva acorde a normas de seguridad.
- 3) Rediseño de productos: estudiantes de Diseño de Productos evaluaron objetos fabricados por los alumnos del colegio (anaqueles, herramientas) y entregaron propuestas de rediseño funcional y ergonómico.

Esta intervención transformó el taller de un espacio con limitaciones en temas de prevención de riesgo en un entorno de aprendizaje más seguro y regulado, evidenciando la aplicación práctica de las competencias adquiridas por los estudiantes de ingeniería industrial.

Los hallazgos de este estudio ofrecen evidencia empírica sobre la eficacia del Aprendizaje-Servicio para abordar brechas educativas en contextos vulnerables, aunque con matices importantes respecto a la escalabilidad y personalización.

Al contrastar los resultados de Matemáticas entre el Colegio Sagrada Familia (+45.7% de mejora) y la U.E. Fe y Alegría (+13.2%), se hace evidente que la ratio tutor-estudiante es una variable crítica. El modelo aplicado en Sagrada Familia, caracterizado por grupos reducidos y seguimiento individualizado, permitió atender las deficiencias cognitivas específicas de cada alumno. En contraste, el modelo masivo en Fe y Alegría, aunque logró frenar el deterioro académico, tuvo un impacto limitado en la reversión del rezago. Esto sugiere que, para intervenciones en zonas de alta vulnerabilidad, la masificación requiere de acompañamiento personalizado para prevenir la dilución de la efectividad de las metodologías activas.

Un aporte distintivo del proyecto “Con-Ciencia” frente a otros programas socioeducativos tradicionales fue la integración de la Ingeniería Industrial y Mecánica. La intervención en los talleres de torno y soldadura no fue

meramente cosmética; introdujo una “cultura de seguridad” (Safety Culture) que no existía previamente. Para los estudiantes universitarios, esto trascendió el ejercicio académico: ya que implicó adaptar normas técnicas de seguridad y salud ocupacional a las condiciones reales y posibilidades del entorno educativo. Esto coincide con lo planteado por la literatura sobre ApS en ingeniería, la cual destaca que estas experiencias fortalecen competencias de resolución de problemas en contextos con restricciones reales.

Finalmente, la creación de la plataforma LMS y los videos educativos inclusivos desarrollados por los estudiantes de pregrado y posgrado aseguran que el conocimiento transferido no se pierda al finalizar el ciclo académico. Esta estrategia mitiga una de las críticas comunes al Aprendizaje-Servicio: la falta de continuidad [17]. Al proveer a sus docentes de recursos digitales y talleres señalizados, el proyecto “Con-Ciencia” establece una base para la mejora continua autónoma de la institución beneficiaria.

De igual forma, desde el punto de vista de sostenibilidad, el proyecto se apoyó en recursos institucionales existentes, trabajo interdisciplinario y soluciones de bajo costo, lo que refuerza su factibilidad de réplica en contextos similares sin requerir infraestructura onerosa adicional. En este sentido, el modelo demuestra viabilidad operativa para ciclos posteriores, siempre que la universidad mantenga el acompañamiento metodológico, las actividades de vinculación con la sociedad, y la articulación con las instituciones educativas.

## VI. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El presente estudio presenta el trabajo realizado en el proyecto “Con-Ciencia” empleando la estrategia metodológica de Aprendizaje-Servicio interdisciplinaria capaz de mitigar las brechas educativas en contextos de alta vulnerabilidad. A partir de los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos, se derivan las siguientes conclusiones:

#### *A. Eficacia de la Intervención Personalizada*

Estos resultados refuerzan la evidencia de que, si bien ambas intervenciones generan mejoras significativas en el rendimiento académico, la magnitud del efecto difiere sustancialmente. En particular, los datos respaldan la mayor eficacia de enfoques pedagógicos intensivos y centrados en el estudiante frente a modelos tradicionales de carácter masivo, destacando la relevancia de variables como la personalización del aprendizaje, la interacción directa y la continuidad en la participación estudiantil. El grupo que recibió acompañamiento personalizado (Sagrada Familia) mostró un incremento importante en su rendimiento en Matemáticas, pasando de un promedio de 4.63 a 6.71 (+45.7%). Si bien la intervención masiva en Fe y Alegría logró mejoras más modestas (+13.2%), logró frenar el rezago educativo. Esto sugiere que la ratio tutor-estudiante es un factor determinante para el éxito en la nivelación de competencias STEM. No obstante, es importante considerar que las estrategias de acompañamiento altamente personalizado, aunque efectivas, pueden implicar mayores

costos operativos y presentar limitaciones en su sostenibilidad y escalabilidad en contextos educativos de mayor cobertura.

#### B. Ingeniería al Servicio de la Seguridad Escolar

La integración de estudiantes de Ingeniería Industrial y Mecánica permitió trascender la tutoría académica tradicional. La intervención técnica en los talleres de torno y soldadura, mediante la señalización y delimitación de zonas de riesgo, instauró una cultura de seguridad industrial incipiente en la educación secundaria. Esto confirma que el conocimiento técnico universitario puede transferirse directamente para mejorar la infraestructura y la seguridad física de las escuelas beneficiarias.

#### C. Sostenibilidad mediante Recursos Digitales

La incorporación de una plataforma LMS y el desarrollo de recursos audiovisuales constituyen estrategias de sostenibilidad que amplían el alcance y la permanencia del proyecto. A diferencia de intervenciones de carácter temporal, “Con-Ciencia” genera capacidad instalada mediante un repositorio digital de contenidos educativos, facilitando la continuidad del proceso formativo por parte de los docentes de las instituciones beneficiarias y promoviendo la autonomía pedagógica a largo plazo.

#### D. Desarrollo de Competencias Blandas en Ingeniería

La participación de estudiantes de diversas carreras (Diseño, Mecánica, Industrial) fomentó un entorno de trabajo interdisciplinario real. Los universitarios no solo aplicaron conocimientos técnicos, sino que desarrollaron empatía, comunicación efectiva y adaptabilidad al enfrentarse a las limitaciones de recursos propias de los sectores vulnerables.

#### E. Líneas futuras de investigación

De este estudio se desprenden varias líneas de investigación futuras: (i) ampliar el seguimiento longitudinal para determinar la permanencia de los aprendizajes académicos y técnicos; (ii) comparar el modelo masivo, el personalizado y los esquemas híbridos de intervención; (iii) analizar con mayor profundidad el efecto sobre competencias transversales en estudiantes universitarios; y (iv) replicar la estrategia en otros contextos educativos para contrastar su escalabilidad y factibilidad en realidades institucionales distintas.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Alper, “The pipeline is leaking women all the way along,” *Science*, vol. 260, no. 5106, pp. 409–411, 1993, doi: 10.1126/science.260.5106.409.
- [2] L. Archer, E. Dawson, J. DeWitt, A. Seakins, and B. Wong, “Science capital: A conceptual, methodological, and empirical argument for extending Bourdieu’s notion of capital beyond the arts,” *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 52, no. 7, pp. 922–948, 2015.
- [3] R. B. Toma and I. M. Greca Dufranc, “Modelo interdisciplinar de educación STEM para la etapa de educación,” *Revista de Educación en Ciencias*, 2016.
- [4] A. van den Hurk, M. Meelissen, and A. van Langen, “Interventions in education to prevent STEM pipeline leakage,” *International Journal of Science Education*, vol. 41, no. 12, pp. 1613–1632, 2019.
- [5] L. Archer, J. DeWitt, J. Osborne, J. Dillon, B. Willis, and B. Wong, “Doing science versus being a scientist: Examining 10/11-year-old

- schoolchildren’s constructions of science through the lens of identity,” *Science Education*, vol. 94, no. 4, pp. 617–639, 2010.
- [6] National Academy of Engineering and National Research Council, *The Engineer of 2020: Visions of engineering in the new century*.
- [7] R. G. Bringle and J. A. Hatcher, “Implementing service-learning in higher education,” *Journal of Higher Education*, vol. 67, no. 2, pp. 221–239, 1996.
- [8] P. K. Linos et al., “Service-learning in engineering,” in *Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference*, 2002.
- [9] D. K. Narong, “The evolution of service learning in engineering education,” *Engineering Education Journal*, 2024.
- [10] J. Benning, “Impact of service learning on engineering student outcomes,” *International Journal of Engineering Education*, 2024.
- [11] M. Queiruga-Dios, M. J. Santos-Sánchez, et al., “Assessment methods for service-learning projects in engineering in higher education: A systematic review,” *Frontiers in Psychology*, vol. 12, Art. 629231, 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.629231.
- [12] J. Lave and E. Wenger, *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991.
- [13] D. A. Kolb, *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1984.
- [14] L. S. Vygotsky, *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1978.
- [15] M. Olssen, “Radical constructivism and its failing: Anti-realism and individualism,” *British Journal of Educational Studies*, vol. 44, no. 4, pp. 275–295, 1996.
- [16] ABET, *Criteria for Accrediting Engineering Programs – Engineering Accreditation Commission*. Baltimore, MD, USA: ABET, 2023.
- [17] M. R. Rodríguez-Gallego, R. Ordóñez-Sierra, S. Domene-Martos, and C. de-Cecilia-Rodríguez, “Company-university intersections through service-learning (SL): A systematic review,” *Frontiers in Education*, 2024, doi: 10.3389/feduc.2024.1501899.