

**Research Article**

# Reactivación y mejora de la iluminación en la planta de reciclaje ASERECIME mediante Aprendizaje-Servicio

## *Reactivation and Lighting Improvement at the ASERECIME Recycling Plant through Service-Learning*



Carpio-Velasco, Francisco <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0008-0319-5137>

[francisco.carpio@ute.edu.ec](mailto:francisco.carpio@ute.edu.ec)

Ecuador, Santo Domingo, UTE

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n3/205>

**Resumen:** La gestión eficiente de la energía eléctrica y la seguridad en instalaciones industriales son aspectos fundamentales para la sostenibilidad de plantas de reciclaje comunitarias. El presente trabajo describe un proyecto de vinculación universitaria desarrollado para mejorar el sistema de iluminación de la planta de reciclaje de plástico de la Asociación de Servicios de Reciclaje "Creciendo por Ti Mejía" (ASERECIME), ubicada en el cantón Mejía, Ecuador. La intervención se basó en un diagnóstico técnico preliminar que evidenció un sistema degradado: solo 6 de 18 luminarias operativas, niveles de iluminancia promedio de 182,2 lux y condiciones de seguridad críticas. A partir de este diagnóstico, se planteó el rediseño del sistema de iluminación y la ejecución de mejoras mediante el reemplazo de luminarias obsoletas por tecnología LED de alta eficacia luminosa, junto con un programa de capacitación en seguridad eléctrica. La evaluación mediante mediciones de iluminancia antes y después de la intervención mostró un incremento considerable de los niveles de iluminación hasta alcanzar 920,5 lux promedio, superando los niveles de referencia establecidos para las áreas operativas evaluadas. Si bien la potencia eléctrica operativa aumentó de 1.324 W a 2.800 W (+111,5%) debido a la recuperación funcional del sistema, la eficacia luminosa mejoró en un 84.6 %.

**Palabras clave:** eficacia luminosa del sistema; iluminación industrial; reactivación de sistemas; reciclaje comunitario; aprendizaje-servicio.

**Recibido:** 07/Ago/2026

**Aceptado:** 05/Sep/2026

**Publicado:** 30/Sep/2026

**Cita:** Carpio-Velasco, F. (2026). Reactivación y mejora de la iluminación en la planta de reciclaje ASERECIME mediante Aprendizaje-Servicio. *Revista Científica Zambos*, 5(3), 347-363.

<https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n3/205>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia  
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo  
Revista Científica Zambos (RCZ)  
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



**Abstract:**

Efficient management of electrical energy and safety in industrial facilities are fundamental aspects for the sustainability of community recycling plants. This paper describes a university outreach project developed to improve the lighting system of the plastic recycling plant operated by the Association of Recycling Services "Creciendo por Ti Mejía" (ASERECIME), located in Mejía canton, Ecuador. The intervention was based on a preliminary technical assessment that revealed a degraded system: only 6 out of 18 luminaires were operational, with average illuminance levels of 182.2 lux and critical safety conditions. Based on this diagnosis, a lighting system redesign was proposed and implemented through the replacement of obsolete luminaires with high-luminous-efficacy LED technology, together with an electrical safety training program. Evaluation through illuminance measurements before and after the intervention showed a significant improvement in lighting levels, reaching an average of 920.5 lux and exceeding the reference levels established for the evaluated operational areas. Although the operational electrical power increased from 1,324 W to 2,800 W (+111.5%) due to the functional recovery of the system, the luminous efficacy improved by 84%, increasing from approximately 65 lm/W with the previous technology to 120 lm/W with the implemented LED solution.

**Keywords:** lighting system efficacy; industrial lighting; system reactivation; community recycling; service-learning.

## 1. Introducción

El reciclaje de plástico constituye un componente esencial para mitigar los impactos ambientales asociados a la generación de residuos sólidos, al contribuir a la reducción de la contaminación y promover estrategias alineadas con los principios de la economía circular. En este contexto, la incorporación de estos principios en el diseño y gestión de infraestructuras favorece un uso más eficiente de los recursos, disminuye la generación de desechos y fortalece la sostenibilidad de los procesos productivos (Chen et al., 2025; Barreiro-García et al., 2026). Las plantas de reciclaje comunitarias desempeñan un papel social y ambiental relevante, especialmente en territorios con limitadas infraestructuras de gestión; no obstante, estas instalaciones suelen enfrentar restricciones técnicas y económicas que afectan su desempeño, particularmente en comunidades rurales o asociaciones de economía popular, donde los procesos se desarrollan con baja tecnificación (Mihai et al., 2022).

Entre los aspectos que condicionan el desempeño y la seguridad de estas instalaciones destaca la calidad de los sistemas de iluminación. Más allá de su función básica, la iluminación industrial incide directamente en la seguridad de los trabajadores, el confort visual y el consumo energético del proceso productivo. Sistemas deficientes incrementan el uso eléctrico y generan condiciones inseguras, como fatiga visual y mayor probabilidad de accidentes laborales. Diversos estudios en

salud ocupacional han demostrado que niveles inadecuados de iluminancia afectan negativamente el desempeño humano en entornos cerrados (Muñoz & Mariño, 2025; Zhang et al., 2025). Desde una perspectiva energética, la eficiencia de estos sistemas es reconocida como una de las estrategias más costo-efectivas para reducir el consumo en plantas productivas. Investigaciones sobre modernización han evidenciado que la sustitución de tecnologías convencionales por luminarias LED, correctamente diseñadas, puede reducir el consumo energético en más del 60 %, mejorando los niveles de iluminancia y la uniformidad lumínica (Uyan et al., 2023).

De manera complementaria, investigaciones recientes evidencian que el comportamiento eléctrico de las tecnologías LED depende de sus características de operación y de los regímenes de conmutación, aspectos que influyen directamente en la eficiencia y el desempeño de los sistemas de iluminación (Tirira-Chulde et al., 2026). Asimismo, enfoques integrales que combinan auditorías energéticas, rediseño técnico y herramientas de simulación lumínica permiten optimizar la distribución de la luz y generar beneficios ambientales derivados de la disminución del consumo eléctrico (Salvadori et al., 2016; Zhao et al., 2025). Más allá del ahorro energético, estudios que integran evaluaciones de ciclo de vida señalan que, si bien las luminarias LED reducen notablemente los impactos durante la fase de uso, procesos como la fabricación de drivers y paneles continúan representando puntos críticos de impacto ambiental y social (Wang et al., 2022). Estos hallazgos destacan la importancia de desarrollar soluciones de iluminación industrial sostenibles que respeten los principios de la economía circular (Chen et al., 2025).

En países en desarrollo, la adopción de estas medidas enfrenta dificultades asociadas a restricciones económicas, debilidades organizativas y limitaciones en el acceso a información técnica confiable. Si bien la modernización de la iluminación constituye una alternativa accesible, su aplicación depende de la disponibilidad de recursos financieros y del acompañamiento técnico especializado (Ibn Batouta et al., 2025). Estas barreras se manifiestan con mayor intensidad en pequeñas empresas e iniciativas comunitarias, donde la eficiencia suele abordarse de manera puntual. En Ecuador, investigaciones aplicadas en organizaciones industriales muestran que la optimización mediante software especializado (p. ej., DIALux) y la sustitución por tecnología LED puede mejorar los niveles de iluminancia y aumentar la productividad en alrededor de un 80 %, además de reducir el consumo energético (Cachimuel et al., 2020; Dubois et al., 2015). Sin embargo, existe un vacío de conocimiento respecto a estudios específicos en plantas de reciclaje comunitarias en el país. Estas instalaciones presentan particularidades críticas: la acumulación de polvillo de plástico, superficies con baja reflectancia, asociadas a paredes de bloque sin revestimiento, y un mantenimiento menos frecuente. Por ello, el diseño de iluminación para este tipo de plantas debe trascender los estándares mínimos, pensándose para garantizar condiciones seguras y duraderas a pesar de las dificultades operativas.

Frente a estas limitaciones, los proyectos de vinculación universitaria adquieren especial relevancia, al facilitar la aplicación de conocimientos técnicos en escenarios

reales, favoreciendo simultáneamente el fortalecimiento de las competencias profesionales de los estudiantes y la atención de necesidades técnicas de la comunidad. En este caso, la intervención se organizó bajo el enfoque de Aprendizaje-Servicio (ApS), el cual combina la formación académica con el trabajo directo en la comunidad (Bringle & Hatcher, 1996; Tapia, 2008; Aramburuzabala et al., 2013). En carreras de ingeniería, este enfoque resulta especialmente valioso, ya que promueve el aprendizaje experiencial mediante la resolución de problemas reales, fortaleciendo simultáneamente las competencias profesionales de los estudiantes y generando beneficios para la comunidad (Aramburuzabala & Cerrillo, 2023).

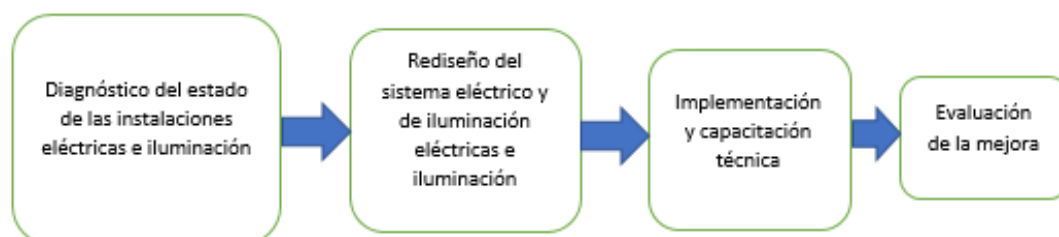
En este contexto, persiste la necesidad de disponer de metodologías de intervención técnicamente validadas que permitan rehabilitar sistemas de iluminación en plantas de reciclaje comunitarias bajo restricciones económicas, técnicas y de infraestructura. Esta investigación se justifica por su contribución al desarrollo y validación de una intervención técnica que integra criterios de ingeniería eléctrica, eficiencia energética y Aprendizaje-Servicio en un entorno productivo real. En consecuencia, el objetivo de este estudio es diagnosticar, rediseñar, implementar y evaluar técnicamente el sistema de iluminación de la planta ASERECIME, con el propósito de reactivar un sistema colapsado, mejorar su eficacia luminosa del sistema y mejorar las condiciones de seguridad y cumplimiento normativo del sistema de iluminación intervenido.

## 2. Metodología

En el proyecto participaron 18 estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad UTE, organizados en grupos de trabajo según el componente técnico abordado (iluminación, tableros eléctricos y puesta a tierra). Las actividades desarrolladas incluyeron el levantamiento de información en campo, la medición luminotécnica con luxómetro calibrado, el cálculo del rediseño mediante el método de cavidad zonal, la elaboración de mapas de iluminancia y la capacitación al personal de la planta. A través de estas actividades, los estudiantes aplicaron y reforzaron competencias en diagnóstico eléctrico, diseño luminotécnico, trabajo de campo y comunicación técnica con actores comunitarios.

### Figura 1

*Esquema metodológico del proyecto de mejora de iluminación*



*Nota:* (Autores, 2026).

El modelo ApS permitió integrar las actividades técnicas con la atención de una necesidad real. En las fases 1 y 2, los estudiantes realizaron el levantamiento de información, diagnóstico y cálculos luminotécnicos; la fase 3 comprendió la capacitación al personal de ASERECIME sobre operación segura y mantenimiento preventivo; y la fase 4 en evaluar los resultados frente a la normativa vigente y estándares de referencia.

Diagnóstico del sistema de iluminación

La primera fase consistió en diagnosticar el estado de las instalaciones eléctricas y del sistema de iluminación. El levantamiento fue realizado por estudiantes de Electromecánica de la Universidad UTE, organizados en grupos según el componente a revisar: sistema de iluminación, tableros eléctricos y puesta a tierra. Si bien se evaluaron los tres sistemas, la implementación se concentró únicamente en la iluminación.

Estado del sistema de iluminación

Para la evaluación inicial, se realizaron mediciones de iluminancia con un luxómetro digital calibrado UNI-T UT383BT, con certificado de calibración vigente al momento de las mediciones. Se definieron 10 puntos fijos distribuidos en las áreas operativas, marcados permanentemente para asegurar la misma ubicación en ambas fases. El instrumento se colocó a 0,85 m de altura (plano de trabajo) con la planta en operación normal. Debido a restricciones logísticas de desplazamiento, las mediciones pre y post-intervención se ejecutaron en una misma jornada: la evaluación inicial se realizó entre 09:00–10:00 h y la posterior entre 15:00–16:00 h, inmediatamente después del montaje del nuevo sistema (efectuado entre 10:00–15:00 h).

En cada punto se tomaron tres lecturas consecutivas y se registró el valor promedio. Durante las mediciones las condiciones de cielo fueron despejadas, y el ingreso de luz natural se mantuvo constante a través del portón principal de acceso, único punto de la planta con aporte lumínico exterior relevante; el resto de las áreas evaluadas corresponde a espacios cerrados sin aporte de luz natural directa. Los valores de referencia se establecieron según la actividad visual de cada área, conforme al Art. 56 del Decreto Ejecutivo No. 2393 (Presidencia de la República del Ecuador, 1986), vigente por disposición transitoria del D.E. No. 255 (Presidencia de la República del Ecuador, 2024). Como referencia técnica complementaria se consideró la norma ISO/CIE 8995-1:2025. Los resultados de la evaluación inicial se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Evaluación del nivel de iluminación en áreas operativas de la planta de reciclaje ASERECIME*

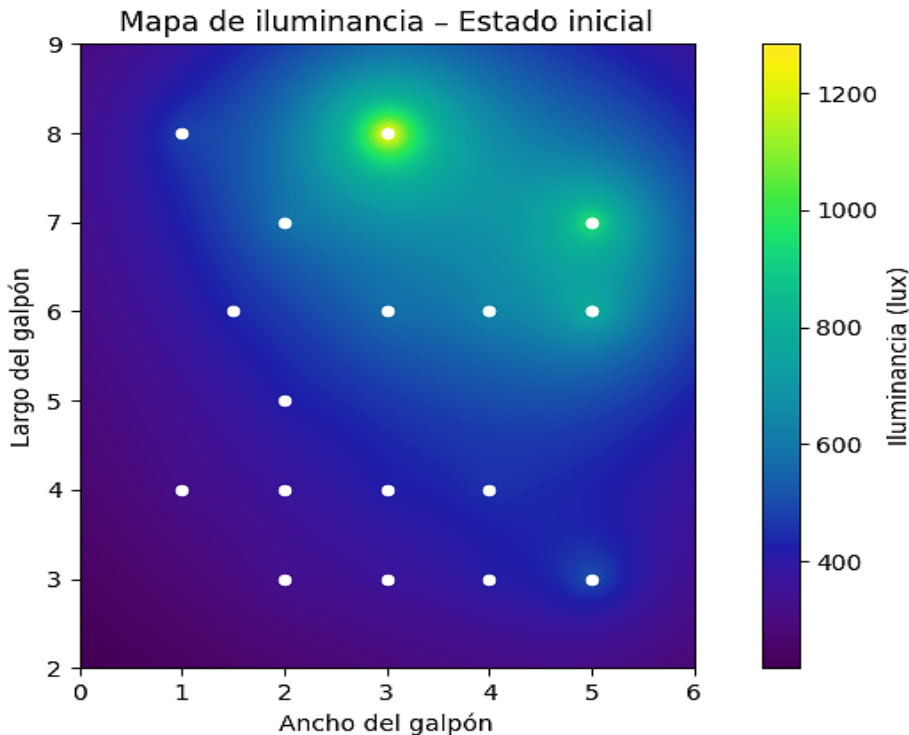
| Área de la Planta                    | Valor Medido (Lux) | Actividad visual / Ref. (Art. 56, D.E. 2393) |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Recepción de materia prima (entrada) | 15                 | Manejo de materiales (50 lux) - Deficiente   |

|                                              |     |                                            |
|----------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|
| Banda transportadora                         | 84  | Distinción moderada (200 lux) - Deficiente |
| Recepción de materia prima (zona media)      | 26  | Manejo de materiales (50 lux) - Deficiente |
| Área de procesamiento de mangueras           | 284 | Distinción media (300 lux) - Deficiente    |
| Zona de almacenamiento de material reciclado | 120 | Manejo de materiales (50 lux) - Aceptable  |
| Bodega                                       | 22  | Manejo de materiales (50 lux) - Deficiente |
| Zona de salida                               | 734 | Manejo de materiales (50 lux) - Aceptable  |
| Zona de trabajo intermedia                   | 50  | Distinción moderada (200 lux) - Deficiente |
| Zona de trabajo cercana a la salida          | 412 | Distinción moderada (200 lux) - Aceptable  |
| Zona próxima a la banda transportadora       | 75  | Distinción moderada (200 lux) - Deficiente |

Nota: Autores (2026).

La Figura 2 presenta el mapa de iluminancia de la planta, elaborado a partir de la distribución espacial de las mediciones puntuales realizadas en las áreas operativas. El mapa de calor evidencia zonas sub-iluminadas, áreas con niveles intermedios y sectores con valores elevados de iluminancia, representados mediante una escala cromática continua. Se identifican valores inferiores a los de referencia principalmente en las áreas próximas a la banda transportadora, la zona de trabajo intermedia y otros sectores destinados al manejo de materiales.

Figura 2  
Mapa de iluminancia de la planta ASERECIME



Nota: Autores (2026).

Durante la inspección visual del sistema de alumbrado se identificaron deficiencias de seguridad: varias luminarias presentaban partes conductivas expuestas, ausencia de protección adecuada, condiciones inadecuadas asociadas al sistema de puesta a tierra y sistemas de fijación inadecuados. Asimismo, el análisis funcional evidenció que únicamente 6 de las 18 luminarias instaladas (33%) se encontraban operativas, mientras que las restantes presentaban fallas o permanecían fuera de servicio por condiciones de deterioro y seguridad.

#### Tableros eléctricos y sistema de tomacorrientes

En el diagnóstico general se inspeccionaron también los tableros eléctricos y el sistema de tomacorrientes. Se identificaron tableros expuestos a polvo, suciedad y humedad, ausencia de cerraduras de protección y señalización deficiente de fases y circuitos. En el sistema de tomacorrientes se evidenciaron conexiones flojas, conductores expuestos y uso frecuente de extensiones múltiples. Estos hallazgos fueron registrados como recomendaciones técnicas para fases futuras.

#### Rediseño del sistema de iluminación

El rediseño se orientó a la modernización mediante luminarias LED industriales tipo campana (UFO) de 200 W, con flujo luminoso unitario de 24.000 lm, temperatura de color 6500 K y grado de protección IP65, adecuado para ambientes con presencia de polvo y humedad.

El flujo luminoso total requerido se determinó mediante el método de cavidad zonal:

$$\phi = (E \times A) / (UF \times MF)$$

Donde:

E = iluminancia requerida (lux)

A = área del espacio (m<sup>2</sup>)

UF = factor de utilización (estimado en 0.65)

MF = factor de mantenimiento (estimado en 0.70)

Los cálculos luminotécnicos determinaron un requerimiento total de 187.913 lm. Para compensar la depreciación luminosa asociada a la acumulación de polvo y las condiciones ambientales de la planta, se seleccionó un flujo luminoso instalado de 336.000 lm mediante 14 luminarias LED de 200 W, superando los requerimientos calculados.

Aunque el factor de mantenimiento (MF = 0,70) considera la depreciación lumínica estándar, se reconoce un sobredimensionamiento preventivo del 78,8 % respecto al flujo teórico calculado (336.000 lm instalados frente a 187.913 lm requeridos). Esta decisión de diseño se justificó por las condiciones ambientales severas de la planta —caracterizadas por una alta concentración de polvo plástico suspendido y paredes de bloque sin revestimiento de muy baja reflectancia—, buscando garantizar los

niveles de iluminación exigidos a lo largo de toda la vida útil del sistema sin requerir intervenciones de mantenimiento prematuras.

Implementación

La intervención consistió en la instalación de 14 luminarias LED industriales tipo campana UFO de 200 W, distribuidas estratégicamente en las áreas operativas de clasificación, procesamiento y almacenamiento de la planta, respetando los criterios de altura de montaje y separación definidos en el diseño luminotécnico. Estas sustituyeron equipos obsoletos (campanas metálicas de vapor de sodio y luminarias fluorescentes abiertas).

Como parte del proceso de instalación, se realizaron adecuaciones eléctricas directamente asociadas al sistema de iluminación, incluyendo canalización metálica tipo EMT, cajetines, conductores eléctricos de calibre adecuado y fijación segura de luminarias, garantizando condiciones seguras de operación y mantenimiento.

Evaluación

Una vez finalizada la instalación, se verificó el correcto funcionamiento del sistema y se realizaron nuevas mediciones de iluminancia siguiendo el mismo procedimiento aplicado durante el diagnóstico inicial. Los resultados permitieron cuantificar la mejora obtenida y verificar el cumplimiento de los niveles recomendados por la normativa.

3. Resultados

3.1. Medición de niveles de iluminación posterior a la intervención

Una vez implementado el nuevo sistema, se efectuaron mediciones de iluminancia utilizando el mismo luxómetro y en los mismos puntos evaluados durante el diagnóstico inicial. La Tabla 2 presenta los valores obtenidos después de la intervención y la Figura 3 muestra el mapa de iluminancia resultante.

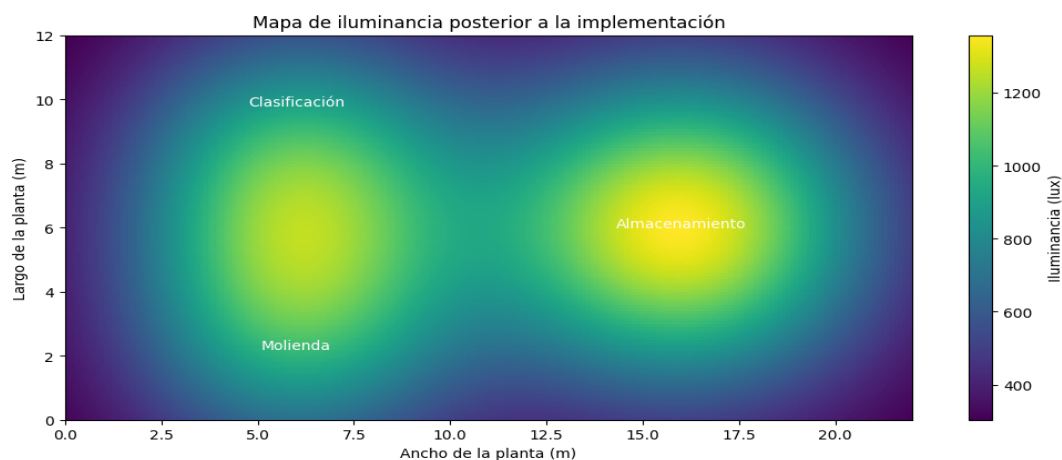
**Tabla 2**  
*Medición de iluminación realizada después de la intervención.*

| Área de la planta                            | Nivel de iluminación medido (lux) |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|
| Recepción de materia prima (entrada)         | 657                               |
| Recepción de materia prima (zona media)      | 840                               |
| Banda transportadora                         | 867                               |
| Zona próxima a la banda transportadora       | 757                               |
| Área de procesamiento de mangueras           | 573                               |
| Zona de trabajo intermedia                   | 936                               |
| Zona de trabajo cercana a la salida          | 825                               |
| Zona de almacenamiento de material reciclado | 977                               |
| Bodega                                       | 771                               |
| Zona de salida                               | 2 002                             |
| <b>Promedio general</b>                      | <b>920,5</b>                      |

*Nota:* Autores (2026).

**Figura 3**

*Mapa de iluminancia de la planta ASERECIME después de la implementación del sistema LED*



*Nota:* Autores (2026).

Los resultados muestran que todas las áreas evaluadas superaron sus respectivos niveles de referencia diferenciados por actividad (20-300 lux, Art. 56, Decreto 2393), alcanzándose un promedio general de 920,5 lux.

Para evaluar la calidad de la distribución de luz posterior a la instalación, se determinó la uniformidad lumínica general ( $U_o$ ), expresada como la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia promedio ( $E_{\min} / E_{\text{prom}}$ ). Con un valor mínimo de 573 lux y un promedio general de 920,5 lux, se obtuvo un factor de uniformidad  $U_o = 0,62$  el cual satisface los criterios de uniformidad recomendados por las especificaciones de la norma ISO/CIE 8995-1:2025 para tareas de procesamiento, manipulación y trabajo industrial general. Asimismo, la relación entre la iluminancia mínima y la máxima ( $E_{\min} / E_{\max}$ ) fue de 0,29. Cabe señalar que el valor puntual elevado registrado en la zona de salida (2.002 lux) se explica por la superposición de la iluminación artificial con el aporte directo de luz natural que ingresa por el portón principal de acceso y descarga de camiones; excluyendo dicha contribución exterior puntual, los niveles en las áreas operativas interiores mostraron una distribución homogénea.

### 3.2. Análisis comparativo antes y después de la intervención

La Tabla 3 presenta la comparación de los niveles de iluminancia antes y después de la intervención. El promedio general se incrementó de 182,2 lux a 920,5 lux, lo que representa un aumento superior a cinco veces respecto a la condición inicial. El mayor incremento se registró en la recepción de materia prima (15 a 657 lux), equivalente a un incremento aproximado de 44 veces respecto a la condición inicial. En todas las áreas evaluadas se superaron los niveles de referencia diferenciados por actividad establecidos en el Art. 56 del Decreto 2393, lo que evidencia la efectividad del rediseño luminotécnico implementado.

**Tabla 3***Comparación de niveles de iluminación antes y después de la intervención*

| Área de la planta                            | Antes (lux) | Después (lux) |
|----------------------------------------------|-------------|---------------|
| Recepción de materia prima (entrada)         | 15          | 657           |
| Recepción de materia prima (zona media)      | 26          | 840           |
| Banda transportadora                         | 84          | 867           |
| Zona próxima a la banda transportadora       | 75          | 757           |
| Área de procesamiento de mangueras           | 284         | 573           |
| Zona de trabajo intermedia                   | 50          | 936           |
| Zona de trabajo cercana a la salida          | 412         | 825           |
| Zona de almacenamiento de material reciclado | 120         | 977           |
| Bodega                                       | 22          | 771           |
| Zona de salida                               | 734         | 2 002         |

*Nota:* Autores (2026).

### 3.3. Evaluación del desempeño energético y lumínico

La Tabla 4 presenta el análisis comparativo de la potencia instalada y de la potencia operativa antes y después de la intervención.

**Tabla 4***Comparación de la potencia instalada y la potencia operativa del sistema de iluminación antes y después de la intervención.*

| Tipo de luminaria   | Cantidad | Potencia unitaria (W) | Estado                  | Potencia total instalada (W) | Potencia real operativa (W) |
|---------------------|----------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Vapor de sodio      | 8        | 400                   | 3 operativas, 5 dañadas | 3.200                        | 1.200                       |
| Fluorescente        | 6        | 32                    | 2 operativas, 4 dañadas | 192                          | 64                          |
| Incandescente       | 4        | 60                    | 1 operativa, 3 dañadas  | 240                          | 60                          |
| Total Antes         | 18       | —                     | —                       | 3.632                        | 1.324                       |
| Total después (LED) | 14       | 200                   | 14 operativas           | 2.800                        | 2.800                       |

*Nota:* Autores (2026).

La potencia total instalada se redujo de 3.632 W a 2.800 W lo que representa una reducción del 22,9 %. Sin embargo, el indicador más relevante es la potencia real operativa, que pasó de 1.324 W (solo 6 luminarias funcionando) a 2.800 W (las 14 luminarias nuevas en operación), lo que supone un incremento del 111,5 %. Este comportamiento se explica por la condición inicial de deterioro del sistema, en la cual únicamente seis de las 18 luminarias existentes se encontraban operativas. Por tanto, la menor potencia real demandada antes de la intervención no representaba un menor consumo asociado a un sistema eficiente, sino una consecuencia de la indisponibilidad de 12 luminarias y de los bajos niveles de iluminación registrados.

Para diferenciar la potencia eléctrica demandada de la energía consumida, se estimó el consumo mensual considerando una jornada de funcionamiento de 8 horas diarias durante 22 días al mes, equivalente a 176 h/mes. La estimación se realizó mediante la expresión:  $E = p \cdot t$  donde (E) corresponde a la energía consumida en kWh, (P) a la potencia real operativa en kW y (t) al tiempo de funcionamiento mensual en horas. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Comparación de potencia, consumo energético y desempeño lumínico antes y después de la intervención*

| Indicador                                  | Antes de la Intervención | Después de la Intervención | Variación |
|--------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|
| Potencia real operativa (kW)               | 1,324                    | 2,800                      | +111,5 %  |
| Horas de funcionamiento (h/mes)            | 176                      | 176                        | –         |
| Consumo energético estimado (kWh/mes)      | 233,02                   | 492,80                     | +111,5 %  |
| Iluminancia promedio (lux)                 | 182,2                    | 920,5                      | +405,2 %  |
| Iluminancia promedio por potencia (lux/kW) | 137,61                   | 328,75                     | +138,9 %  |

*Nota:* el consumo energético corresponde a una estimación basada en 176 h/mes y en la potencia real operativa registrada en cada condición. El indicador lux/kW representa la iluminancia promedio obtenida por unidad de potencia eléctrica demandada y no corresponde a la eficacia luminosa fotométrica, cuya unidad es lm/W (Autores, 2026).

De acuerdo con la Tabla 5, el consumo estimado aumentó de 233,02 a 492,80 kWh/mes debido a la recuperación del sistema, por lo que no se evidencia una reducción absoluta del consumo energético. No obstante, la iluminancia promedio aumentó de 182,2 a 920,5 lux (+405,2 %), mientras que la relación iluminancia/potencia pasó de 137,61 a 328,75 lux/kW (+138,9 %), con una reducción del 22,9 % de la potencia instalada.

Los valores de eficacia luminosa de 65 lm/W (sistema anterior) y 120 lm/W (LED) son referencias nominales, no mediciones de campo. Para LED,  $24\ 000/200=120$  lm/W, mientras que el incremento nominal respecto a 65 lm/W es del 84,6 %. Este valor representa una mejora tecnológica nominal y no una mejora fotométrica global medida.

### 3.4. Capacitación al personal

Como parte del enfoque ApS, se capacitó al 100 % del personal operativo (5 trabajadores) en riesgos eléctricos, uso de equipos de protección individual y mantenimiento preventivo del sistema de iluminación instalado. La capacitación fortaleció las competencias básicas del personal para la operación segura y el mantenimiento del sistema. Las encuestas de satisfacción reflejaron una valoración positiva (4,8/5), destacando la claridad de los contenidos y su utilidad para el trabajo diario.

## 4. Discusión

### Reactivación funcional frente a optimización energética convencional

Los resultados obtenidos muestran una situación que requiere un análisis cuidadoso: la potencia eléctrica operativa aumentó un 111,5% (de 1.324 W a 2.800 W), mientras que los niveles de iluminación mejoraron en un 405,2 % (de 182,2 lux a 920,5 lux) y la eficacia luminosa del sistema (lm/W) se incrementó en un 84%.

El diagnóstico inicial evidenció que solo 6 de 18 luminarias (33%) se encontraban operativas, y las restantes presentaban fallas o permanecían apagadas por razones de seguridad. En este contexto, la línea base de potencia operativa (1.324 W) correspondía a un sistema de iluminación parcialmente operativo, que no proporcionaba niveles de iluminancia adecuados en varias de las áreas evaluada. La intervención, por tanto, no aumentó el consumo sobre un sistema que funcionaba correctamente; más bien, llevó el sistema de iluminación a su condición de funcionamiento prevista, mejorando las condiciones de operación y seguridad asociadas a los elementos intervenidos. Este hallazgo subraya la importancia de distinguir entre consumo operativo y consumo funcional en diagnósticos energéticos de instalaciones degradadas.

### La eficacia luminosa del sistema como indicador relevante

En proyectos que parten de sistemas degradados, el indicador de eficacia luminosa del sistema (lm/W) resulta más relevante que la comparación de consumo absoluto. Mientras que el consumo absoluto está condicionado por el estado previo del sistema (número de luminarias operativas, horas de uso efectivas), la eficacia luminosa del sistema es una propiedad intrínseca de la tecnología instalada.

Respecto a la eficacia luminosa, es preciso aclarar que los valores de 65 lm/W para la tecnología de iluminación sustituida y 120 lm/W para las luminarias LED UFO instaladas corresponden a valores nominales de referencia, obtenidos a partir de fichas técnicas de fabricantes y literatura técnica para las tecnologías representativas presentes antes de la intervención, y no a una medición directa de la eficacia fotométrica global del sistema en campo. En consecuencia, estos valores no deben interpretarse como una eficacia medida del conjunto de luminarias, sino como una referencia comparativa de la eficiencia de las tecnologías empleadas. A partir de estos valores nominales, el incremento de eficacia se calculó como  $[(120-65) / 65] \times 100$ , obteniéndose un 84,6 % de mejora teórica. La eficacia real del sistema instalado puede ser inferior a este valor debido a las pérdidas asociadas al driver, las características ópticas de las luminarias y las condiciones ambientales del entorno industrial, particularmente la acumulación de polvo. Por tanto, el resultado de 84,6 % representa una mejora nominal estimada de la eficacia tecnológica, y no una mejora fotométrica global medida en campo. No obstante, este indicador permite evidenciar la mayor capacidad de conversión de energía eléctrica en flujo luminoso de la

tecnología LED empleada frente a las tecnologías de iluminación anteriormente utilizadas

#### Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones previas sobre modernización de sistemas de iluminación industrial mediante tecnología LED. A nivel internacional, Uyan et al. (2023) reportaron mejoras en niveles de iluminancia y eficiencia energética en plantas manufactureras, con reducciones de consumo de hasta el 60% en sistemas funcionales. Dubois et al. (2015) demostraron que la modernización de la iluminación mejora tanto las condiciones de trabajo como la eficiencia energética en plantas industriales. Salvadori et al. (2016) y Zhao et al. (2025) destacaron la importancia de enfoques integrales que combinan auditorías energéticas y herramientas de simulación lumínica para optimizar la distribución de la luz.

En el contexto ecuatoriano, Cachimuel et al. (2020) encontraron incrementos de productividad asociados a mejoras en iluminación en organizaciones industriales, utilizando simulación con DIALux y sustitución por tecnología LED. Ibn Batouta et al. (2025) señalaron que en países en desarrollo la eficiencia energética suele abordarse de manera puntual, especialmente en pequeñas empresas e iniciativas comunitarias.

Sin embargo, la mayoría de estos estudios parten de sistemas funcionales, donde la modernización implica una sustitución directa sin cambios en el nivel de servicio. El caso de ASERECIME aporta una perspectiva complementaria: cuando el sistema de partida se encuentra parcialmente colapsado, la intervención debe evaluarse priorizando la funcionalidad y la seguridad sobre la reducción del consumo histórico.

#### Implicaciones para proyectos de vinculación universitaria

La experiencia permitió aplicar el enfoque de Aprendizaje-Servicio en un contexto de ingeniería aplicada. Como señalan Aramburuzabala & Cerrillo (2023), el ApS permite a los estudiantes enfrentar problemas reales con todas sus complejidades, favoreciendo la aplicación de conocimientos técnicos y la interacción con el entorno comunitario.

En este caso, los estudiantes aplicaron conocimientos de diseño luminotécnico y seguridad eléctrica durante el diagnóstico y la intervención, considerando las limitaciones económicas y operativas de la organización comunitaria. La capacitación al personal, que alcanzó al 100 % de los trabajadores, abordó aspectos básicos de operación segura y mantenimiento preventivo del sistema de iluminación intervenido.

#### Limitaciones del estudio

La principal limitación del estudio es la ausencia de medición del factor de potencia posterior a la intervención. El factor de potencia global depende principalmente de las cargas inductivas (motores de extrusoras, molinos y prensas), las cuales no fueron intervenidas en esta fase. Las luminarias LED instaladas presentan un factor de

potencia superior a 0,9 por diseño, pero al no haberse intervenido el tablero general ni realizado una medición global, no es posible cuantificar el impacto en el factor de potencia promedio de la instalación.

Asimismo, las mediciones se realizaron con luminarias nuevas (0 horas de uso), por lo que no reflejan la depreciación lumínica por acumulación de polvo, un factor crítico en plantas de reciclaje. El estudio se limitó a una única planta recicladora, por lo que los resultados no son generalizables a otros contextos sin adaptaciones particulares. Futuras investigaciones deberían evaluar la estabilidad de los niveles de iluminancia tras periodos de operación prolongados, así como el impacto real en la productividad y la reducción de accidentes laborales.

Desde el componente pedagógico, si bien el proyecto se estructuró bajo el enfoque de Aprendizaje-Servicio y los estudiantes desarrollaron competencias técnicas y de vinculación comunitaria a lo largo de las actividades descritas, no se aplicó un instrumento formal (rúbrica o cuestionario pre/post) para medir el aprendizaje logrado. Este vacío metodológico es reconocido como una limitación del estudio; futuras intervenciones bajo este enfoque deberían incorporar instrumentos validados de evaluación de competencias para fortalecer la evidencia del componente pedagógico.

#### Contribución y cierre

El presente estudio contribuye a la literatura existente al documentar una intervención de mejora de iluminación en una planta de reciclaje comunitaria, un contexto poco estudiado en la literatura de ingeniería. A diferencia de los estudios en entornos industriales formales, este caso evidencia que la modernización tecnológica en organizaciones de economía popular y solidaria debe abordarse considerando el estado degradado de las instalaciones, priorizando la funcionalidad y la seguridad antes que la mera reducción de consumo.

En conjunto, los resultados evidencian que la integración del Aprendizaje-Servicio con el rediseño luminotécnico constituye una estrategia efectiva para transferir conocimiento, mejorar las condiciones de seguridad eléctrica y promover intervenciones sostenibles en organizaciones comunitarias con recursos limitados.

## 5. Conclusiones

La intervención en la planta de reciclaje ASERECIME evidencia que la modernización de sistemas de iluminación en contextos vulnerables requiere priorizar la funcionalidad y la seguridad antes que la reducción inmediata del consumo energético. El diagnóstico inicial reveló un sistema parcialmente colapsado (33% de luminarias operativas, 182,2 lux promedio), con deficiencias de seguridad y condiciones de trabajo inadecuadas. Tras la intervención, se logró un sistema completamente funcional (100% de luminarias operativas, 920,5 lux promedio), alcanzando niveles de iluminación acordes con los valores de referencia establecidos por la normativa

aplicable. El incremento del consumo eléctrico absoluto (+111,5%) responde a la reactivación del sistema completo y no a una ineficiencia de la nueva tecnología.

En términos de eficacia luminosa, los valores de 65 lm/W para las tecnologías sustituidas y 120 lm/W para la tecnología LED corresponden a referencias nominales, no a mediciones fotométricas del sistema en campo. Para las luminarias LED, el valor de 120 lm/W se obtiene de la relación entre el flujo luminoso nominal y la potencia nominal. El incremento del consumo absoluto debe interpretarse conjuntamente con la mejora de la iluminancia y de la relación iluminancia/potencia, que aumentó de 137,61 a 328,75 lux/kW.

El enfoque de Aprendizaje-Servicio constituyó un habilitador para la transferencia de conocimientos y la sostenibilidad de la intervención. La capacitación alcanzó al 100 % del personal operativo y abordó contenidos relacionados con operación segura y mantenimiento preventivo. Esta experiencia evidencia la integración de la formación académica con la atención de necesidades reales del entorno productivo, particularmente en organizaciones de economía popular y solidaria.

Como limitación, el estudio se circunscribe a una única planta recicladora. Por tanto, los resultados evidencian la efectividad técnica de la intervención realizada en ASERECIME, pero no permiten confirmar la eficacia general de la metodología en otras organizaciones. Se recomienda evaluar el comportamiento del sistema tras periodos prolongados de operación e incorporar mediciones del factor de potencia y de la depreciación lumínica, así como realizar estudios en otras plantas de reciclaje para evaluar la replicabilidad de la propuesta.

En conjunto, el estudio evidencia que la recuperación funcional de sistemas de iluminación degradados debe evaluarse mediante indicadores de desempeño técnico y lumínico, y no únicamente por la reducción del consumo energético. El enfoque de Aprendizaje-Servicio favoreció la transferencia de conocimientos y la mejora de las condiciones de operación y seguridad asociadas al sistema de iluminación intervenido, en una organización comunitaria de economía popular y solidaria.

## CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

## DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

## Referencias Bibliográficas

- Aramburuzabala, P., & Cerrillo, R. (2023). Service-learning as an approach to educating for sustainable development. *Sustainability*, 15(14), Article 11231. <https://doi.org/10.3390/su151411231>
- Aramburuzabala, P., Hernández Castilla, R. & Angel Uribe, I. C. (2013). Modelos y tendencias del aprendizaje servicio en la educación superior. *Educación Global*, 17, 47–76.
- Barreiro-García, L. A., Montes-Ferrín, J. G., Barreiro-García, J. D. & Vinueza-Mendoza, G. W. (2026). Diseño para desmontaje mejora circularidad y reduce carbono en edificios. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 154–167. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/158>
- Bingle, R. G., & Hatcher, J. A. (1996). Implementing service learning in higher education. *The Journal of Higher Education*, 67(2), 221–239. <https://doi.org/10.1080/00221546.1996.11780257>
- Cachimuel, C., Segura-D’Rouville, J. & Remache-Vinueza, B. (2020). La reingeniería aplicada al sistema de iluminación en una organización industrial. *CienciAmérica*, 9(4), 51–58. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i4.343>
- Chen, H., Yeboah, S. K., Dawodu, A., Dodoo, J. K., & Zou, T. (2025). A systematic review of circular economy of artificial lighting and global sustainability. *Energy and Buildings*, 347, Article 116314. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116314>
- Dubois, M.-C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy use in buildings: A literature review. *Energy Research Journal*, 6(1), 25–41. <https://doi.org/10.3844/erjsp.2015.25.41>
- Ibn Batouta, K., Aouhassi, S., & Mansouri, K. (2025). Barriers, drivers, and practices of industrial energy efficiency: An empirical study in Morocco’s largest industrial hub. *Energy Reports*, 14, 693–710. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.06.029>
- Mihai, F.-C., Gündoğdu, S., Markley, L. A., Olivelli, A., Khan, F. R., Gwinnett, C., Gutberlet, J., Reyna-Bensusan, N., Llanquileo-Melgarejo, P., Meidiana, C., Elagroudy, S., Ishchenko, V., Penney, S., Lenkiewicz, Z., & Molinos-Senante, M. (2022). Plastic pollution, waste management issues, and circular economy opportunities in rural communities. *Sustainability*, 14(1), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su14010020>
- Muñoz Paredes, C. C. & Mariño Andrade, H. G. (2025). Evaluación del impacto de los niveles de iluminación en la salud ocupacional en las áreas de trabajo de Exportquil S.A. en Guayaquil, 2024. *Religación*, 10(47), e2501550. <https://doi.org/10.46652/rqn.v10i47.1550>
- Presidencia de la República del Ecuador. (1986, 17 de noviembre). *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo* (Decreto Ejecutivo No. 2393). Registro Oficial No. 565. Gob.ec. <https://www.gob.ec/regulaciones/decreto-ejecutivo-2393>

- Presidencia de la República del Ecuador. (2024, 2 de mayo). *Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo* (Decreto Ejecutivo No. 255). Registro Oficial No. 554. Ministerio del Trabajo. <https://www.trabajo.gob.ec/reglamento-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>
- Salvadori, G., Fantozzi, F., Rocca, M., & Leccese, F. (2016). The energy audit activity focused on the lighting systems in historical buildings. *Energies*, 9(12), Article 998. <https://doi.org/10.3390/en9120998>
- Tapia, M. N. (2008). Aprendizaje y servicio solidario en la misión de la educación superior. En A. González y R. Montes (Comps.), *El aprendizaje-servicio en la educación superior: Una mirada analítica desde los protagonistas* (pp. 11–33). Eudeba.
- Tirira-Chulde, R. D., Rodríguez-Santillán, M. D., Taco-Cabrera, A. G., Merino-Villegas, L. R. & Tejada-Valencia, J. P. (2026). Efectos de los regímenes de conmutación sobre los parámetros eléctricos en lámparas LED modulares, lámparas LED compactas y lámparas fluorescentes compactas. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 214–232. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/162>
- Uyan, E., Atlar, M., & Ölçer, A. I. (2023). Improving the energy efficiency of lighting systems for a marine equipment manufacturing plant through retrofitting, daylighting, and behaviour change. *Journal of Cleaner Production*, 413, Article 137216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137216>
- Wang, S., Su, D., & Wu, Y. (2022). Environmental and social life cycle assessments of an industrial LED lighting product. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, Article 106804. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106804>
- Zhang, X., Ghahramani, A., Wei, Z., Wang, J., Wang, L., & Chen, D. (2025). Short-term effects of static and dynamic lighting on sleepiness and task performance in simulated enclosed spaces. *Advanced Design Research*, 3(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijadr.2025.08.002>
- Zhao, Z., Gao, Z., Wang, H., Meng, F., Zhu, X., & Xu, F. (2025). DIALux evo and Ladybug + Honeybee: A review of performance and application in electric lighting environment. *Building and Environment*, 285, Article 113570. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113570>