

# Hojas electrónicas para el aprendizaje de poderes caloríficos de residuos en estudiantes de Ingeniería Ambiental.

## *Electronic worksheets for teaching environmental engineering students about the calorific values of waste.*

Barragan-Monrroy, Roberto Johan<sup>1</sup>; Zambrano-Romero, María Alejandra<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Manabí, Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ecuador, Portoviejo; <https://orcid.org/0000-0003-4682-5529>; [rbarraganm@uteq.edu.ec](mailto:rbarraganm@uteq.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Manabí; Ecuador, Portoviejo; <https://orcid.org/0009-0001-6044-6624>; [alejandra.zambrano@utm.edu.ec](mailto:alejandra.zambrano@utm.edu.ec)

<sup>1</sup> Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/nE1/184>

**Cita:** Barragan-Monrroy, R. J., & Zambrano-Romero, M. A. (2025). Hojas electrónicas para el aprendizaje de poderes caloríficos de residuos en estudiantes de Ingeniería Ambiental. *Innova Science Journal*, 3(E1), 127-142. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/nE1/184>

**Recibido:** 20/08/2025

**Aceptado:** 01/12/2025

**Publicado:** 31/12/2025



**Copyright:** © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. \(CC BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** La presente investigación tuvo como objetivo implementar hojas electrónicas para el aprendizaje de los poderes caloríficos de residuos en estudiantes de Ingeniería Ambiental. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, cuasi experimental, con dos grupos: uno experimental que trabajó mediante ABP con diseño de hojas electrónicas y otro control que utilizó la metodología expositiva tradicional. Se aplicaron pruebas tipo test antes y después de la intervención educativa, y los datos se procesaron estadísticamente mediante la prueba t de Student y ganancia de Hake para determinar el impacto del aprendizaje. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en el grupo experimental, con una ganancia alta ( $g = 0,91$ ), frente a una ganancia media ( $g = 0,48$ ) en el grupo control, lo que demuestra una mejora sustancial en la comprensión y aplicación de los conceptos termoquímicos. Se concluye que la combinación del ABP y las hojas electrónicas potencia el aprendizaje significativo, fomenta la autonomía y fortalece las competencias analíticas y ambientales, constituyendo una propuesta metodológica replicable para la enseñanza científica universitaria.

**Palabras clave:** aprendizaje; análisis elemental; educación.

**Abstract:** The objective of this research was to implement spreadsheets for teaching environmental engineering students about the calorific values of waste. The study was conducted using a quantitative, quasi-experimental approach with two groups: an experimental group that worked with PBL using spreadsheets and a control group that used traditional lecture-based teaching methods. Multiple-choice tests were administered before and after the educational intervention, and the data were statistically processed using Student's t-test and Hake's gain to determine the impact of learning. The results showed a significant increase in the experimental group, with a high gain ( $g = 0.91$ ), compared to a medium gain ( $g = 0.48$ ) in the control group, demonstrating a substantial improvement in the understanding and application of thermochemical concepts. It is concluded that the combination of PBL and electronic worksheets enhances meaningful learning, promotes autonomy, and strengthens analytical and environmental skills, constituting a replicable methodological proposal for university science teaching.

**Keywords:** learning; elementary analysis; education.

## 1. Introducción

A nivel mundial, la educación en sostenibilidad y gestión ambiental ha tomado un papel central en la formación de futuras generaciones. Instituciones educativas de todo el mundo reconocen la necesidad de formar profesionales capaces de afrontar los retos ambientales contemporáneos, que incluyen la gestión eficiente de recursos y la minimización de residuos. En este contexto, la enseñanza de conceptos energéticos, como los poderes caloríficos de residuos, se vuelve esencial para dotar al estudiantado de competencias clave que impulsen el cambio hacia modelos productivos circulares y ambientalmente sostenibles (Kioupi y Voulvoulis, 2019; Lozano et al., 2021).

En la enseñanza de la Ingeniería Ambiental, la comprensión de conceptos químicos y energéticos, como los poderes caloríficos de residuos, es esencial para desarrollar especialistas con capacidad técnica en la gestión y valorización de los residuos sólidos. Según Cucchiella et al. (2017), la integración de tecnologías como simulaciones y herramientas de análisis digital en el currículo educativo ha demostrado ser eficaz en la formación académica para afrontar problemáticas ambientales de alta complejidad. Además, la investigación de Istrate et al. (2020) subraya la necesidad de adoptar enfoques educativos innovadores que promuevan un aprendizaje activo y participativo, especialmente en áreas técnicas como la gestión de residuos y la conversión energética.

La integración de hojas electrónicas como recurso educativo ha sido propuesta en diversos estudios como una alternativa pedagógica eficaz para optimizar la adquisición de nociones avanzadas dentro de áreas técnicas. Sin embargo, a pesar de los avances en la integración de herramientas tecnológicas en el ámbito universitario, existen vacíos significativos en la implementación de herramientas que promuevan el aprendizaje activo de temas químicos y energéticos, como los poderes caloríficos de residuos (Bansal y Kumar, 2018). Estas limitaciones abren el camino a la exploración de metodologías activas que permitan un uso más profundo y contextualizado de dichas herramientas en asignaturas científicas.

Para superar estos desafíos y favorecer un uso más significativo de las hojas electrónicas como recurso educativo, es fundamental incorporarlas dentro de estrategias didácticas que posicionen al alumno como protagonista del proceso formativo. En particular, cuando las herramientas digitales se emplean dentro del Aprendizaje Basado en Proyectos, su impacto formativo se amplía considerablemente. Esto se debe a que el ABP transforma la dinámica del aula: los estudiantes dejan de recibir contenidos de forma pasiva para asumir un rol activo, en el que planifican, ejecutan y evalúan proyectos con sentido práctico y relevancia fuera del entorno académico. Esta metodología no solo promueve la comprensión aplicada, sino que también impulsa el fortalecimiento de habilidades profesionales esenciales a través del trabajo conjunto en situaciones auténticas, estimulando el pensamiento crítico, la capacidad de decisión fundamentada y la aplicación del aprendizaje en escenarios distintos (Puenayan et al., 2024; Martí et al., 2010).

En el ámbito de la Ingeniería Ambiental, la creciente relevancia de la gestión energética de residuos exige la formación de profesionales capaces de aplicar soluciones sostenibles frente a los desafíos actuales (Gorbett et al., 2022). Para responder a esta necesidad formativa, resulta pertinente incorporar metodologías activas como el ABP, complementar esta estrategia con materiales pedagógicos de apoyo como las hojas

electrónicas resulta pertinente para mejorar la comprensión de conceptos químicos complejos, contribuyendo significativamente a la formación de profesionales mejor preparados para enfrentar los desafíos energéticos y ambientales contemporáneos, ofreciendo soluciones sostenibles en la gestión de residuos (El-Fadel et al., 2004; García y Smith, 2020).

En base a lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo implementar hojas electrónicas como recurso didáctico para el aprendizaje de los poderes caloríficos de residuos en estudiantes de Ingeniería Ambiental, mediante la aplicación de la metodología del ABP, en la cual el diseño de dichas hojas constituye el producto final del proceso formativo.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Ubicación

El presente estudio se desarrolló en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Campus "La María" (Figura 1). Específicamente, la intervención se llevó a cabo en la carrera de Ingeniería Ambiental, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería. La Facultad cuenta con infraestructura adecuada para el desarrollo de actividades académicas y proyectos de innovación educativa, incluyendo laboratorios, aulas equipadas con recursos digitales y conectividad a internet, lo cual facilitó la implementación del (ABP) y el uso de hojas electrónicas como recurso didáctico.

Figura 1.

*Campus La María, UTEQ.*



**Nota:** Área de estudio, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus La María. Fuente: Elaboración Propia.

### 2.2. Tipo de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicando un diseño cuasi experimental de corte transversal, dado que se analizó el impacto del ABP con el diseño y uso de hojas electrónicas en el aprendizaje de los poderes caloríficos en un periodo específico de tiempo.

### 2.3. Métodos de investigación

- **Método descriptivo:** Permitió caracterizar la base cognitiva inicial del alumnado sobre poderes caloríficos mediante encuestas y pruebas de diagnóstico.
- **Método experimental:** Consistió en la aplicación del ABP y de hojas electrónicas en el grupo experimental (GE) y la enseñanza tradicional o expositiva en el grupo control (GC), comparando posteriormente los resultados obtenidos.

### 2.4. Población y muestra

La población participante correspondió a estudiantes de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, quienes cursaban la asignatura de Valorización Energética de Residuos durante el período académico noviembre–marzo de 2024. En total, participaron 40 estudiantes pertenecientes a un único paralelo. Se seleccionó una muestra no probabilística basada en criterios de conveniencia, considerando la accesibilidad de los grupos y la viabilidad de implementación del diseño metodológico. El grupo experimental (GE) estuvo integrado por 20 estudiantes elegidos aleatoriamente, quienes desarrollaron el proyecto educativo basado en la metodología ABP con diseño de hojas electrónicas, mientras que el grupo control (GC) contó con 20 estudiantes que recibieron clases bajo la modalidad expositiva tradicional.

### 2.5. Diseño de la investigación

El estudio fue organizado en cuatro fases esenciales: diagnóstico inicial, intervención pedagógica, evaluación del aprendizaje y análisis estadístico de resultados. Se trabajó con dos grupos: un grupo experimental, donde se aplicó el ABP con diseño de hojas electrónicas, y un grupo control, donde se utilizó una metodología expositiva.

#### 2.5.1. Diagnóstico del aprendizaje

Al inicio del estudio, se aplicó un pretest a ambos grupos para identificar el nivel de conocimientos previos sobre los poderes caloríficos de residuos. El instrumento, diseñado por el equipo docente, constó de 20 ítems de opción múltiple que abordan fundamentos de composición elemental, PCS/PCI y modelos de estimación, y fue sometido a juicio de expertos para asegurar validez de contenido.

Adicionalmente, se contempló la evaluación de la confiabilidad del instrumento a través del coeficiente alfa de Cronbach, con el fin de evaluar su consistencia interna y comprobar que los ítems miden de forma homogénea el mismo constructo. Esta decisión metodológica se sustenta en la literatura psicométrica, en la que el alfa se utiliza ampliamente para valorar la precisión de escalas y pruebas educativas (Tavakol y Dennick, 2011). Este diagnóstico permitió establecer una línea base objetiva y comparable entre el grupo experimental y el grupo control, y proporcionó insumos para ajustar la intervención pedagógica en función de los vacíos conceptuales detectados.

#### 2.5.2. Intervención pedagógica

La intervención pedagógica se diseñó con base en el ABP, una metodología activa que coloca al estudiante como agente central del proceso educativo, al enfrentarlo a la resolución de problemáticas reales mediante el trabajo colaborativo, la investigación y

la producción de un producto final (Bell, 2010). En este estudio, se integró el uso de hojas electrónicas como recurso didáctico central para fortalecer el aprendizaje de los poderes caloríficos de residuos, a partir del análisis elemental y su valorización energética.

### 2.5.2.1. Grupo Experimental (GE): Aplicación del aprendizaje basado en proyectos con diseño de hojas electrónicas

La intervención en el grupo experimental se estructuró bajo los lineamientos metodológicos del ABP propuesto por la Secretaría de Educación Pública de México (2022). Este enfoque considera una secuencia didáctica en fases progresivas que promueven el aprendizaje activo, colaboración, investigación, la toma de decisiones informadas y la elaboración de un producto final significativo. En este caso, el diseño y desarrollo de una hoja electrónica funcional para el cálculo de poderes caloríficos representó el eje integrador del proceso formativo. El modelo aplicado sitúa al estudiante en el centro del aprendizaje, incentivando la resolución de problemas contextualizados mediante el trabajo autónomo y en equipo, con acompañamiento docente. A continuación, se describen las fases adaptadas a las características del proyecto:

- **Punto de partida:** Se propuso una pregunta guía para contextualizar el proyecto: ¿Qué residuo sólido de mi entorno local tiene el mayor potencial energético para ser valorizado? Esta interrogante sirvió como punto de partida para la indagación, orientando la búsqueda de soluciones aplicables a residuos reales del entorno del estudiante.
- **Formación de equipos:** Los estudiantes se organizaron en equipos de cuatro integrantes, procurando equilibrio entre niveles de desempeño, habilidades digitales y conocimiento previo en química ambiental. Se asignaron roles rotativos (líder, investigador, diseñador y presentador) con el fin de fomentar la corresponsabilidad y el aprendizaje colaborativo.
- **Planteamiento del reto o producto final:** El reto consistió en desarrollar una hoja electrónica interactiva que, a partir de datos de análisis elemental, permitiera calcular:
  - ~ Poder Calorífico Superior
  - ~ Poder Calorífico Inferior

Se establecieron elementos mínimos para todos los grupos:

- ~ Ingreso de datos de composición elemental (%C, %H, %O, %N, %S).
- ~ Determinación del mayor potencial energético comparando tres residuos (madera, cartón y césped).
- ~ Cálculo del PCS tomando como base los siguientes modelos matemáticos, tal como se evidencia en la tabla 1:

Tabla 1.

**Modelos matemáticos para estimar los poderes caloríficos superior.**

DEMIRBAS
$PCS = 33,5(C) + 142,3(H) - 15,4(O)$
FRANCIS
$PCS = 0,3578(C) + 1,1356(H) + 0,0594(N) - 0,0845(O) - 0,974$
SCHEURER
$PCS = 81 \left( C - \frac{3}{4}(O) \right) + 342,5(H) + 22,5(S) + 57 \left( \frac{3}{4} \right) (O)$
DULONG
$PCS = 78,31(C) + 359,32 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 22,12(S) + 11,87(O) + 5,78(N)$

**Nota:** Diferentes modelos matemáticos para el cálculo del poder calorífico superior en base a análisis elementales.

~ Estimación del PCI aplicando la siguiente ecuación:

$$PCI = PCS - 2,44 (9H x W)$$

~ Incorporación de validaciones y gráficas comparativas entre residuos. Si bien cada grupo tuvo libertad en el diseño estético y la distribución de la hoja de cálculo, estas funciones eran obligatorias para garantizar comparabilidad técnica entre productos.

- **Organización y planificación:** Los grupos elaboraron un cronograma de actividades, validado por el docente, donde definieron tareas semanales, productos parciales y responsables. Se entregó una guía con fechas clave, una rúbrica de evaluación y ejemplos referenciales.
- **Búsqueda y recopilación de información:** Se destinó una etapa específica a la investigación documental, donde los estudiantes consultaron fuentes académicas y técnicas para comprender:
  - ~ Fundamentos del poder calorífico.
  - ~ Modelos matemáticos de estimación de PCS/PCI (Demirbas, Francis, Boie, Scheurer y Dulong).
  - ~ Casos reales de valorización energética de residuos.
  - ~ Buenas prácticas en diseño de hojas electrónicas.
  - ~ El docente proporcionó un repositorio inicial con bibliografía científica y enlaces a artículos y manuales técnicos.
- **Análisis y síntesis:** Cada grupo organizó la información recopilada, analizaron los análisis elementales y modelos matemáticos, y decidieron cómo representar gráficamente los resultados. Esta fase implicó discutir qué residuos serían analizados, cómo validarían los resultados y cómo presentarían los datos de manera clara.
- **Producción de la hoja electrónica:** Los estudiantes implementaron sus hojas electrónicas en Microsoft Excel. Se integraron fórmulas, validaciones de entrada,

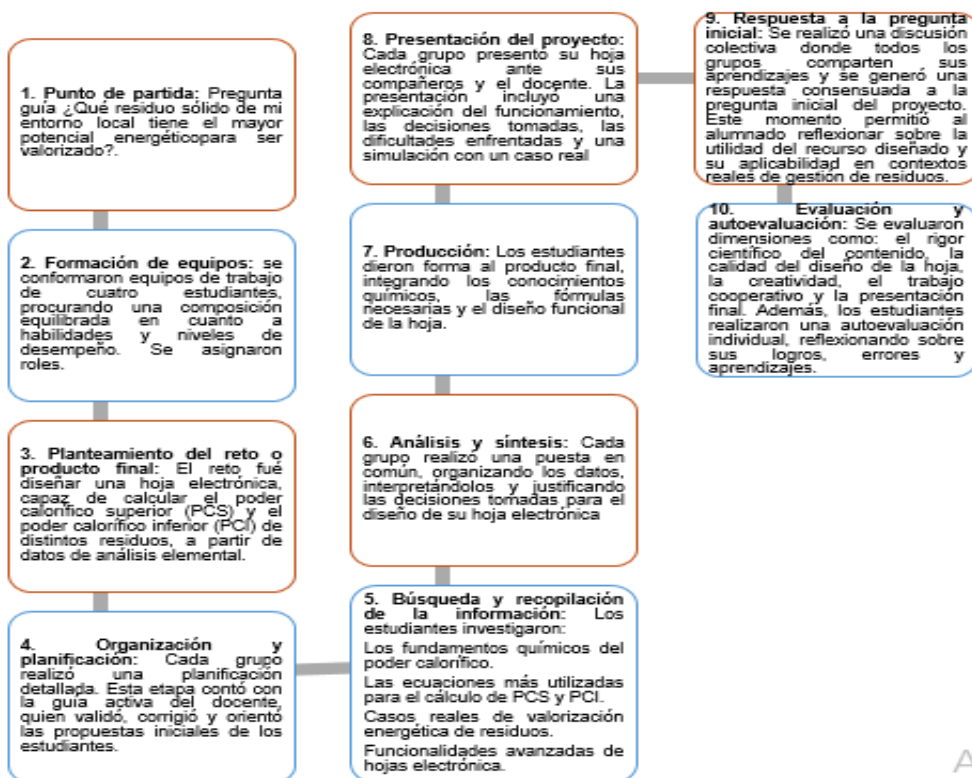
formatos condicionales y gráficos para comparar resultados. El diseño final debía ser funcional, intuitivo y orientado a facilitar la toma de decisiones en gestión energética de residuos.

- **Presentación del proyecto:** Cada grupo expuso su hoja ante el curso y el docente, explicando su funcionamiento, las fórmulas implementadas, las decisiones tomadas y los resultados obtenidos. También se simuló un caso real de aplicación con residuos del entorno local, reforzando el componente contextual y aplicado del proyecto.
- **Respuesta a la pregunta guía:** Mediante los datos obtenidos, los grupos reflexionaron colectivamente sobre cuál de los residuos analizados presentaba mayor potencial energético, argumentando su elección en función de los resultados de PCS/PCI.
- **Evaluación y autoevaluación.** Se aplicaron rúbricas que valoraron:
  - ~ Contenido técnico y científico.
  - ~ Exactitud de cálculos y fórmulas.
  - ~ Creatividad en el diseño de la hoja.
  - ~ Claridad en la presentación oral.
  - ~ Trabajo en equipo.

A continuación, se presenta una síntesis visual del proceso metodológico (Figura 2):

Figura 2.

**Etapas del aprendizaje basado en proyectos implementadas en el grupo experimental.**



**Nota:** Etapas sintetizadas del aprendizaje basado en proyectos Fuente: Secre Educación Pública de México.

### 2.5.1.1. Grupo Control (GC): Aplicación de metodología expositiva tradicional

La intervención en el grupo control se basó en el enfoque de enseñanza expositiva tradicional, en el que el docente asume un rol central como transmisor del conocimiento y los estudiantes adoptan una postura predominantemente receptiva. Esta metodología, común en contextos de educación superior, se caracteriza por la organización secuencial y prescriptiva de contenidos, con un énfasis en la repetición, memorización y resolución de ejercicios (Prince & Felder, 2006).

Durante las sesiones, los contenidos relacionados con los poderes caloríficos de residuos fueron impartidos mediante clases magistrales, sin involucrar actividades experimentales, proyectos o resolución de problemas contextualizados. El proceso de aprendizaje se centró en la explicación teórica de los conceptos y fórmulas para el cálculo del Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI), así como en la revisión de ejemplos previamente resueltos. Esta forma de enseñanza limitó la posibilidad de desarrollar habilidades de análisis crítico, autonomía, creatividad o transferencia de conocimientos a problemas reales.

Diversos estudios han señalado que, aunque la enseñanza expositiva puede ser efectiva para la transmisión rápida de información, presenta importantes limitaciones cuando se busca el desarrollo de competencias de orden superior, como la toma de decisiones, la resolución de problemas complejos o la colaboración en equipo (Freeman et al., 2014). En particular, en disciplinas técnico-científicas como la ingeniería ambiental, donde se requiere aplicar conocimientos a situaciones reales y multifactoriales, este enfoque puede resultar insuficiente si no se complementa con estrategias activas.

Por lo tanto, el grupo control operó bajo condiciones pedagógicas convencionales, lo que permitió contrastar de manera clara los efectos del Aprendizaje Basado en Proyectos y el uso de hojas electrónicas sobre el desempeño conceptual de los estudiantes.

### 2.5.2. Evaluación del aprendizaje

Finalizada la intervención pedagógica, se aplicó nuevamente el instrumento diagnóstico (postest) a ambos grupos con el fin de medir el aprendizaje alcanzado en relación con los poderes caloríficos de residuos. Esta evaluación permitió comparar el desempeño entre el grupo experimental, que trabajó con la metodología ABP apoyada en hojas electrónicas, y el grupo control, instruido mediante enseñanza expositiva tradicional.

#### 2.5.2.1. Análisis de datos

El análisis de los resultados se realizó con el objetivo de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas en el nivel de aprendizaje de los estudiantes tras la aplicación de la intervención didáctica en ambos grupos.

En primer lugar, se aplicó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk a los puntajes obtenidos en el pretest y postest de ambos grupos para verificar si los datos seguían una distribución normal. Este paso permitió seleccionar adecuadamente la prueba inferencial correspondiente para comparar los resultados. En caso de distribución normal, se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas (pretest vs. postest dentro de cada grupo) y la prueba t de Student para muestras independientes (comparación del postest entre GE y GC). Si los datos no siguieron una distribución

normal, se optó por la prueba de Wilcoxon (para muestras relacionadas) y la prueba de Mann-Whitney U (para muestras independientes).

Además, se calculó la ganancia relativa del aprendizaje en ambos grupos, se aplicó el factor de ganancia de Hake, una medida que permite estimar el avance conceptual logrado por los estudiantes en relación con el conocimiento inicial. Esta ganancia ( $g$ ) se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Hake (1998):

$$g = \frac{\text{Postest } (\%) - \text{Pretest } (\%)}{100 - \text{Pretest } (\%)}$$

Según esta escala, los valores de ganancia se interpretaron en tres rangos: baja ( $g \leq 0.3$ ), media ( $0.3 < g \leq 0.7$ ) y alta ( $g > 0.7$ ). Una ganancia superior a 0.3 representa un indicador favorable respecto al aprendizaje alcanzado y a la efectividad de la metodología implementada.

### 3. Resultados

#### 3.1. Diagnóstico del aprendizaje

Una vez tabulados los datos obtenidos en las encuestas aplicadas al grupo experimental y al grupo control, el análisis de fiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach arrojó valores de 0,836 y 0,855, respectivamente. Estos valores indican un nivel de confiabilidad adecuado para el instrumento utilizado, lo que respalda su consistencia interna y la coherencia entre los ítems evaluados, tal como se evidencia en la tabla 2 la cual está compuesta por los números de los elementos considerados en las preguntas de la encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

**Tabla 2.**

#### *Análisis de fiabilidad.*

Grupo	Alfa de Cronbach	N de elementos
Experimental	0,836	20
Control	0,855	20

**Nota:** Valores obtenidos en el análisis de fiabilidad de las encuestas del grupo experimental y control.

#### 3.2. Grupo Experimental (GE): Aplicación del aprendizaje basado en proyectos con diseño de hojas electrónicas.

La implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) permitió que los estudiantes del grupo experimental asumieran un rol activo en su proceso formativo, evidenciando un incremento progresivo en la comprensión de los fundamentos teóricos y prácticos de los poderes caloríficos. Durante el desarrollo de las fases metodológicas, los equipos mostraron autonomía, pensamiento crítico y capacidad de resolución de problemas aplicados al contexto local.

Desde la perspectiva pedagógica, la metodología ABP favoreció la transferencia de conocimientos teóricos hacia aplicaciones reales. Los estudiantes reportaron una mejora en su capacidad para analizar la relación entre la composición química y el potencial energético de los residuos, así como para identificar alternativas de aprovechamiento sostenible. La exposición de los proyectos finales permitió contrastar

las estrategias de diseño y fortalecer la argumentación técnica, evidenciando aprendizajes significativos en términos de autonomía, colaboración, precisión en los cálculos y comunicación científica.

Cada grupo elaboró una hoja electrónica funcional tal como se evidencia en la tabla 3, estructurada con fórmulas automatizadas que permitieron calcular el PCS mediante los modelos de Demirbas, Francis, Scheurer y Dulong, y estimar el PCI considerando la relación estequiométrica del hidrógeno y el oxígeno presentes en los residuos. Los resultados mostraron que el 100% de los equipos alcanzó productos operativos, además, incorporaron representaciones visuales que facilitaron la interpretación energética de los residuos analizados.

En respuesta a la pregunta guía del proyecto ¿Qué residuo sólido de mi entorno local tiene el mayor potencial energético para ser valorizado?, la mayoría de los grupos identificó que la madera presentaba el mayor poder calorífico, con valores promedio de PCS superiores a 17 MJ/kg seguida por el cartón y césped, Estas diferencias fueron justificadas en función del contenido de carbono y la baja humedad relativa del material, demostrando que los estudiantes comprendieron la influencia directa de la composición química en la capacidad energética de los residuos.

Tabla 3.

Hojas electrónicas realizadas por los grupos experimentales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

Tabla. Caracterización de los residuos avícolas de análisis elemental.

Residuo	H (g)	C (g)	N (g)	S (g)	O (g)	PCS (kJ/kg)	PA (%)
Carrión (C)	12.45	1.4	2.2	0.2	84.2	8.42	8.42
Palmier (P)	14.52	2.48	0.24	25.24	55.84	21.24	21.24
CESE (E)	2.2	1.2	0.2	0.2	95.4	8.2	8.2

Modelos matemáticos para determinar PCS:

**Modelo Demirbas:**  $PCS = 33.91(H) + 14.18(C) - 8.18(O) - 3.44(S)$

**Modelo Francis:**  $PCS = 41.86(H) + 81.84(C) - 8.18(O) - 3.44(S)$

**Modelo Scheurer:**  $PCS = 33.91(H) + 14.18(C) - 8.18(O) - 3.44(S)$

**Modelo Dulong:**  $PCS = 33.91(H) + 14.18(C) - 8.18(O) - 3.44(S)$

Resumen PCS:

Residuo	H (g)	C (g)	N (g)	S (g)	O (g)	PCS (kJ/kg)	PA (%)
Carrión (C)	12.45	1.4	2.2	0.2	84.2	8.42	8.42
Palmier (P)	14.52	2.48	0.24	25.24	55.84	21.24	21.24
CESE (E)	2.2	1.2	0.2	0.2	95.4	8.2	8.2

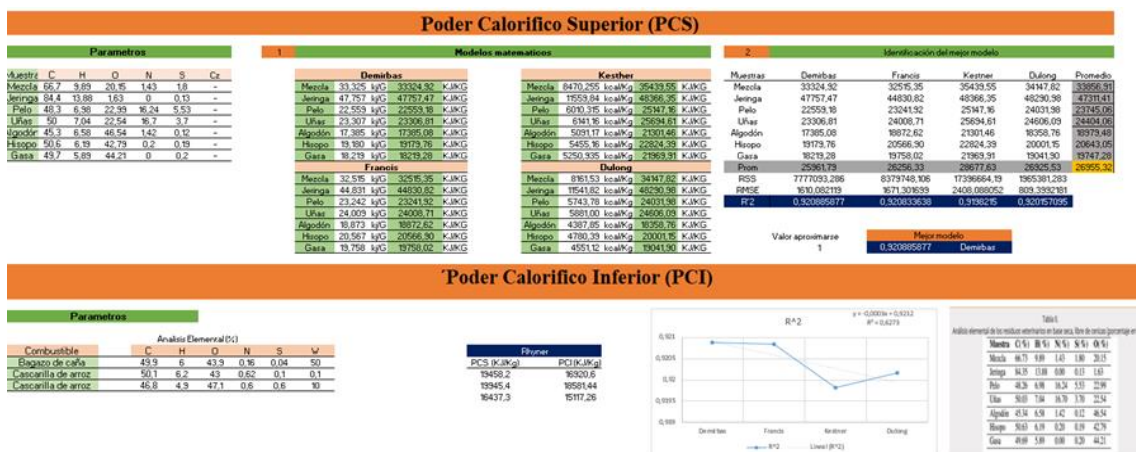
ANÁLISIS ELEMENTAL DE LA MADERA

Residuo	H (g)	C (g)	N (g)	S (g)	O (g)	PCS (kJ/kg)	PA (%)
Carrión (C)	12.45	1.4	2.2	0.2	84.2	8.42	8.42
Palmier (P)	14.52	2.48	0.24	25.24	55.84	21.24	21.24
CESE (E)	2.2	1.2	0.2	0.2	95.4	8.2	8.2

ANÁLISIS ELEMENTAL DE BARRA HÚMEDA DE FÁBRICA

Residuo	H (g)	C (g)	N (g)	S (g)	O (g)	PCS (kJ/kg)	PA (%)
Carrión (C)	12.45	1.4	2.2	0.2	84.2	8.42	8.42
Palmier (P)	14.52	2.48	0.24	25.24	55.84	21.24	21.24
CESE (E)	2.2	1.2	0.2	0.2	95.4	8.2	8.2

Hoja electrónica de cálculo de PCS y PCI para diversos residuos, incluyendo tablas de datos de entrada y salida, fórmulas de cálculo, y representaciones visuales de barras y gráficos.



**Nota:** Hojas electrónicas diseñadas por los grupos de estudiantes que conformaron el grupo experimental.

### 3.3. Grupo Control (GC): Aplicación de metodología expositiva tradicional.

En el grupo control, que trabajó bajo un enfoque expositivo tradicional, los resultados obtenidos mostraron una mejora moderada en los niveles de aprendizaje respecto a los conceptos relacionados con los poderes caloríficos de los residuos. Durante las sesiones, los estudiantes mostraron comprensión en los procedimientos matemáticos básicos y en la identificación de fórmulas para el cálculo del Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI). Sin embargo, la ausencia de una aplicación práctica y el enfoque centrado en la memorización de conceptos dificultaron la apropiación profunda del contenido. En los ejercicios de aula, gran parte de los estudiantes logró reproducir los cálculos correctos cuando los valores estaban dados, pero presentó limitaciones para analizar la relación entre la composición química del residuo y su potencial energético, o para interpretar la utilidad de los resultados en contextos reales.

Los registros cualitativos tomados durante las observaciones docentes reflejaron que la mayoría de los estudiantes mantuvo una actitud pasiva frente al aprendizaje, limitándose a seguir los ejemplos resueltos por el docente, en contraste con el grupo experimental, el grupo control no elaboró productos tecnológicos ni participó en procesos de análisis comparativo entre residuos. Este aspecto restringió el desarrollo de competencias vinculadas con la autonomía, la resolución de problemas y la comunicación científica.

### 3.4. Evaluación del aprendizaje.

En base a la prueba de normalidad Shapiro–Wilk para determinar la distribución de los datos obtenidos en el pretest y postest de ambos grupos. Los resultados mostraron que los valores de p fueron superiores a 0,05 en la mayoría de las mediciones, lo que indica que los datos presentan una distribución aproximadamente normal y cumplen con los supuestos requeridos para la aplicación de pruebas paramétricas. En consecuencia, se utilizó la prueba t de Student para muestras relacionadas, con el fin de evaluar la existencia de diferencias significativas entre los puntajes obtenidos antes y después de la intervención didáctica en cada grupo.

En el grupo control, los valores promedio pasaron de  $5,55 \pm 0,94$  en el pretest a  $12,55 \pm 1,50$  en el postest. La prueba t arrojó un valor de  $t = -20,12$  con un  $p = 2,86 \times 10^{-14}$ , lo

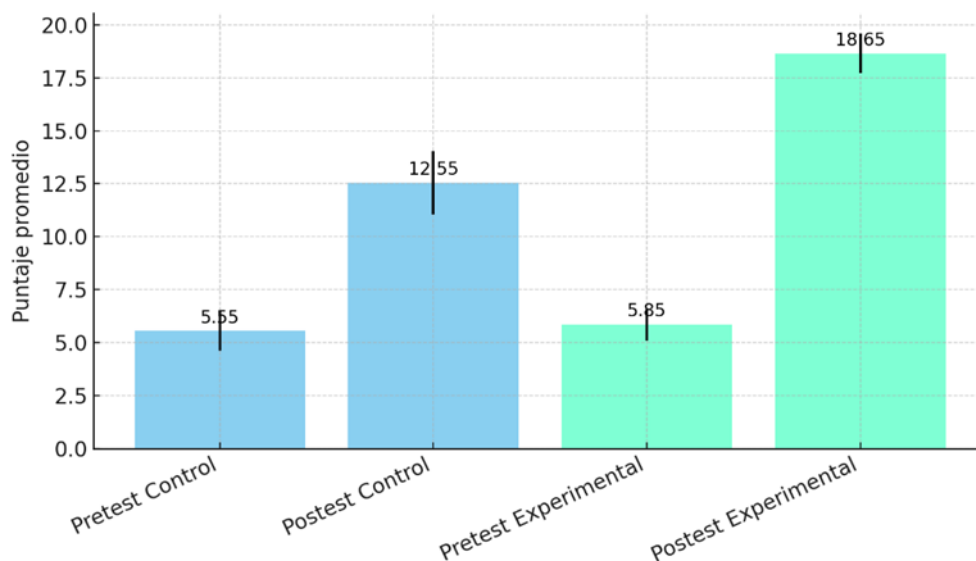
que evidencia una diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ ) y confirma que los estudiantes mejoraron su desempeño tras la instrucción tradicional. No obstante, el aumento fue moderado y se limitó principalmente a la comprensión de los conceptos teóricos y la aplicación mecánica de las fórmulas.

Por otro lado, en el grupo experimental, que trabajó bajo la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con diseño de hojas electrónicas, el promedio aumentó de  $5,85 \pm 0,75$  a  $18,65 \pm 0,93$ , mostrando una mejora sustancial tanto en la media como en la homogeneidad de los resultados. La prueba t evidenció un valor de  $t = -51,80$  y un  $p = 6,37 \times 10^{-22}$ , lo que indica una diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ ) con un efecto notable sobre el aprendizaje. Este incremento refleja que los estudiantes no solo asimilaban los conceptos teóricos, sino que además desarrollaron habilidades analíticas, de cálculo y de interpretación aplicadas al contexto energético de los residuos.

En conjunto, ambos grupos presentaron mejoras estadísticamente significativas; sin embargo, la magnitud del cambio fue claramente superior en el grupo experimental. Los resultados sugieren que la combinación del ABP con hojas electrónicas constituye una estrategia pedagógica más efectiva para promover el aprendizaje significativo, la comprensión profunda de los poderes caloríficos y la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos a situaciones reales de la ingeniería ambiental (Figura 3).

**Figura 3**

**Resultados de la evaluación del aprendizaje del grupo control y experimental.**



**Nota:** Comparación de los resultados del pretest y posttest del grupo control y experimental.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados del análisis del factor de ganancia de Hake evidencian diferencias notables entre los grupos, tal como se demuestra a continuación:

$$\text{Grupo Control} = \frac{(62,75) - (27,75)}{100 - (27,75)} = 0,48$$

$$\text{Grupo Experimental} = \frac{(93,25) - (29,25)}{100 - (29,25)} = 0,91$$

El grupo control, que trabajó bajo una metodología expositiva tradicional, alcanzó una ganancia media de  $g = 0.48$ , lo que refleja un avance conceptual moderado basado principalmente en la asimilación de contenidos teóricos. En contraste, el grupo experimental, que aplicó el Aprendizaje Basado en Proyectos con diseño de hojas electrónicas, obtuvo una ganancia alta de  $g = 0.91$ , indicando un aprendizaje profundo y significativo. Esta diferencia demuestra que la integración de recursos digitales y estrategias activas potenció la comprensión conceptual, la autonomía y la transferencia del conocimiento, consolidando la superioridad pedagógica del enfoque basado en proyectos frente a la enseñanza tradicional, tal como se muestra a continuación.

#### 4. Discusión

Los resultados de esta investigación evidencian que la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con hojas electrónicas tuvo un impacto significativo en la mejora del aprendizaje de los poderes caloríficos en los estudiantes de Ingeniería Ambiental. El aumento de los puntajes promedio y la ganancia de Hake alta ( $g = 0.91$ ) en el grupo experimental reflejan un aprendizaje profundo y sostenido, mientras que el grupo control, con una ganancia media ( $g = 0.48$ ), mostró avances limitados al ámbito teórico. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que demuestran la superioridad de las metodologías activas frente a los enfoques tradicionales en la enseñanza de ciencias e ingeniería (Freeman et al., 2014; Prince y Felder, 2006). En particular, Freeman et al. (2014) afirman que el aprendizaje activo incrementa significativamente el rendimiento estudiantil en comparación con las clases magistrales, lo cual se corrobora en este estudio al observarse un incremento más pronunciado en el grupo experimental.

El uso de hojas de cálculo y herramientas digitales como recurso educativo favoreció la comprensión de modelos termoquímicos complejos, al permitir una visualización inmediata de los resultados y una interacción dinámica con los datos. Estudios previos muestran que el empleo de hojas de cálculo en la educación de ingeniería facilita la interpretación crítica de procesos técnicos y mejora la retención conceptual (Oke, 2018). De manera similar, las tecnologías digitales en la formación superior han sido asociadas con un incremento en el compromiso del estudiante, la interactividad y la participación activa (Godsk & Møller, 2024). En el presente estudio, el diseño de hojas electrónicas permitió que los estudiantes integraran el análisis químico con la evaluación energética de residuos, promoviendo la aplicación práctica del conocimiento teórico.

Desde la perspectiva pedagógica, la metodología ABP generó un entorno de aprendizaje colaborativo, participativo y contextualizado, en el cual los estudiantes construyeron conocimiento a partir de la resolución de problemas reales. Este enfoque, como señalan Bell (2010), estimula la indagación científica, la reflexión crítica y el trabajo interdisciplinario, elementos esenciales en la formación ambiental moderna. En este sentido, el desarrollo de proyectos aplicados al entorno local contribuyó a fortalecer la conexión entre los contenidos académicos y los desafíos reales de la valorización energética de residuos, alineándose con la visión de educación para la sostenibilidad descrita por Kioupi y Voulvoulis (2019).

En concordancia con los resultados obtenidos, la incorporación de herramientas digitales dentro de metodologías activas explica la mejora significativa observada en el grupo experimental. Caicedo et al. (2025) plantean que la innovación pedagógica en la

educación técnica implica transformar el rol del estudiante en un agente activo de su propio aprendizaje, donde las tecnologías digitales y el acompañamiento docente favorecen el desarrollo de competencias y la autonomía cognitiva. De manera complementaria, Espinosa et al. (2025) destacan que los entornos virtuales promueven aprendizajes significativos cuando la tecnología se utiliza con una intencionalidad pedagógica clara y el docente actúa como mediador del proceso formativo. Este principio se evidencia en el presente estudio, dado que las hojas electrónicas funcionaron como un recurso mediador que permitió a los estudiantes relacionar la composición química de los residuos con su potencial energético, fortaleciendo la interpretación analítica, la toma de decisiones y la aplicación del conocimiento. En este sentido, el Aprendizaje Basado en Proyectos apoyado en recursos digitales no solo facilitó la comprensión conceptual, sino que también potenció la autorregulación, la colaboración y la resolución de problemas reales, en coherencia con las propuestas contemporáneas de innovación educativa y sostenibilidad en la educación superior ecuatoriana.

## 5. Conclusiones

La aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) apoyado en hojas electrónicas evidenció un impacto positivo en la comprensión de los poderes caloríficos de residuos por parte de los estudiantes de Ingeniería Ambiental. Esta metodología permitió integrar la teoría termoquímica con la práctica mediante la resolución de problemas reales, favoreciendo un aprendizaje activo y significativo. Las hojas electrónicas se consolidaron como herramientas efectivas para representar y analizar datos, facilitar el cálculo de valores energéticos y promover la autonomía en el proceso formativo. A través de su uso, los estudiantes desarrollaron habilidades analíticas, reflexivas y colaborativas, logrando vincular los contenidos académicos con los desafíos actuales de la valorización energética de residuos.

El estudio aporta a la educación científica una alternativa metodológica replicable en asignaturas de ingeniería que demandan razonamiento cuantitativo y aplicación de modelos matemáticos. Los resultados demostraron que la combinación del ABP con recursos digitales genera un entorno de aprendizaje contextualizado y sostenible, en el que la tecnología actúa como mediadora del conocimiento y no solo como un medio instrumental. La investigación contribuye al fortalecimiento de las competencias ambientales y energéticas de los futuros profesionales, evidenciando que la innovación pedagógica basada en herramientas accesibles como las hojas electrónicas constituye un aporte real al desarrollo de estrategias educativas que promueven la sostenibilidad y la calidad en la educación superior.

## Referencias Bibliográficas

- Bansal, R., & Kumar, A. (2018). Utilization of Spreadsheet Software as Engineering Education Tool. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8516134>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 83(2), 39–43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Caicedo-Romero, H. M., Tituaña-Pulluquitin, G. I., Pelaéz-Minchala, M. P., Ortiz-Velasco, L. V., & Inga-Aguagallo, C. F. (2025). Aprendizaje Autónomo y Digital

- en Estudiantes Universitarios: Desafíos y Oportunidades. *Innova Science Journal*, 3(3), 696-706. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/113>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2017). Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, 131, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.012>
- El-Fadel, M., Bsar, R., & Adada, M. (2004). Use of Spreadsheets in Environmental Education: An Application for Solid Waste Management. *International Journal of Engineering Education*, 20(5), 894-901. <https://www.ijee.ie/articles/Vol20-6/IJEE1564.pdf>
- Espinosa-Pico, P. E., Granda-Cárdenas, E. M., Coles-Chimbo, M. M., Raymy Rafael, C.-M., & Inga-Aguagallo, C. F. (2025). Educación superior y entornos virtuales: estrategias para un aprendizaje significativo. *Innova Science Journal*, 3(3), 707-722. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- García, M. J., & Smith, P. (2020). Educating Engineers About Sustainable Energy: An Overview of the Issues. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456>
- Godsk, M., & Møller, K. L. (2024). Engaging students in higher education with educational technology: A systematic review. *Education and Information Technologies*, 30, 2941-2976. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12901-x>
- Gorbett, L. J., Chapman, K. E., & Liberatore, M. W. (2022). Deliberate Practice of Spreadsheet Skills When Using Copiable, Randomized, and Auto-Graded Questions within an Interactive Textbook. *Advances in Engineering Education*, 10(2), 49-79. <https://doi.org/10.18260/3-1-1153-36028>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Istrate, I. R., Iribarren, D., Gálvez-Martos, J. L., & Dufour, J. (2020). Review of life-cycle environmental consequences of waste-to-energy solutions on the municipal solid waste management system. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104778. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104778>
- Kioupi, V., & Voulvoulis, N. (2019). Education for sustainable development: A systemic framework for connecting the SDGs to educational outcomes. *Sustainability*, 11(21), 6104. <https://doi.org/10.3390/su11216104>
- Lozano, R., Barreiro-Gen, M., Lozano, F. J., & Sammalisto, K. (2021). Teaching Sustainability in European Higher Education Institutions: Assessing the Connections with Sustainability Culture. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125-163. <https://doi.org/10.3390/su11061602>

- Martí, J., Heydrich, M., Rojas, M., y Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 11–21.
- Oke, S. A. (2018). Spreadsheet applications in engineering education: A review. *International Journal of Engineering Education*, 34(2), 866-875.
- Prince, M., & Felder, R. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- Puñayán, M., Estupiñán, M., Vásquez, M., Almeida, L., y Abad, N. (2024). El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como Estrategia Didáctica para Mejorar el Rendimiento Académico. *Revista Ciencia Latina*, 35(2), 45–59. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.13186](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13186)
- Secretaría de Educación Pública (SEP). (2022). Guía metodológica para la implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la Educación Superior. Subsecretaría de Educación Superior. <https://educacionbasica.sep.gob.mx/wp-content/uploads/2022/06/Metodologia-ABP-Final.pdf>
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>

#### CONFLICTO DE INTERESES

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