

REFLEXIÓN SOBRE LA EXPERIENCIA INVESTIGATIVA EN EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS SUSTENTABLES

Una reflexión desde la mirada de una joven investigadora en formación

Alejandra Quintana Acevedo, Joven Investigadora

Estudiante de Ingeniería Metalúrgica

Universidad Industrial de Santander

Julio 2025

"La ciencia y la vida cotidiana no pueden ni deben estar separadas."

- Rosalind Franklin, biofísica y cristalógrafa pionera en el estudio del ADN.

En este artículo comparto una reflexión sobre mi experiencia como estudiante de pregrado en Ingeniería Metalúrgica, tras haber participado activamente en un proceso real de investigación científica y tecnológica. Durante más de un año formé parte del proyecto titulado "Valorización integral de residuos postconsumo e industriales para el desarrollo de materiales con potencial catalítico bajo un enfoque de economía circular, código 82312", aprobado en la Convocatoria Minciencias No. 890 de 2020. Esta vivencia, desarrollada en el marco de mi trabajo de grado y con el respaldo del semillero de investigación Semillero de Investigación en Reciclaje, Remediación y Minería Urbana (RECICLAMIN) de la Universidad Industrial de Santander, me permitió explorar de forma aplicada el aprovechamiento de residuos posconsumo e industriales —como baterías, luminarias y desechos metalúrgicos— para la obtención de materiales cerámicos funcionales, contribuyendo así a la economía circular. Más allá de los resultados técnicos, este proceso me permitió comprender la investigación como una experiencia formativa integral, donde se entrelazan la rigurosidad científica, la creatividad, la sostenibilidad y el compromiso social. Esta reflexión recoge los principales aprendizajes, desafíos y transformaciones que viví a lo largo de esta grata experiencia.

Introducción

Durante mi formación como estudiante de Ingeniería Metalúrgica en la Universidad Industrial de Santander, tuve la oportunidad de integrar un proyecto de investigación aplicada que transformó profundamente mi manera de concebir la ciencia, su vínculo con el entorno y su capacidad de generar soluciones concretas para problemáticas actuales. Este artículo recoge mi experiencia como tesista en el marco del proyecto titulado “Valorización integral de residuos postconsumo e industriales para el desarrollo de materiales con potencial catalítico bajo un enfoque de economía circular, código 82312”, aprobado en la Convocatoria Minciencias No. 890 de 2020.

En este proyecto, me desempeñé como estudiante investigadora en formación, acompañada por mis tutores y por el Semillero de Investigación en Reciclaje, Remediación y Minería Urbana (RECICLAMIN). Desde allí tuve contacto directo con metodologías de aprovechamiento de residuos peligrosos y no convencionales, tales como baterías de ion de litio, polvo de luminarias fluorescentes, residuos de acería, calamina y polvo de baterías Ni-MH. Mediante rutas de procesamiento físico-químico —incluyendo trituración, tamizado y vitrificación controlada— se propuso su conversión en precursores cerámicos, capaces de ser empleados en la formulación de esmaltes funcionales para recubrimiento de sustratos. A través de estas transformaciones, materiales considerados como desecho recobraron valor, contribuyendo así al desarrollo de soluciones sostenibles en el marco de una economía circular.

Uno de los aspectos más significativos de esta experiencia fue la posibilidad de articular el conocimiento científico con saberes tradicionales. En una de las etapas finales del proyecto, interactué con colectivos ceramistas del departamento de Santander, como “ArteSanas” y “El Gres del Pato y la Cruz”. Estas interacciones permitieron no solo validar experimentalmente los esmaltes desarrollados, sino también abrir espacios de diálogo entre la ingeniería y la práctica artesanal. Esta dimensión colaborativa fue profundamente enriquecedora y me permitió dimensionar el impacto real que puede tener una investigación universitaria cuando se conecta con actores sociales y productivos locales.

El propósito de este escrito es compartir de manera reflexiva mi paso por esta experiencia investigativa. Aspiro a transmitir no solo los logros técnicos obtenidos, sino también los desafíos enfrentados, las herramientas adquiridas, y la transformación que significó este proceso tanto en lo académico como en lo personal. Más allá de los datos y resultados, esta vivencia me enseñó que hacer ciencia implica también escuchar, adaptarse, y construir con propósito desde lo que muchas veces se considera residuo.

Acercamiento al problema

Desde mis primeros semestres en la carrera, tuve un interés particular por las materias que abordaban la ciencia de los materiales, la sostenibilidad y el reciclaje de residuos. Sin embargo, ese interés fue madurando con el tiempo, y tomó una nueva dimensión cuando me vinculé al semillero de investigación RECICLAMIN. Allí conocí diversas líneas de trabajo enfocadas en la valorización de residuos tecnológicos, la remediación ambiental y el diseño de materiales funcionales a partir de desechos industriales. Fue en este entorno académico donde surgió la posibilidad de desarrollar mi trabajo de grado dentro del proyecto financiado por Minciencias, centrado en la conversión de residuos peligrosos en materiales cerámicos con aplicaciones potenciales.

El tema me pareció inmediatamente relevante por múltiples razones. Primero, porque el problema de los residuos posconsumo, como baterías, luminarias o residuos metalúrgicos, no solo representa una amenaza ambiental creciente, sino también una oportunidad desaprovechada para recuperar elementos valiosos. Segundo, porque la posibilidad de transformar estos residuos en precursores cerámicos que puedan ser usados en esmaltes funcionales combinaba dos mundos que me interesaban: la ingeniería de materiales y la sostenibilidad. Finalmente, porque me resultaba motivador el enfoque práctico del proyecto, orientado no solo a generar conocimiento académico, sino a producir soluciones concretas que podrían ser útiles incluso para comunidades de ceramistas artesanales.

La experiencia metodológica

Desde el inicio, supe que este proyecto implicaría un reto metodológico importante. Si bien la idea general de transformar residuos en materiales cerámicos era clara, el camino para lograrlo requería múltiples etapas de diseño experimental, procesamiento de muestras, análisis de resultados y adaptación constante. Uno de los primeros aprendizajes que tuve fue que investigar no es seguir una receta, sino construir y ajustar continuamente un proceso, tomando decisiones con base en lo observado.

El trabajo inició con la recolección y preparación de los residuos posconsumo e industriales: baterías de ion de litio, luminarias fluorescentes, polvo de acería, calamina y residuos de baterías Ni-MH. En esta etapa me enfrenté por primera vez a procedimientos de desensamblaje y tratamiento físico-mecánico, como la inmersión controlada de baterías para su descarga, el secado y corte de los cátodos, la trituración, y el tamizado para lograr una granulometría adecuada. Cada material exigía cuidados específicos y medidas de seguridad distintas, por lo que la planeación rigurosa y el trabajo ordenado fueron claves para avanzar con confianza.

Posteriormente, estos residuos fueron incorporados en matrices vítreas mediante un proceso de vitrificación asistido por fundentes. Esta etapa fue especialmente significativa porque involucró parámetros térmicos críticos (como la temperatura de fusión, el tiempo de permanencia y la solidificación en agua), cuyo control determinaba la calidad del vidrio pigmentado resultante. La repetición sistemática de coladas, el secado, la molienda y el tamizado de las fritas pigmentadas requirió paciencia, constancia y una atención rigurosa al detalle. Cometí errores, claro está: tiempos de fusión imprecisos, mezclas que no se homogenizaron bien, materiales mal etiquetados. Pero en cada error hubo un aprendizaje valioso que me permitió afinar la técnica.

Una vez obtenidas las fritas pigmentadas, diseñé las formulaciones para la fabricación de esmaltes cerámicos aplicables sobre diversos sustratos. Para ello, tuve que estudiar relaciones sólido/líquido, proporciones entre frita y caolín, y parámetros reológicos como la viscosidad y la densidad de las suspensiones. Fue una etapa donde aprendí a interpretar datos de laboratorio y a relacionar propiedades físicas con la calidad del producto final. La aplicación de los esmaltes y su cocción a distintas temperaturas me permitió observar cómo varía la adherencia, el color y el acabado según la porosidad del sustrato, la composición de la mezcla y las condiciones térmicas.

Finalmente, una parte fundamental de la metodología fue la caracterización. Gracias al apoyo técnico, pude utilizar técnicas como FRX, DRX, FTIR y SEM para evaluar la composición, estructura, funcionalidad y morfología tanto de los precursores como de las fritas. Estas herramientas fueron clave para validar si lo que estábamos produciendo era técnica y científicamente coherente con nuestros objetivos. Fue también mi primer contacto con técnicas avanzadas de caracterización, y me dejó claro que la investigación en materiales es un campo que requiere tanto criterio analítico como sensibilidad experimental.

Reflexión desde mi disciplina

Antes de iniciar este trabajo, mi comprensión del conocimiento en ingeniería metalúrgica estaba muy ligada a lo técnico y cuantificable: aprender a caracterizar materiales, aplicar fórmulas, seguir procedimientos estandarizados. Sin embargo, a lo largo del proceso investigativo descubrí una dimensión más compleja y enriquecedora de la disciplina, donde conceptos como sostenibilidad, circularidad y aplicabilidad social comienzan a entrelazarse con los fundamentos científicos.

Desde el punto de vista conceptual, uno de los aprendizajes más importantes fue comprender que un material no es solo el resultado de su composición química o de su procesamiento térmico, sino que

también es portador de un significado funcional y cultural. Al trabajar con residuos considerados peligrosos o inútiles y transformarlos en pigmentos y esmaltes cerámicos, me enfrenté a preguntas nuevas: ¿cuándo un residuo deja de serlo?, ¿quién decide qué es útil y qué no lo es?, ¿puede un proceso científico revalorizar algo desde lo técnico y lo simbólico a la vez? Estas preguntas me hicieron repensar la función de la ingeniería como un puente entre la ciencia dura y las necesidades del entorno.

Otro aspecto conceptual que se fortaleció fue mi comprensión sobre el carácter transformador de la economía circular. Antes, veía este concepto más como una tendencia o una categoría ambiental; ahora, tras haberlo aplicado de manera real, lo reconozco como un marco epistemológico que nos invita a cambiar las preguntas iniciales de cualquier proyecto: ya no se trata solo de cómo hacer algo más eficiente, sino de cómo hacerlo más responsable, más regenerativo, más conectado con el ciclo completo de los materiales. La idea de cerrar ciclos, de diseñar procesos con segunda y tercera vida para los materiales, se volvió un eje transversal en mi forma de pensar los problemas.

También se modificó mi percepción sobre la relación entre teoría y práctica. Durante el trabajo de grado, fue evidente que muchos de los conceptos que había aprendido en cursos teóricos cobraban vida al momento de ejecutar los experimentos. El comportamiento pseudoplástico de las suspensiones, la interacción de los óxidos metálicos con las fases vítreas, los efectos del pH en la formación de esmaltes: todos esos fenómenos dejaron de ser líneas en un libro para convertirse en observaciones que podía medir, manipular e interpretar. Esto me llevó a valorar más profundamente el conocimiento experimental como principios bajo los cuales se construye la teoría.

Dado lo anterior, esta experiencia amplió mi mirada sobre lo que significa conocer en ingeniería. Comprendí que la ciencia no es un conjunto de verdades acabadas, sino una forma de hacer preguntas cada vez más pertinentes y de buscar respuestas con sensibilidad técnica, ética y contextual.

Transformación personal y profesional

Participar en este proceso investigativo transformó mi manera de entender la ingeniería. Más allá del aprendizaje técnico, enfrenté la incertidumbre del laboratorio, la necesidad de ajustar procedimientos, y la importancia de valorar el error como parte del conocimiento. Cada fallo fue una oportunidad para mejorar, y aprendí a observar con más atención y a persistir con criterio.

Uno de los aspectos más significativos fue el trabajo con ceramistas locales. Escuchar sus experiencias y ver cómo aplicaban nuestros esmaltes me mostró que la ciencia no puede desvincularse del contexto social ni de los saberes tradicionales. Esta interacción me ayudó a entender que la ingeniería tiene sentido cuando genera soluciones útiles y compartidas.

A nivel personal, esta experiencia despertó en mí una conciencia ambiental más profunda. Entendí que los residuos no son simples desechos, sino recursos mal gestionados. En lo profesional, fortalecí habilidades prácticas, como el trabajo en equipo, la caracterización de materiales y la planificación experimental, y reafirmé mi interés por seguir trabajando en el desarrollo de materiales sostenibles que aporten a una sociedad más responsable.

Un aspecto especialmente enriquecedor de esta experiencia fue mi participación en los encuentros de semilleros de investigación organizados por la Red Colombiana de Semilleros de Investigación (RedCOLSI). En 2024, tuve la oportunidad de presentar mi trabajo en el evento departamental realizado en Bucaramanga, y posteriormente en el encuentro nacional en Cartagena de Indias. Estas participaciones me permitieron comunicar mis resultados ante públicos académicos diversos, recibir retroalimentación valiosa y conocer otras experiencias investigativas desarrolladas por jóvenes de todo el país. Fue también un espacio para fortalecer mi capacidad de expresión oral, mi confianza en el manejo de contenidos técnicos, y para valorar el papel de la divulgación científica como parte esencial del quehacer investigativo.

Conclusiones

La experiencia investigativa que viví como estudiante de pregrado me permitió integrar conocimientos técnicos con una visión crítica y contextual de la ingeniería. Logramos demostrar que es posible transformar residuos posconsumo e industriales en precursores cerámicos funcionales, aplicables en esmaltes con fines tanto artesanales como industriales, bajo principios reales de economía circular.

Más allá de los resultados, este proceso fortaleció en mí una actitud investigativa, una ética ambiental y una sensibilidad hacia el trabajo interdisciplinario. Recomiendo a futuros estudiantes que se acerquen a la investigación con mente abierta, disposición para aprender del error, y compromiso con el entorno. La ciencia, cuando se conecta con la realidad, deja de ser teoría y se convierte en transformación.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al profesor Pedro Delvasto y a la profesora Nadia Ardila, por su guía constante, su exigencia académica y por creer en mi potencial como investigadora en formación. Su acompañamiento fue fundamental para que este proceso fuera no solo riguroso, sino también profundamente formativo.

Agradezco al semillero de investigación RECICLAMIN por brindarme un espacio para aprender, compartir y crecer, y a mis compañeros de laboratorio, quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar y retroalimentar. También extendo mi gratitud a los técnicos de laboratorio, en especial al señor Sergio González, por su paciencia y apoyo práctico en momentos clave del trabajo experimental.

Finalmente, gracias a los ceramistas locales que aceptaron integrar sus conocimientos con nuestra propuesta investigativa, y a los organizadores de los eventos RedCOLSI, por brindarme la oportunidad de compartir y validar esta experiencia a nivel regional y nacional.

Bibliografía consultada

1. Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2020). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/gen/D-GEN-E_WASTE.01-2020-PDF-S.pdf
2. Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437–1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
3. Cuenca, G., & Rodríguez, M. (2018). Vitrificación de residuos industriales: Principios y aplicaciones en la gestión de residuos peligrosos. *Journal of Environmental Engineering*, 30(4), 102–110.
4. Eppler, R. A., & Eppler, D. R. (2000). *Glazes and Glass Coatings*. American Ceramic Society.
5. Pradell, T., & Molera, J. (2020). Ceramic technology: How to characterise ceramic glazes. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01136-9>
6. Assías, S. G., et al. (2020). On the incorporation of pristine and pre-vitrified alkaline battery waste into non-structural clay bricks. *Waste and Biomass Valorization*, 28. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01259-z>