SENA

CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD

VOL 6

SENA | SENNOVA | Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción Regional Antioquia

CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción
Grupo de Investigación GIRCIS

Jorge Eduardo Londoño Ulloa
Director General SENA

Claudia Patricia Forero Londoño
Directora de formación profesional integral

Emily Elisa Coronado Garcés
Directora (e) Regional Antioquia SENA

María Elicenia Quintero Cardona
Subdirectora (e)
Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

Wilson Javier Arango Vanegas
Coordinador de Formación Profesional
Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

Cristian Darío Pimienta Ruiz
Dinamizador TECNOACADEMIA
Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

Nelson de Jesús Castaño Ciro
Líder grupo de investigación GIRCIS

Revista Construcción y sostenibilidad, 2025
SENA, Regional Antioquia.
82 páginas; 21 cm x 29.7 cm

ISSN: 2619-1962
2025

Comité Editorial

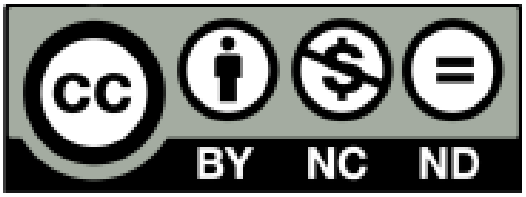
Diana Catalina Arcila Echavarría
Ingeniera Química
Magíster en Ingeniería con Énfasis en Química
Doctora en Biotecnología
Instructora SENNOVA Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

Gabriel Andrés Barrera González
Ingeniero de Sistemas – Ingeniero Industrial
Especialista en Gestión de Proyectos
Especialista en Gerencia educativa
Magíster en Educación
Instructor SENNOVA Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

John Ferney Álvarez Rosario
Ingeniero Mecánico
Magíster en Ingeniería Mecánica
Doctor en Ingeniería Mecánica
Instructor SENNOVA Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción

Manuela Duque Agudelo
Isabella Peña Tabera
Diseño y Diagramación

Comité Editorial
Corrección de estilo



Comité Científico

Victoria Eugenia Moreno
Ingeniera en Higiene y Seguridad Ocupacional. Especialista tecnológica en productividad y consumo sostenible. Especialista en seguridad en el Trabajo. Magíster en Dirección y Gestión de Recursos Humanos. Máster en Dirección de empresas y gestión del riesgo (Pendiente grados).

Linda Edith Pacheco Hernández
Arquitecta. Especialista en Gestión Ambiental Urbana. Magíster en Educación.

Mary Luz Ocampo Osorio
Ingeniera Ambiental. Máster en Sostenibilidad.

Kelly Johanna Escudero
Ingeniera Topográfica. Ingeniera Civil. Especialista en Supervisión e Interventoría de Obras de Construcción. Estudiante de Maestría en Infraestructura Vial.

Ruth Zorayda Osorio Gutiérrez
Bioingeniera. Especialista en Gestión de Proyectos.

Carlos Alberto Cuesta Hoyos
Ingeniero Agrónomo. Administrador de empresas. Magíster en Administración

Sebastián Londoño Marín
Administrador de Empresas. Especialista en Formulación y Evaluación de proyectos.

Isabel Cristina Pedroza Herrera
Administrador de empresas. Especialista en Gerencia de Mercadeo y Ventas. Magister en Docencia Universitaria.

Alexander Álvarez Rosario
Ingeniero Industrial. Magíster en Ingeniería Mecánica. Doctor en Ingeniería Mecatrónica y Sistemas Mecánicos.

Miguel Eduardo Madarriaga
Ingeniero de Sistemas. Especialista en telemática. Especialista en edumática.

Documentar, escribir y publicar: una apuesta por visibilizar el conocimiento situacional en la formación profesional integral del SENA

Diana Catalina Arcila Echavarría.
Instructora SENNOVA. Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción. SENA. darcilae@sena.edu.co. Gestora editorial revista Construcción y Sostenibilidad.

Gabriel Andrés Barrera González.
Instructor SENNOVA. Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción. SENA. gbarerag@sena.edu.co. Editor revista Construcción y Sostenibilidad.

RESUMEN
Documentar, escribir y publicar son acciones esenciales en la consolidación de comunidades de aprendizaje y en la construcción de conocimiento colectivo. En el contexto del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), donde la Formación Profesional Integral (FPI) se sustenta en el aprender haciendo, estas prácticas se convierten en pilares para la generación de conocimiento situado y aplicable a las realidades productivas, sociales y territoriales del país. Sin embargo, gran parte de estas experiencias formativas —surgidas en la ejecución de proyectos, la interacción pedagógica y los semilleros de investigación— permanecen invisibles por la falta de sistematización, documentación y publicación. Este artículo reflexiona sobre la importancia de fortalecer la cultura de escritura y divulgación dentro de la comunidad educativa del SENA, resaltando la investigación formativa como estrategia pedagógica que transforma la práctica docente y visibiliza el conocimiento contextualizado que se produce en los ambientes de aprendizaje.

Palabras clave: Investigación formativa, sistematización, semilleros, Formación Profesional Integral, SENNOVA, publicación académica.

1. Introducción

En los talleres y ambientes de formación del SENA se produce conocimiento todos los días. Este conocimiento nace del hacer, del diálogo entre el saber empírico y el saber técnico, y de la búsqueda de soluciones a problemas reales del entorno productivo y social. Sin embargo, gran parte de este acervo permanece oculto: los proyectos formativos se archivan, las innovaciones pedagógicas se quedan en el ambiente de formación y los aprendizajes logrados en la práctica se diluyen al no ser registrados ni socializados.

Como docente-investigador del SENA, hemos sido testigo de cómo la experiencia formativa genera valiosos aportes al conocimiento técnico, tecnológico y social, pero también de cómo la ausencia de procesos sistemáticos de documentación y publicación limita su alcance. Frente a ello, la invitación a escribir y publicar no es un mero ejercicio académico: es un acto de responsabilidad con el conocimiento colectivo y con la misión institucional de formar para el trabajo, la vida y la ciudadanía.

En este contexto, documentar y publicar no son actividades reservadas a la academia universitaria o a los grupos de investigación formalmente constituidos; son procesos que dan sentido a la experiencia formativa, fortalecen la cultura investigativa y promueven la sostenibilidad del conocimiento institucional.

2. Referente teórico y análisis contextual

2.1. La investigación formativa como eje de la cultura de conocimiento

La investigación formativa ha sido definida como el proceso mediante el cual se desarrollan competencias investigativas desde la práctica educativa, articulando enseñanza, aprendizaje y producción de conocimiento (Restrepo, 2003; Macías et al., 2015). En el contexto colombiano, Cruz Ardila et al. (2022) señalan que esta forma de investigación permite vincular la docencia con la generación de conocimiento pertinente y situado, siendo un componente esencial para la calidad y la pertinencia de la educación técnica y tecnológica.

En el SENA, la investigación formativa se materializa a través de los proyectos formativos, los semilleros y las líneas de investigación aplicada del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA). Estos espacios constituyen escenarios de aprendizaje donde los aprendices asumen un rol protagónico en la construcción del conocimiento y los instructores se convierten en mediadores que acompañan la reflexión y la sistematización de los resultados.

Sin embargo, como lo plantean Vera-Fernández y Fernández-Nieto (2024), el desarrollo de una cultura investigativa requiere más que metodologías: demanda un cambio de mentalidad institucional, en el que la escritura, la reflexión y la divulgación se comprendan como prácticas formativas y no solo como productos de investigación.

Por esta razón, la estrategia SENNOVA ha incorporado y especificado este componente a través de sus lineamientos, en la cual reconoce la importancia de generar una cultura que desarrolle habilidades en las prácticas formativas. Dicha resolución establece como uno de sus ejes centrales menciona, Fomentar la generación de una cultura basada en el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación, a través de procesos y proyectos que promuevan la participación de la comunidad en la identificación y solución de problemas.

2.2. Conocimiento situado y saberes de la práctica

El conocimiento que se produce en el SENA tiene un carácter eminentemente situacional: emerge de contextos productivos, territoriales y culturales específicos. Este tipo de saber —que puede denominarse conocimiento situado— es fundamental para la sostenibilidad, pues conecta la formación con la transformación social y la innovación local.

Granger-Serrano y Mesa-Gil (2020) destacan que la Formación Profesional Integral del SENA articula la investigación formativa con la práctica y la innovación social, generando propuestas que responden a necesidades reales del entorno. Los proyectos formativos y los semilleros permiten que aprendices y docentes interpreten la realidad desde la acción, reconociendo que cada proceso formativo es, en sí mismo, una fuente de conocimiento.

Sin embargo, ese conocimiento contextualizado se pierde cuando no se documenta. Documentar no significa solo describir lo que se hace, sino reflexionar críticamente sobre los procesos, las decisiones y los resultados. La sistematización —como proceso metodológico de análisis de experiencias— transforma las vivencias pedagógicas en saber transferible, fortaleciendo tanto la práctica docente como el acervo institucional de conocimiento.

2.3. Semilleros de investigación y cultura de escritura

Los semilleros de investigación son una de las estrategias más significativas para la consolidación de una cultura investigativa. Según Vera-Fernández y Fernández-Nieto (2024), estos espacios extracurriculares fomentan el intercambio de experiencias científicas, la sinergia entre docencia, investigación y extensión, y la construcción de una comunidad académica activa y crítica.

En el SENA, los semilleros se enmarcan en el Acuerdo 016 de 2012, que crea el programa SENNOVA. Este sistema impulsa la creación de grupos y semilleros de investigación en todos los centros de formación, con el propósito de fortalecer las competencias investigativas y la capacidad innovadora de los aprendices (SENA, 2018). Desde esta perspectiva, la investigación es por definición formativa, porque el proceso mismo transforma al sujeto que aprende.

No obstante, aún persisten desafíos: la discontinuidad de los procesos, la falta de acompañamiento en la escritura científica y la ausencia de espacios editoriales internos que acojan y difundan los resultados de los semilleros. Aguilar Jiménez, Mantilla Niño y Silva Rojas (2021) señalan que, incluso en niveles básicos de formación, la escritura reflexiva sobre los procesos de investigación fomenta el pensamiento crítico y fortalece las competencias comunicativas y científicas de los estudiantes.

Promover la escritura dentro de los semilleros es, por tanto, un acto de formación integral: convierte al aprendiz en narrador de su propio proceso de aprendizaje y lo conecta con una comunidad que valora la palabra como vehículo de conocimiento.

2.4. De la práctica pedagógica a la publicación

Cada proyecto formativo, cada innovación en el aula, cada estrategia de mediación es una oportunidad para escribir. Sin embargo, el paso de la experiencia a la publicación exige desarrollar capacidades de escritura académica y de reflexión sistemática. En este sentido, el rol del docente-investigador es fundamental: debe convertirse en acompañante de los procesos de escritura y en gestor de la difusión de los saberes producidos.

Cruz Ardila et al. (2022) advierten que uno de los principales retos de la investigación formativa en Colombia es la escasa producción de artículos, ponencias y documentos que reflejen el trabajo de los docentes. Las causas son múltiples: limitaciones de tiempo, carencia de formación en redacción científica y, sobre todo, una cultura institucional que prioriza la ejecución sobre la reflexión.

La visibilización del conocimiento situacional requiere entonces tres acciones clave.

1. Documentar: registrar procesos, decisiones y resultados.
2. Escribir: transformar la experiencia en relato reflexivo y argumentado.
3. Publicar: compartir ese conocimiento con la comunidad educativa y científica.

Estas tres acciones son inseparables; conforman un ciclo virtuoso de aprendizaje que retroalimenta la práctica pedagógica y fortalece la sostenibilidad institucional del conocimiento.

2.5. La sostenibilidad del conocimiento en la formación SENA

El conocimiento, cuando no se comparte, se pierde. Desde la perspectiva de la sostenibilidad, la generación y transferencia de saberes son tan importantes como la innovación tecnológica o la eficiencia productiva. El SENA, al ser una institución que forma para el trabajo y la ciudadanía, debe asegurar que el conocimiento generado en sus ambientes de aprendizaje se conserve, circule y evolucione.

Los procesos de publicación —en revistas institucionales, repositorios digitales o boletines internos— permiten que los hallazgos locales se integren en redes de conocimiento más amplias, fortaleciendo la capacidad del SENA para incidir en políticas públicas, prácticas productivas y modelos pedagógicos. Como lo plantea la UNESCO (citado en Vera-Fernández & Fernández-Nieto, 2024), el desarrollo de una cultura científica en las instituciones educativas es una condición indispensable para el bienestar social y el progreso sostenible.

3. Conclusiones

Documentar, escribir y publicar son acciones formativas y transformadoras. No se trata únicamente de producir artículos, sino de consolidar una cultura institucional donde la reflexión sobre la práctica tenga valor académico y social.

El SENA, a través de su modelo de Formación Profesional Integral y su sistema SENNOVA, dispone de los medios y los escenarios para que la investigación formativa florezca. Pero su verdadera consolidación depende de la capacidad de docentes y aprendices para narrar lo que hacen, analizar lo que aprenden y compartir lo que descubren.

El conocimiento situacional —ese que se genera en los talleres, los proyectos y las comunidades de práctica— constituye uno de los patrimonios más valiosos del SENA. Hacerlo visible a través de la escritura y la publicación es un acto de sostenibilidad institucional, de compromiso pedagógico y de democratización del saber.

Por ello, escribir no es solo un deber académico, sino una forma de contribuir al legado colectivo de la formación profesional en Colombia. En cada relato de experiencia, en cada artículo que nace del aula o del semillero, se fortalece la identidad del SENA como una institución que no solo forma para el trabajo, sino que construye y comparte conocimiento para la vida.

Referencias bibliográficas

Aguilar Jiménez, A. S., Mantilla Niño, M. T., & Silva Rojas, M. F. (2021). Semilleros de investigación como estrategia de formación investigativa. Caso de estudio: Colegio Reina de la Paz. INNODOCT/21 International Conference on Innovation, Documentation and Education. Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/INN2021.2021.13439

Cruz Ardila, J. C., Olarte Cabana, J. A., Hernández Vásquez, S., & Hernández García, E. A. (2022). La investigación formativa en Colombia: una mirada desde su implementación. Revista Boletín Redipe, 11(2), 177–187.

Granger-Serrano, L. F., & Mesa-Gil, D. (2020). Los semilleros: escenarios de investigación formativa que fortalecen la Formación Profesional Integral. Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 6(1), 11–24.

Restrepo, B. (2003). La investigación formativa en la universidad: estrategias y retos. Universidad de Antioquia.

Vera-Fernández, C. G., & Fernández-Nieto, E. L. (2024). Los semilleros de investigación hacia la consolidación de una cultura investigativa en el contexto universitario: Revisión de literatura 2017–2023. Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería, 12(2), 204–214. https://doi.org/10.15649/2346030X.3445

Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2018). Guía de investigación aplicada SENNOVA. Dirección General, Bogotá, Colombia.

Nota editorial final

Desde la Revista Construcción y Sostenibilidad del SENA, extendemos una invitación abierta a toda la comunidad educativa, instructores, aprendices e investigadores a **documentar, escribir y publicar** sus experiencias y reflexiones. Cada texto es una contribución al fortalecimiento de la cultura del conocimiento en nuestra institución y un paso más hacia la consolidación de un SENA que aprende, innova y transforma el país desde la formación.

Queremos que todos los actores del ecosistema SENA como son aprendices, instructores, investigadores, aliados y comunidades, hagan de la escritura, la reflexión y la publicación, parte natural de su práctica. Que cada proyecto formativo, cada experiencia en obra, cada innovación pedagógica o técnica, encuentre aquí un espacio para ser compartido, validado y proyectado.

Porque construir también es dejar huella. Y escribir es dejar en la memoria todo lo que hacemos, lo que somos y lo que aspiramos a ser como institución al servicio del país.

CONTENIDO

Artículos de investigación

Elaboración de materiales no convencionales a partir de Residuos de Construcción y Demolición en el marco de la construcción sostenible. **11**

Software innovador para el cálculo de la huella de carbono y energía incorporada en proyectos de construcción. **25**

Implementación de modelos de aprendizaje automático para predicción de abastecimiento de agua: un enfoque de pensamiento basado en el riesgo en la agroindustria. **37**

Problemáticas en el ejercicio de los consejos de administración en propiedades horizontales residenciales del valle de Aburrá. **52**

Evaluación del Impacto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Hispana: Perspectivas Académicas. **64**

Reseñas históricas

Semillero de Investigación en Infraestructura, Construcción y Servicios Públicos (SEDEICOS). **71**

Reseña del grupo de Investigación en Construcción, Infraestructura y Servicios Públucos (GIRCIS). **72**

Tecnoacademia Medellín. **74**

Casos de éxito

La Jardinería de Paisaje al servicio de la excelencia en la FPI de los programada de Tecnología en Dibujo y Modelado Arquitectónico, Técnica en Proyectos de Jardines y Amoblamiento Urbano, Tecnología en Edificación de Construcciones y las tecnologías agrícolas. **75**

Economía circular en la construcción: concreto sostenible a partir de residuos de vidrio. **78**

Innovación y Formación Integral: Articulación FPI–SENNOVA como Caso de Éxito. **80**

Elaboración de materiales no convencionales a partir de Residuos de Construcción y Demolición en el marco de la construcción sostenible.

Jhon Darwyn Jiménez Ramírez
Químico Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, jdjimenezrsena.edu.co, Medellín.
Alejandra Betancur Sánchez
Ingeniera Química, Universidad de Antioquia, alejandra.betancurs@udea.edu.co, Medellín.

RESUMEN

La construcción es uno de los principales sectores que mueve la economía, pero también es responsable de la generación del 30% de los residuos sólidos mundiales. En este contexto, se ha desarrollado un proyecto para la elaboración de materiales no convencionales a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) bajo procesos de sostenibilidad. La metodología propuesta inicia con la revisión bibliográfica de los procesos de aprovechamiento de RCD y continúa con la caracterización de los residuos, la elaboración de mezclas y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales obtenidos. Los resultados muestran que es posible obtener materiales de calidad a partir de RCD, lo que contribuye a la reducción de la cantidad de residuos sólidos generados en la construcción y a la sostenibilidad del medio ambiente. Los resultados obtenidos muestran resistencias de 10,1 Mpa en promedio, las cuales cumplen con las Normas Técnicas Colombianas NTC 4076 (mampostería no estructural) y se clasifican como clase baja según la NTC 4026 (mampostería estructural). Este proyecto puede ser replicado en otros centros de formación y en la industria de la construcción en general, con el fin de promover prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Palabras clave: Agregados, agregado grueso, agregado fino, construcción sostenible, materiales no convencionales, RCD.

ABSTRACT

Construction is one of the main sectors driving the economy, but it is also responsible for the generation of 30% of the world's solid waste. In this context, a project has been developed for the production of non-conventional materials from Construction and Demolition Waste (CDW) under sustainable processes. The proposed methodology begins with a bibliographic review of the processes for the use of CDWs and continues with the characterization of the waste, the preparation of mixtures and the evaluation of the physical and mechanical properties of the materials obtained. The results show that it is possible to obtain quality

materials from CDW, which contributes to the reduction of the amount of solid waste generated in construction and to the sustainability of the environment. The results obtained show resistances of 10.1 Mpa on average, which comply with Colombian Technical Standards NTC 4076 and NTC 4026. This project can be replicated in other training centers and in the construction industry in general, in order to promote more sustainable and environmentally responsible practices.

Keywords: aggregates, coarse aggregates, fines aggregates, CDW, non-conventional materials and sustainable construction.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción y edificación es clave en la economía, pero también es responsable de la generación de grandes cantidades de residuos sólidos, lo que representa un problema ambiental importante. La generación de residuos ha ido creciendo rápidamente con el aumento de la población. Se estima que la generación mundial de residuos casi se duplicará para 2050 y se triplicará para 2100 en comparación con el año 2016 (Economist, 2018; World-Counts, 2020). La industria de la construcción es responsable de aproximadamente el 23% de la contaminación del aire, el 40% de la contaminación del agua potable y contribuye al 50% de los residuos depositados en vertederos (Granda, 2023).

En Colombia, de acuerdo con el DANE, se producen 24,8 millones de toneladas de residuos al año, de los cuales el 47 % provienen de los hogares y se tiene una generación per cápita de 515 kilogramos. A su vez la tasa de reciclaje, que se refiere a la proporción de material reciclado sobre la generación total de residuos sólidos, es cercana al 11,82 % en el año 2019, con una clasificación promedio de los residuos en los hogares en todo el país del 39,9 % y del 42,2 % en las cabeceras municipales (DANE, 2020).
Según datos del DANE, en el Valle de Aburrá para el año 2022 se considera una generación de 41.498 Toneladas de RCD (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2023).
Un volumen enorme de residuos se deposita en rellenos sanitarios y esto está creando importantes problemas medioambientales, como la contaminación del suelo, el agua y el aire, y también repercutiendo en la salud humana.

En este contexto, se han desarrollado estrategias que buscan la concientización de productores, constructores y la comunidad desde el reconocimiento de los materiales de construcción, el cambio de una economía lineal a una circular, la reincorporación de materiales residuales y alternativos provenientes del reciclaje o aprovechamiento de residuos sólidos, contribuyendo a la conservación y uso eficiente de recursos naturales (Urrego et al., 2022).

En el caso del Área Metropolitana de Medellín, se están desarrollando actividades de gestión adecuada de RCD generadas en obras, utilizando elementos sistemáticos como la página web www.metropol.gov.co. Este aplicativo permite a los generadores y gestores inscribirse ante la Autoridad y presentar sus reportes en cumplimiento de las resoluciones 472/2017 y 1257/2021 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2023).
Hay varios tipos de residuos que se pueden reciclar para lograr un ahorro sustancial de recursos; por ejemplo, las llantas están siendo aprovechadas como gránulos de goma para adicionarlos como agregado fino en la elaboración de los eco ladrillos, dando una mayor absorción y menor resistencia (Pérez et al., 2021). También, el caucho producido a partir de neumáticos al final de su vida útil se ha aplicado en hormigón y construcciones de carreteras como agregados en mezclas asfálticas (Li et al., 2016).

Existen cuatro líneas principales de reutilización de residuos de concreto: Fabricación de concretos empleando RCD como sustituto total de áridos naturales o como sustituto de las fracciones gruesas o finas; elaboración de prefabricados como bloques divisorios, bordillos y tuberías;

uso en carreteras como base y subbase; y aprovechamiento de los residuos de hormigón como materia prima para la producción de nuevos productos de alta calidad (Osorio & Montoya, 2018). Los resultados obtenidos al emplear RCD para la fabricación de concretos son positivos, puesto que se han logrado producir concretos de hasta un 30% más de resistencia a la compresión en comparación con concretos fabricados con agregados convencionales (Wagih et al., 2013). Cabe aclarar que existen numerosos materiales sostenibles, pero para la construcción, los procesos empleados para su obtención y puesta a punto también deben serlo. Por tal motivo, estos materiales deberán contar con tecnología que mejore su funcionamiento y su valor sostenible (Romero, 2020).

En Colombia ya existen iniciativas para edificaciones sustentables y sostenibles, pero a pesar de ser pioneros en esto, los diseñadores y arquitectos siguen construyendo de manera tradicional sin pensar en la relación hombre con la naturaleza, y son pocos los que han querido innovar y participar en la mitigación de CO^2 en los procesos de la construcción (Malaver & Ortiz, 2018).

La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en el sector de la construcción, y para ello, el concepto de "residuo" debería tender a desaparecer y dejar paso a la consideración de este flujo de materiales como un "recurso" (Sunsunaga, 2014).

Dentro de los materiales no convencionales utilizados actualmente en la construcción se encuentran: Paneles que reemplazan la madera, fabricados a partir de desechos de cultivo de trigo y sorgo; pintura ecológica a base de proteína de leche, arcilla, cal y pigmentos minerales; vidrio reciclado varias veces, para usarse como recubrimiento de paredes y muebles; paneles fabricados a partir de botellas de plástico; el mycelium, el cual consiste en una estructura de raíz de hongos en las que estos pueden crecer alimentados por un compuesto de otros materiales naturales. Una vez secada al aire sirve para crear ladrillos muy resistentes; fibra de celulosa de papel reciclado fabricada con un proceso de baja energía, el polipropileno, polibutileno y polietileno como alternativa al PVC y el concreto de ceniza volcánica como sustituto del cemento tradicional. Este material ecológico permite que el 97% de los componentes convencionales se pueden reemplazar por materias primas naturales (Rebuild, 2019).

En un estudio, se aplicó una herramienta de sostenibilidad para determinar cuál de las dosificaciones de reciclaje utilizadas para producir los bloques de hormigón calificados era sostenible. Los hallazgos mostraron que la receta que usaba fibras de sisal (es decir, 0,25 % de la cantidad de cemento) en agregados 100 % reciclados de desechos de construcción y demolición para la producción de bloques de concreto, resultó ser una receta más sostenible que las demás. Esta condición sugiere que el uso del 100 % de residuos de construcción y demolición en materiales de construcción contribuye a la conservación de recursos de relativamente la misma cantidad de agregados naturales para uso futuro, lo cual está en línea con el concepto de construcción sostenible. Por lo tanto, es posible reciclar el 100 % de los desechos de

construcción y demolición en materiales de construcción (Sabai et al, 2014). Las recetas empleadas en el anterior estudio cumplieron la resistencia a la compresión, la cual tiene un valor de 7 MPa que se utiliza tradicionalmente para definir el requisito mínimo de capacidad de carga, así como la relación de absorción de agua del 12%.

Investigadores de la Universidad del Valle, demuestran la viabilidad de utilizar el residuo de ladrillo (RL) como precursor primario de un mortero activado alcalinamente de tipo híbrido apto para fabricar elementos constructivos, tipo bloque, adoquín y teja, con propiedades incluso superiores a las mínimas establecidas en las normas técnicas colombianas (NTC), destacando la incorporación de tan solo un 10 % en peso de cemento Portland (OPC) y la utilización de procesos de conformado manual (Robayo et al., 2016).

De acuerdo con la norma NTC 4026, los bloques de RL obtenidos se pudieron clasificar como “bloques estructurales de clase alta”, al tener una resistencia a la compresión de 17.09 MPa y una capacidad de absorción de agua del 7.3 %, es decir, un 31.5 % más resistentes y un 18.8 % menos absorbentes que los requerimientos establecidos en la norma NTC 4026. La producción de los elementos constructivos se basó en el desarrollo de un mortero híbrido de 48.61 MPa de resistencia a la compresión a los 28 días de curado a temperatura ambiente (25 °C). Como activadores alcalinos se usaron hidróxido de sodio (NaOH) grado industrial y silicato sódico comercial (Na2SiO3). (Robayo et al., 2016).

En cuanto a elaboración de bloques de cemento añadiendo residuos de construcción Herrera et al. (2021), presentan un proceso detallado en cuanto a materiales y sus características para la elaboración de bloques en concreto teniendo como referentes de calidad la norma técnica Colombiana NTC 4026 de 1997, se realizaron tres combinaciones de agregados en proporciones de agregado convencional y agregado de RCD de 80:20, 70:30 y 60:40 y tamaños de grano de 3/8 de pulgada y un tamaño máximo nominal de No.4. La resistencia a la comprensión presentó un valor promedio de 7 MPa, dando resultados positivos según lo dispuesto en la Norma NSR-10 Título D para elementos de mampostería tipo bloque por individual.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se propuso una metodología de marco lógico en la cual la población de estudio fue el Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción (CDHC), donde se recolectaron los residuos de construcción y demolición (RCD) para la elaboración de los materiales no convencionales, las fases del Proyecto se definen a continuación en la figura 1.

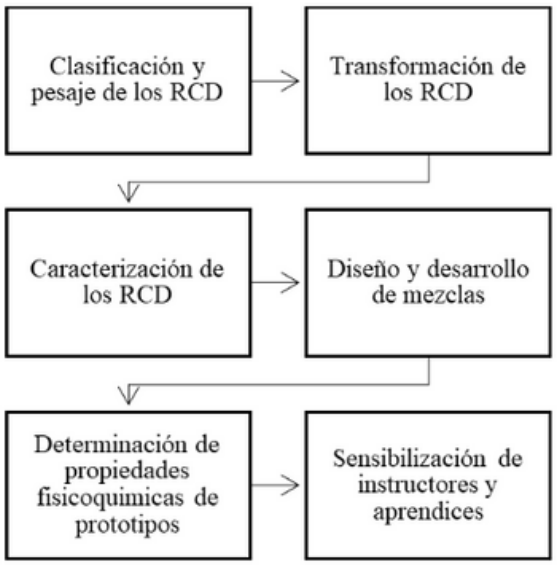


Figura 1. Etapas del proyecto
Fuente: Elaboración propia.

2.1. Caracterización

En esta etapa se realizó separación de residuos de yeso, pesaje y almacenamiento de los RCD, inicialmente en el taller de acabados y pintura (donde se realizan actividades de formación en acabados, pintura de interiores y exteriores en edificaciones y revestimiento de paredes y accesorios interiores), posteriormente en el patio de prácticas del Centro de formación CDHC en la cual se desarrollan procesos formativos en procesos estructurales y no estructurales de construcción (levantamiento de paredes, enchape, elaboración de vigas, columnas). La cantidad de RCD que se originan en el centro es variada, debido a que esto depende de las actividades formativas que se llevan a cabo, así como el número de grupos de procesos constructivos y de hábitat que se desarrollen al año. Sin embargo, se puede identificar un promedio de 47.566 Kg.
Los residuos con características de concreto, arena, grava y material puzolánico son generados a partir de las prácticas de formación.

2.2 Transformación de los RCD

La transformación de los RCD se llevó a cabo de acuerdo con los procesos que se presentan a continuación.

Trituración: En este proceso se usó un triturador de mandíbula con motor trifásico de muelas en acero y manganeso, correas de transmisión en V, y eje fabricado en acero con capacidad de 1 a 4 toneladas/hora para un primer proceso de trituración y para la recuperación de gruesos y finos. En la Figura 2 se identifica el equipo utilizado.

Figura 2. Triturador de Mandíbula
Fuente: Propia.

En un segundo proceso se utilizó trituradora eléctrica de escombros Modelo 2F-TR, desplazable en 3 rodachines, la cual permite disminuir el tamaño de grano del material residual. El equipo se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Triturador eléctrico 2F-TR.
Fuente: Propia.

Tamizaje automático y manual: En la tamizadora automática se logra separar material en un tamaño de partícula para finos tipo No. 4 y en agregados gruesos de ½ pulgada. En el tamizaje manual se usaron mallas No. 2 y No. ¾, con lo cual se obtuvo material de ¾ y ½ de pulgada. En las Figuras 4 y 5 se presentan los equipos utilizados.

Figura 4. Tamizadora sencilla.
Fuente: Propia

Figura 5. Tamizadora con malla doble.
Fuente: Propia

2.3 Caracterización de los RCD

Una vez separado el material se realizaron análisis de granulometría, densidad y absorción los cuales permiten dar inicio al desarrollo de los diseños de mezclas determinando las propiedades específicas para el uso de estos materiales según sus condiciones particulares. Estos análisis cumplen con parámetros mínimos como la distribución de tamaño de partícula (que influye en la trabajabilidad, compactación y resistencia), densidades reales y aparentes (con el fin de calcular la cantidad de material en mezcla y composición mineralógica) y el ensayo de absorción (que permite el ajuste adecuado de agua en la mezcla). Los ensayos se ejecutaron por personal calificado del laboratorio de ensayos de agregados, concretos y cementos LEACCEM del Centro de formación CDHC, los ensayos se realizaron siguiendo los mandatos y parámetros de la Norma Técnica Colombiana NTC 4017.

2.4 Diseño y desarrollo de Mezclas

Se realizan las dosificaciones del material, manteniendo un 10% de cemento. Las dosificaciones contienen una mezcla de cemento, material grueso (grava residual con un tamaño granulométrico superior a 4,76 mm retenidos al 100%), fino (material de construcción con un tamaño inferior a 4,75 mm, que pasa 100% malla 3/8” de RCD) y otros residuos que se dosifican en proporciones específicas para evaluar el comportamiento de la resistencia del material en cada una de las dosificaciones. Dentro de los otros residuos incorporados en las mezclas se usaron: micro plástico 5%,

carbón inactivo 5% (proporcionados por Empresas Públicas de Medellín (EPM)), residuos mineros 10% (obtenidos del Centro Minero Ambiental El Bagre) y material puzolánico 10,85% (obtenido en el Centro CDHC). Estos materiales se homogenizaron en seco, posteriormente se adicionó agua en una cantidad conocida y se introdujo la mezcla en máquina de bloques CINVA RAM, previamente engrasada para evitar que el bloque se adhiera y garantizando que el material quedara bien distribuido en ella. Una vez el material está dentro de la máquina, se comprime y se deja reposar durante 10 minutos, para posteriormente extraerlo y someterlo a curado en agua durante 21 y 28 días.

2.5 Estandarización de diseño de mezclas y determinación de propiedades físico-mecánicas.

Estandarización de diseño de mezclas: Una vez realizados los ensayos en cilindros y según los resultados arrojados bajo las condiciones de calidad, se elaboraron bloques con dimensiones de largo 31,4 cm, ancho de 15,4 cm, área bruta de 406,5 cm^2 y peso de 8,5 Kg aproximadamente con materiales residuales de finos (62,5%), grava puzolánica y residual (25%), así como cemento (12,5%) esto en base seca e hidratación de 1600ml de agua.

Determinación de propiedades físico-mecánicas: El bloque fue sometido a falla mediante ensayo realizado teniendo como referencia la norma NTC 4017:2005, por el laboratorio de ensayos de agregados, concretos y cementos – LEACCEM, del Centro de formación CDHC. El ensayo realizado es de resistencia a la compresión en unidades de Mampostería.

2.6 Sensibilización a instructores y aprendices

Se realizaron jornadas de transferencia de conocimiento en cuanto al manejo alternativo de RCD, bajo una actividad de solución de problemas. En esta, se presentaron residuos con posibilidad de aprovechamiento en grupos de 5 a 6 personas, en el cual debían realizar un bloque o adoquín con uno de los materiales propuestos y presentar tanto la cantidad y tipo de uso del material como el prototipo de este. Una vez presentada la actividad, se retroalimentaba en cuanto a la posibilidad del uso de materiales bajo el concepto de economía circular y construcción sostenible En la Figura 6 se presentan fotografías de esta actividad.

(a)

(b)

(c)

Figura 6 a, b y c. Grupo1, 2 y 3 de Instructores actividades de economía circular manejo de RCD y residuos orgánicos.
Fuente: Propia

3. RESULTADOS

3.1 Granulometría

La granulometría para los agregados gruesos se realizó con una incertidumbre expandida de 0.37% y un módulo de finura de 5,94. El peso seco antes y después de lavar fue de 5.094,7 g.

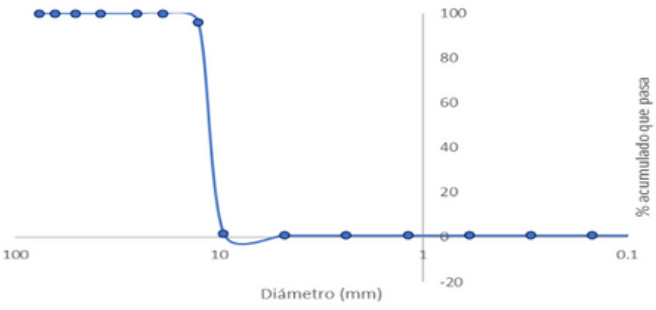


Figura 7. Resultados granulometría gruesos
Fuente: LEACCEM

De acuerdo con lo anterior, se observa que la mayor cantidad del material (>99%) quedó retenida en la malla número 4, conforme a lo que estipula la Norma Técnica Colombiana para este tipo de material.

En el caso particular de la granulometría para agregados finos, se realizó con una incertidumbre expandida de 0.38%, módulo de finura de 2,76. El peso antes de lavar fue de 600 g y luego de lavado de 555,5 g.

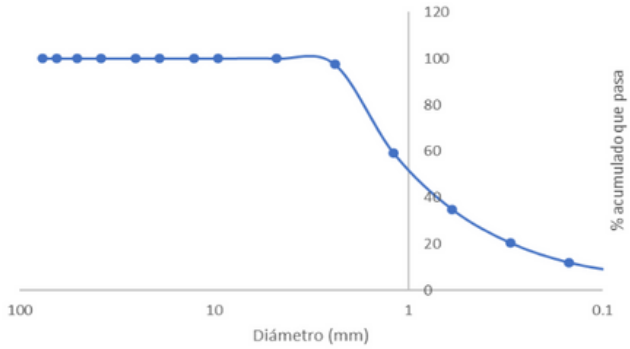


Figura 8. Resultados granulometría en finos
Fuente: LEACCEM

Con base a la figura anterior, para los materiales clasificados como finos, se confirmó que este tipo de material cumple con una distribución granulométrica de ser retenido por encima del 99% en malla número 200 y material que pasa por encima de un 98% en tamiz 3/8".

3.2 Densidad

En cuanto a densidades de los RCD en finos, los resultados obtenidos se presentan a continuación (Tabla 1.).

Tabla 1. Densidad de agregados residuales finos, análisis realizado por laboratorio LACCEM.

Datos densidad y absorción agregados finos	
Densidad relativa (gravedad específica) secado al horno (SH)	*1,93*
Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)	*2,21*
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	*2,69*
Absorción (%)	*14,52*

En el caso de materiales gruesos residuales las densidades identificadas se muestran a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Densidad de agregados residuales gruesos, análisis realizado por laboratorio LACCEM.

Datos densidad y absorción agregados gruesos	
Densidad relativa (Gravedad especifica) Seca al horno	*2,28*
Densidad relativa (Gravedad especifica) saturada superficialmente seca	*2,45*
Densidad relativa aparente (Gravedad especifica)	*2,76*
Densidad en condición seca al horno (kg/m³)	*2274*
Densidad en condición saturada superficialmente seca (kg/m³)	*2448*
Densidad Aparente (kg/m³)	*2755*
Absorción (%)	*7,66*

3.3 Resistencia a la compresión

Se presentan los datos de resistencia a la compresión de diseños de mezclas con residuos de yeso y drywall del ambiente no convencional de pinturas y acabados (Tabla 3).

Tabla 3. Datos compresión mecánica diseño de mezcla con yeso residual.

No. de muestra	1	2	3	4
Resistencia Real (MPa)	0,63	0,54	1,87	0,43
Resistencia promedio (MPa)		0,87		

En la tabla 4, según informe de laboratorio No. 5091 se evidencian propiedades mecánicas de bloques con Residuos de Construcción y Demolición de patio de prácticas del Centro de formación CDHC que van alineados a las normas técnicas colombianas en cuanto a los materiales de construcción.

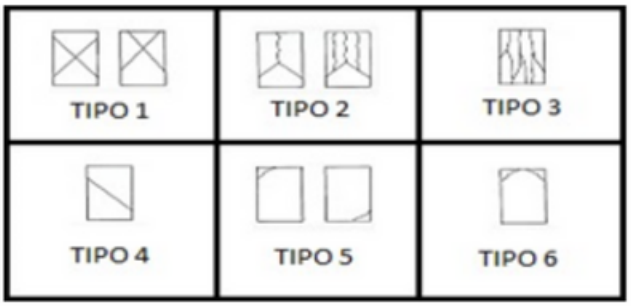


Figura 9. Tipo de falla
Fuente: LEACCEM

Tabla 4. Datos compresión mecánica diseño de mezcla con RCD del patio de prácticas del Centro de formación CDHC

Cilindro	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)	Diámetro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Área (mm²)
(1 C1.6)	34,656	2077,25	102,37	202,70	8230,69
(2 C1.6)	34,353	2074,91	101,79	203,45	8137,69
(3 C1.6)	35,215	2060,97	102,51	207,03	8253,22

Cilindro	Fuerza (kN)	Resistencia a compresión (MPa)	Tipo de Falla
(1 C1.6)	85,00	10,33	3
(2 C1.6)	79,00	9,71	2
(3 C1.6)	84,00	10,18	2

3.4 Separación y uso de materiales

En 30 días se separaron 1.764 kg de grueso y 1.764 kg de finos en el patio de prácticas del centro de formación. Estos se usaron para la generación de bloques de concreto, así como para la obtención de cilindros de fallo en la determinación de resistencias de material.

4. CONCLUSIONES Y/O DISCUSIONES

El proyecto demuestra que es posible reducir la cantidad de residuos sólidos generados en la construcción mediante la elaboración de materiales no convencionales a partir de RCD, disminuyendo el uso de materiales convencionales hasta en un 64%.

La metodología propuesta puede ser replicada en otros centros de formación y en la industria de la construcción en general, con la finalidad de contribuir y desarrollar prácticas más sostenibles y convergentes con el medio ambiente.

La elaboración de materiales no convencionales a partir de RCD puede contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente y a la reducción de los costos de producción en la construcción. Además, se puede fomentar la economía circular al darle un nuevo uso a los residuos de construcción y demolición.

En el caso de residuos de yeso, estos pueden implementarse en procesos decorativos y otros procesos en la construcción de tipo no estructural, debido a su baja resistencia y alta maleabilidad en el momento de uso. En promedio estos presentaron resistencia de 0,9 MPa no cumpliendo con los estándares establecidos en las NTC como en el caso de concretos, bloques y adoquines.

En cuanto a los resultados granulométricos se evidencia que cumplen tanto los agregados finos como los gruesos, teniendo en cuenta que para el caso de agregados finos se presenta retención en malla No.200 mayor a un 99% y para agregados gruesos se presentaron retenciones de 99% en malla No.4 lo cual cumple para los agregados residuales usados en diseños experimentales, esto según **NTC 77:2018 Método de ensayo para análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos** y consideraciones de **NTC 174-18** en esta se determinan los requisitos de gradación y calidad para agregados gruesos y finos y la cual permite el uso de agregados reciclados según última actualización.

Los residuos de construcción provenientes del patio de prácticas del Centro de formación CDHC se clasificaron en arenas mezcladas con cemento y triturado, proveniente de prácticas de construcción convencional y morteros de prácticas para análisis de concretos, los cuales presentaron bajo diseño de mezcla propuesto una Resistencia promedio de 10,1MPa, teniendo en cuenta NTC 4076 Unidades (bloques y adrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto, según su apartado 4.2 resistencia a la compresión para un promedio de 3 unidades se garantizarían resistencias mínimas de 6MPa y en el caso de ensayo individual resistencias mínimas de 5MPa, así mismo, según NTC 4026 Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural, según numeral 4.2 resistencia a la compresión en ensayos con promedio de 3 unidades la resistencia mínima para clase Alta es de 13MPa y para clase baja 8 MPa y en el caso de ensayos individuales para clase Alta es de 11MPa y clase Baja 7MPa , lo cual demuestra que el diseño elaborado cumple con parámetros de resistencia a la compresión.

Es posible mejorar el diseño final con el uso de otros materiales o la disminución de los RCD. En conclusión, la elaboración de elementos no convencionales a partir de RCD es una práctica viable y sostenible para la industria de la construcción.

Agradecimientos.

Queremos agradecer a DIOS por integrar un equipo de trabajo y las condiciones necesarias para la ejecución del proyecto de investigación que da lugar al artículo. Así mismo, agradecemos al grupo de semilleristas que con tesón y perseverancia hicieron posible la investigación y al coordinador José Fernando Rangel quien con su gestión y apoyo administrativo hizo posible la gestación del proyecto.

Referentes Bibliográficos.

Adilson C.et al. (2022) Análisis del efecto de la incorporación de residuos de construcción y demolición sobre el comportamiento ambiental y mecánico de mezclas terrestres. *Construction and Building Materials*, 330, páginas 127244.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2023). Guía regional con los procesos técnicos y jurídicos RCD 2023. https://www.metropol.gov.co:443/Paginas/Noticias/nueva-guia-rcd-2023-area-metropolitana.aspx

Bogas J et al. (2023) Mechanical performance and shrinkage of compressed earth blocks stabilised with thermoactivated recycled cement. *Journal of Building Engineering*, 79, páginas 107892

Afanador Charris, B. M. et al. (2020). *Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio UCC. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content

D. Li, J. Mills, T. Benn, X. Ma, R. Gravina, Y. Zhuge. Review of the performance of high-strength rubberized concrete and its potential structural applications. Advances in *Civil Engineering Materials*., 5 (1) (2016), pp. 149-166

Departamento Nacional de Planeación (DANE), (2022). *Guía Nacional para la adecuada separación de residuos sólidos.*

Economista. "La generación mundial de residuos casi se duplicará para 2050", *The Economist, economist.com 2018.*

Fabbri, A., et al. (2022). Testing and Characterisation of Earth-based Building Materials and Elements. Springer. ISBN 978-3-030-83296-4. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1

Glinka, M., Vedoya, D., Pilar, C. (2006). Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición. Repositorio Universidad Nacional del Nordeste.

Granda, C. (2023, agosto 3). Impacto ambiental en la construcción—2025. Leaf. https://leaflatam.com/impacto-ambiental-en-la-construccion/

Guillén de Romero, J., Calle García, J., Gavidia, A., & Vélez Santana, A. G. (2020). Desarrollo sostenible: Desde la mirada de preservación del medio ambiente colombiano. Revista de ciencias sociales, 26(4), 293-307.

Hafez, A. I., Khedr, M. M., Osman, R. M., Sabry, R., & Mohammed, M. S. (2020). A comparative investigation of the unit cost for the preparation of modified sand and clay bricks from rice husk waste. Journal of Building Engineering, 32, página 101765.

Herrera W., Trejo J., Galindo N (2021). Elaboración de bloques en cemento adicionados con residuos de concreto como alternativa sostenible para la construcción. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa De Colombia]. Repositorio UCC. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/314984df-3ee2-471a-982c-f55608150341/content

Lamrani, M., Mansour, M., Laaroussi, N., & Khalfaoui, M. (2019). Thermal study of clay bricks reinforced by three ecological materials in south of Morocco. Energy Procedia, 156, 273-277.

Li'an Zhou, et al.(2021) Influencia del polvo de hormigón reciclado (RCP) y del polvo de ladrillo reciclado (RBP) en las propiedades físicas/mecánicas y la durabilidad del suelo en bruto. Recubrimientos 11(12), páginas 1475.

Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., & Khaldoun, A. (2021). Physicochemical, mechanical and thermal performance of lightweight bricks with recycled date pits waste additives. Journal of Building Engineering, 34, página 101867.

Malaver Jaramillo, N. P., & Ortiz Esguerra, N. F. (2018). Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa económica, social y ambiental para la construcción en Colombia. [Tesis de especialización, Universidad la gran Colombia]. Repositorio UGC. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a458d7a1-0116-49c9-88dd-3bdb4ad9b1b3/content

Maza-Ignacio, O. T., Jiménez-Quero, V. G., Guerrero-Paz, J., & Montes-García, P. (2020). Recycling untreated sugarcane bagasse ash and industrial wastes for the preparation of resistant, lightweight and ecological fired bricks. Construction and Building Materials, 234, 117314.

Mendoza, I., Chávez, S. (2017). Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. Revista de Ingeniería Civil. 1(2), 9-14.

Osório, L. M. C., & Montoya, J. M. B. (2018). Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification. DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 85(206), 338-347.

Pérez, S. P. M., Sánchez, J. L. D., & Peña, L. E. F. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica, 18(1).

REBUILD. (2019). 8 nuevos materiales ecológicos en el sector de la construcción. https://www.rebuildexpo.com/materiales-ecologicos-sectorconstruccion/

Robayo-Salazar, R. A., Mejía de Gutiérrez, R., & Mulford-Carvajal, A. J. (2016). Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente. Revista Facultad de Ingeniería, 25(43), 21-30.
Sabai, S. M. M., Lichtenberg, J. J. N., Cox, M. G. D. M., Mato, R. R., & Egmond, E. L. C. (2014). Sustainable approach for recycling construction and demolition waste into building material in Tanzania. Journal of Building and Land Development, 17(4), 88-105.

Sajedi, F., & Razak, H. A. (2011). Comparison of different methods for activation of ordinary Portland cement-slag mortars. Construction and Building Materials, 25(1), 30-38.

Susunaga-Monroy, J. M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. [Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCaC. https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/d903bd31-57bc-40a7-9332-596ee4b4c807/full

Urrego, G. P et al. (2022). Guía de materiales para la construcción sostenible. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Vásquez A, Botero L, Arango C. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Revista Ingeniería y Ciencia. 11(21), pp. 197–220.

Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M., & Okba, S. H. (2013). Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. *HBRC journal*, 9(3), 193-200.

World-Counts, "Tons of solid waste generated," The World Counts, theworldcounts.com 2020.

Software innovador para el cálculo de la huella de carbono y energía incorporada en proyectos de construcción

Nelson Castaño Ciro
Ingeniero Químico. SENA. ncastano@sena.edu.co. Medellín.
Elizabeth Serna Gutiérrez
Ingeniera Civil. SENA. eserna@sena.edu.co, Medellín.
Mary Luz Ocampo
Ingeniera ambiental. SENA. mocampoo@sena.edu.co, Medellín.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo principal de esta investigación fue calcular la huella de carbono y la energía incorporada en materiales de construcción desarrollando un algoritmo aplicado a un software de modelación de edificaciones. Metodología o método: inicialmente, se hizo un estudio exploratorio en fuentes confiables de información, lo cual permitió elaborar bases de datos de fichas de materiales y elementos de construcción que contienen información importante sobre equivalentes de CO^2 por kilogramo, energía primaria renovable y no renovable. Con la información recolectada y mediante el aplicativo del software de modelado Revit API (Application Programming interface, Autodesk) se elaboró un algoritmo utilizando el lenguaje de programación C# (Microsoft) que dio como el resultado un Plugin, el cual, en común acuerdo con el equipo de investigación, se decidió llamarlo "SIMULHE" (SIMULación de Huella de carbono y Energía incorporada). Este mismo se instaló como un complemento en Revit. Resultados: El plugin creado permite hacer el cálculo de huella de carbono y energía incorporada en los materiales incluidos en un modelo en Revit nuevo o ya existente. Conclusiones: el plugin es novedoso, ya que en la búsqueda de información exhaustiva realizada inicialmente, no se encontró un software de modelado con esta característica. Otra ventaja es que permite comparar dos materiales con una función similar y tomar la decisión sobre cuál es mejor para disminuir la huella de carbono y la energía incorporada en el modelo de construcción creado.

Palabras clave: calentamiento global, ciclo de vida, energía incorporada, huella de carbono, Revit, Revit API.

ABSTRACT

Objective: The main objective of this research was to calculate the carbon footprint and the embodied energy in construction materials by developing an algorithm applied to building modeling software. Methodology or method: initially an exploratory study was carried out on reliable sources of information, which allowed the creation of databases of materials and

construction elements sheets that contain important information on CO2 equivalents per kilogram, renewable and non-renewable primary energy. With this information collected and through the Revit API (Application Programming interface, Autodesk) modeling software application, an algorithm was developed using the C# programming language (Microsoft) that resulted in a Plugin, which, in common agreement with the research team, it was decided to call it “SIMULHE” (SIMULATION of Carbon Footprint and Embodied Energy). This was installed as a plugin in Revit. Results: The plugin created allows the calculation of carbon footprint and embodied energy in the materials incorporated in a new or existing Revit model. Conclusions: the plugin is novel, since in the exhaustive information search that was initially done, no construction modeling software with this advantage was found. Another advantage is that it allows you to compare two materials with a similar function and make the decision which of these is better to reduce the carbon footprint and the energy incorporated in the created construction model.

Keywords: carbon footprint, embodied energy, Revit, Revit API, Lifecycle; sustainability, global warming.

1. INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está siendo afectado por contaminantes atmosféricos que causan el calentamiento global, generados por el gran crecimiento demográfico y sus actividades humanas. A pesar de que la industria de la construcción representa el 5,1% del PIB del país, el 3,4% de la entrada total de IED y el 7,2% del empleo formal (ANDI, 2022), también es una de las actividades humanas más contaminantes y consumidoras de energía a nivel mundial, ocasionando cambios negativos en el medio ambiente. Los materiales usados en la industria de la construcción producen una gran cantidad de carbono y consumen grandes cantidades de energía y agua (Kouhirostamkolaei et al., 2023). Debido a lo anterior, se han establecido varios objetivos a nivel mundial con el fin de mitigar este daño, y uno de los más importantes es el establecido por la ONU con sus 17 objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2015) mediante la agenda 2030.

Lo anterior se convierte en un paradigma para la industria de la construcción, ya que la evaluación y el cálculo de los impactos ambientales son siempre un desafío para cada edificio con diversas funciones, ya sea durante o después de la fase de construcción, durante la fase de operación o en el momento de la demolición.

En este sentido, La industria de la edificación se enfrenta a una creciente presión para reducir su impacto ambiental. Las emisiones de carbono y el uso excesivo de recursos naturales son algunos de los principales desafíos a los que se enfrenta este sector, que es la fuente principal de las emisiones a nivel mundial. Ante este escenario, el cálculo de la huella de carbono y la energía incorporada en los materiales y procesos constructivos ha pasado a ser una herramienta clave para evaluar y mitigar las afectaciones al ecosistema de los proyectos de obra.

Aunado a esto, existen actividades de origen antropogénico como la deforestación, la agricultura, la ganadería, la combustión de combustibles fósiles que generan un aumento de la cantidad de los gases de efecto invernadero (GEI). Otras de las actividades son los procesos industriales como el sector de la construcción, considerado uno de los más importantes en todos los países y así mismo uno de los más contaminantes. El sector de la construcción es importante para las aspiraciones globales del cambio climático, debido a que genera entre el 40 % y el 50 % de los gases de efecto invernadero (GEI) durante el ciclo de vida constructivo (Sharma et al., 2011).

En Colombia se calcula que, si no se toman medidas, las emisiones generadas podrían aumentar para el año 2030 en un 50 % más, aunque el país contribuye solo con el 0,46% de las emisiones globales generadas. Durante la Cumbre de Paris, Colombia hizo público su compromiso en la lucha contra el cambio climático. Dicho compromiso consiste en reducir las emisiones nacionales de GEI en un 20%, con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030, con la posibilidad de superar esta meta hasta llegar a un 30% en caso de recibir ayuda internacional (García et al., 2015). Sin embargo, en la cumbre climática COP 26 Colombia asume el reto de reducir en un 51% las emisiones de gases de efecto invernadero al año 2030 y alcanzar para el año 2050 el carbono neutro (Naciones Unidas, 2023). Para lograr esta mitigación, la industria de la construcción resulta estratégica, dado que se articula con los sectores clave de la economía.

En un proceso constructivo se mide la cantidad de gases causantes del calentamiento de la tierra emitidos a la atmósfera mediante el concepto de huella de carbono, ya que es posible evaluar estas emisiones a la atmósfera asociadas a la extracción, fabricación de los materiales y al ciclo de vida constructivo (Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al., 2018).

Los datos de emisiones de un proyecto se basan en el uso de combustible, del emplazamiento y en las fuentes de combustible para generar la electricidad de la región, ya que produce más emisiones de CO^2 una central eléctrica alimentada con carbón, que una central hidroeléctrica para el mismo proyecto. Para el cálculo de emisiones de CO^2 en los Estados Unidos, se utilizan los datos de la agencia EPA (Environmental Protection Agency), que mantiene un registro de todas las centrales eléctricas de ese país. Para otros países utilizan datos CARMA (Carbon Monitoring for Action) (Autodesk, 2016).

Para cuantificar el impacto ambiental por construcción de un edificio, es necesario utilizar la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que consiste en medir los impactos ambientales de manera objetiva en cada una de las fases de construcción.

a) Extracción y manufactura de materiales
b) Transporte hasta la obra
c) Construcción
d)Transporte, disposición y/o aprovechamiento de RCD generados hasta antes del comienzo de operación
e) Operación
f) Deconstrucción o demolición
g)Transporte, disposición y aprovechamiento de RCD finales (Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al., 2018).

Estos parámetros con otros adicionales son los que se deberán tener en cuenta para la correcta selección de materiales con una baja huella de carbono y consumo energético incorporado. La figura 1 muestra los principales criterios para selección de materiales. Para llevar a cabo esta metodología, es necesario obtener la huella de carbono de los materiales de construcción en las diferentes bases de datos que se encuentran a nivel mundial (Ibañez et al., 2021). En muchos casos, esta información es clasificada o está muy alejada de la realidad nacional, lo cual se dificulta al momento de vincular al modelo BIM para cuantificar los datos ambientales que serán modelados, lo cual genera una percepción de complejidad de la evaluación del ciclo de vida, desconocimiento de la afectación ambiental que producen los materiales de construcción y debido a esto no se podrían aplicar criterios de sostenibilidad en la selección de materiales para la construcción de edificaciones.

Figura 1 . Principales criterios de selección de materiales. Elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

2.1 Búsqueda de información

Es fundamental en toda investigación realizar una revisión a nivel mundial sobre los avances más importantes y recientes relacionados con el tema. En el tema central de este estudio, inicialmente se hizo una búsqueda en la base de datos Scopus con la siguiente ecuación de búsqueda: carbon AND footprint AND construction AND material AND energy y se encontraron 918 resultados en un rango de fechas entre 2004 y 2024. Pero esta búsqueda, si bien es cierto contiene la palabra "energy", no correspondía a la energía incorporada en el material de construcción. Se hizo una nueva ecuación de búsqueda con las siguientes palabras teniendo en cuenta la energía embebida o incorporada: carbon AND footprint AND material AND construction AND embodied AND energy. En este caso sólo arrojó 12 resultados, con una fecha inicial del 2014 hasta la fecha, como se observa en la figura 2. Lo cual se podría traducir en que, en la última década, las instituciones le están prestando más atención a los procesos de la elaboración de los materiales de construcción y la energía requerida para su obtención.

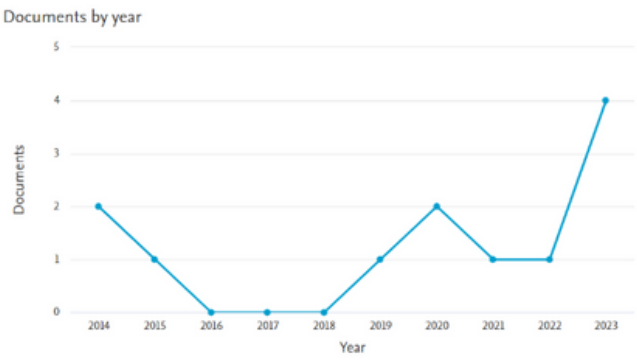


Figura 2. Resultado de la búsqueda en Scopus de la ecuación de búsqueda "carbon AND footprint AND material AND construction AND embodied AND energy". Fuente: Scopus.

Un análisis de las palabras más importantes en estos resultados, usando el software VOSviewer, se presenta en la figura 3. Se resalta que tiene una mayor fuerza de conexión la palabra de "huella de carbono", seguido de "diseño arquitectónico", "ciclo de vida", "desarrollo sostenible", entre otros.

Haciendo un análisis de los artículos se encontró que tres de los artículos usaron el software SimaPro (software analítico utilizado para medir la huella ambiental de productos y servicios de una manera objetiva y con un alto nivel de transparencia). Dos de ellos lo usaron de manera independiente (Filimonau et al., 2021) y (Biswas, 2014) y el tercero lo usó junto con la información contenida en Ecoinvent (Rodríguez et al., 2023). Mazelli y colaboradores (Mazelli et al., 2023) también usaron Ecoinvent con el software OpenLCA. Crippa y colaboradores (Crippa et al., 2020) analizaron la interoperabilidad entre un software de la metodología BIM con otro software de análisis de ciclo de vida (LCA).

Los colaboradores de los investigadores Tapper (Tapper & Dokka, 2019) y Shadram (Shadram et al., 2015) usaron software únicamente para el cálculo de la energía embebida en edificios. Araujo y colaboradores (de Araujo et al., 2023) utilizaron DesignBuilder para la evaluación de la eficiencia energética, medioambiental y económica de los edificios durante todo el proceso de diseño. Otros investigadores usaron el software UMBERTO NXT CO2 para el cálculo de la huella de carbono y la energía incorporada en un edificio (Pardo et al., 2022). Otros se limitaron a hacer los cálculos basándose en área y volúmenes (Kouhirostamkolaei et al., 2023) o en un software de la metodología BIM (Alwan & Jones, 2014).

Según esos análisis, no se encontró en la literatura consultada, un solo software que construya el modelo de un edificio bajo la metodología BIM, haga el cálculo de la huella de carbono y la energía incorporada de los materiales usados en el mismo modelo. Todos lo hacían de forma separada, lo cual puede ocasionar errores en los cálculos al omitir o incluir materiales que no pertenezcan al modelo, además los costos asociados para poder adquirir los softwares por separado.

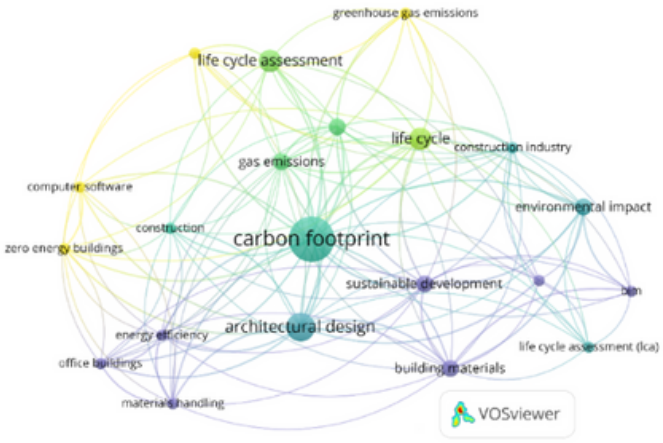


Figura 3. Fuerza de enlace de palabras. Fuente: VOSviewer.

2.2 Construcción de la base de datos

La idea principal debe orientarse a que por medio del plugin creado en la presente investigación se alimenta una base de datos propia sobre información de datos sostenibles de materiales de construcción, ya que la mayoría de los softwares comerciales contienen información de materiales generales y que, posiblemente, no tienen toda la información necesaria. Para el tema que se aborda, se tomó como base la información de las declaraciones ambientales de producto (EPD) suministrada por The International EPD System (The International EPD System, 2023), AENOR (AENOR, 2024), entre otros. una EPD es una Declaración Ambiental de Producto que informa de manera transparente datos objetivos, comparables y verificados por terceros sobre el desempeño ambiental de los productos y servicios desde una perspectiva del ciclo de vida.

Figura 4. Ejemplo de declaración ambiental de accesorios de bronce (The Internaional EPD System, 2023).

Las EPD de un fabricante se convierten en un compromiso de este para medir y reducir el impacto ambiental de manera transparente. Cuando se gestiona una EPD, lo cual puede durar entre 2 a 12 meses, se describe el ciclo de vida del producto y se realiza una evaluación. Estos resultados son revisados, verificados y aprobados por un tercero antes de registrarse y publicarse. El anterior proceso ratifica que la información de las EPDs es confiable sobre el desempeño ambiental del producto. La figura 4 representa un ejemplo de una declaración ambiental de accesorios de bronce y el contenido de dicho documento. El propósito del documento es proporcionar una evaluación ambiental detallada del ciclo de vida de las conexiones de presión Rifeng, específicamente sus impactos ambientales desde la extracción de materias primas

hasta la etapa de fabricación y transporte (“cradle-to-gate"). Además, busca ofrecer información transparente y verificable que permita a los actores involucrados comprender la huella ecológica del producto, apoyar prácticas de construcción sostenibles, facilitar comparaciones con otros productos similares y cumplir con estándares internacionales de evaluación ambiental como ISO 14025 y EN 15804.

De dicha información se lograron obtener 590 declaraciones de producto para conformar una base de datos en Excel (figura 5), lo cual sirvió como punto de partida para el proceso de desarrollo del plugin. Nótese que se reportan los equivalentes de kg de CO^2, la Energía Primaria Total Renovable (PERT) y la Energía Primaria Total No Renovable (PENRT) de cada uno de estos productos.

Nombre	DESCRIPCIÓN	kg Co2 Eq	PERT (MJ)	PENRT (MJ)
Acero - Alambre Pretensado Pf4	Cables de acero de alta resistencia y baja relajación, utilizados en la fabricación de elementos pretensados y	5,84E+02	1,62E+03	1,23E+04
Acero - Alambrón Para Mallazo Estructural	Productos largos de acero no aleado para construcción laminados en caliente procedentes de horno eléctrico: alambrón para la fabricación, por	1,00E+03	2,01E+03	1,94E+04
Acero - Cordón Plastificado P63	Los cordones (de 3 y 7 hilos) se emplea como principal materia prima el	9,24E+02	3,01E+03	2,46E+04
Acero - Cordones Desnudos P61 Y P62, Trenza Pc4	Los cordones (de 3 y 7 hilos) se emplea como principal materia prima el	6,09E+02	1,77E+03	1,30E+04
Acero - Malla Electrosoldada 4mm (kg)	La malla de acero de refuerzo se utiliza como dispositivo tensor en estructuras reforzadas. Estructuras de hormigón y mampostería armada para reforzar y	5,63E-01	1,51E+00	1,16E+01
Acero - Malla Electrosoldada 6mm (kg)	La malla de acero de refuerzo se utiliza como dispositivo tensor en estructuras reforzadas. Estructuras de hormigón y mampostería armada para reforzar y	5,63E-01	1,51E+00	1,16E+01

Figura 5. Información consignada en la base de datos de EPDs. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Desarrollo del plugin

Revit de Autodesk es un software de modelado que cumple con los criterios de la metodología BIM, adicionalmente permite a los programadores desarrollar aplicaciones para generar complementos (o plugins) por medio de Revit API (Application Programming Interface) usando lenguajes de programación como Visual Basic, C#, y Python. Para la presente investigación se empleó C# (pronunciado "si sharp" en inglés). Al plugin desarrollado se le dio el nombre de SIMULHE, a partir de las palabras SIMULación de Huella de carbono y Energía incorporada.

Apoyados en las herramientas BIM actuales, se desarrolló un complemento informático que permite fácil y rápidamente calcular la huella de carbono y la energía embebida en los elementos constructivos de un modelo BIM aplicando la sexta dimensión (sostenibilidad).

Los softwares BIM tienen una característica para los elementos que conforman el modelo 3D jerarquizados, como lo muestra la figura 6. Este fue el principal inconveniente, debido a que no se tenía claro en que parte de esta jerarquía anotar la información para aquellos elementos que no se disponía de datos a la mano de los EPDs.

Se presentaba un caos total al colocar la información de ciclo de vida en la jerarquía “Categoría”, puesto que puede estar compuesto por muchos materiales. Ejemplo tipo de esto es la categoría de “puerta”, ya que existen puertas de vidrio, madera, aluminio, acero, una mezcla entre ellos, con chapa, el tipo de chapa, si es de un ala, dos alas, corrediza, entre otros muchos factores.

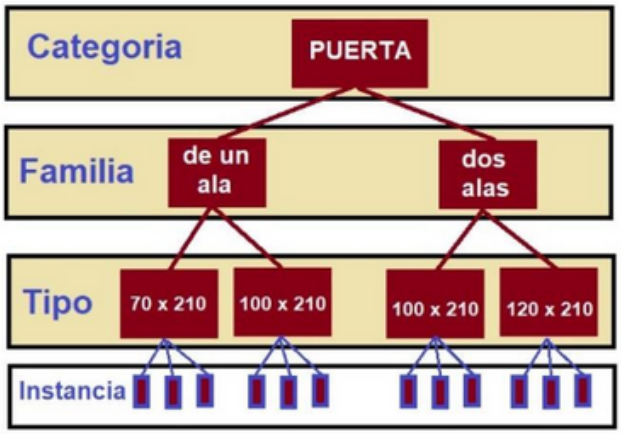


Figura 6. Jerarquía de los elementos del software BIM. Fuente: elaboración propia.

Debido a lo anterior, se decidió asociar la información del ciclo de vida a los materiales con los cuales estaba constituido el elemento. Actualmente existe una clasificación del ciclo de vida de los materiales usados en los edificios, como lo muestra la figura 7. En la presente investigación se tomó el ciclo de vida desde la cuna hasta la puerta, debido a que los proveedores llegan con sus productos hasta la obra.

Figura 7. Ciclo de vida de edificios (Campos_Cambra, 2023)

3. RESULTADOS

El plugin SIMULHE permite instalarse fácil y rápidamente en Revit v2022 como un complemento, como se puede apreciar en la

Los artículos completos serán revisados por el Comité Editorial de la revista CONSTRUCCION Y SOSTENIBILIDAD, en su cuarta edición, Se evaluará la innovación, relevancia, estado del arte, coherencia de títulos y desarrollo del cuerpo del artículo, así como el formato utilizado en esta plantilla.

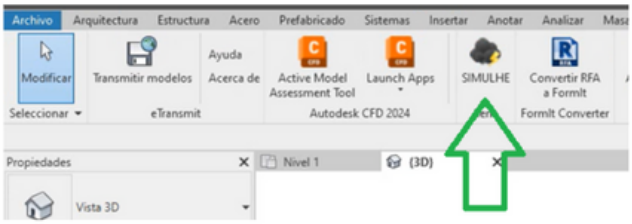


Figura 8. Plugin de SIMULHE instalado en Revit v2022

Dado que no todos los materiales permiten medirse bajo un mismo parámetro, el plugin permite calcular la huella de carbono y la energía incorporada de un material teniendo en cuenta:

- Volumen (m3), por ejemplo, arena
- Área (m2), por ejemplo, láminas de madera
- Longitud (m), por ejemplo, las tuberías o perfiles de aluminio
- Producto (unidades), por ejemplo, una lámpara, un escritorio.

Adicionalmente permite a cada uno de los materiales asociarle los valores de huella de carbono del transporte para llevarlos hasta la obra del edificio. El plugin incluye transporte aéreo, terrestre y fluvial. Esto dependerá de la ubicación del proveedor y la obra, y la topografía del terreno. Estas características se muestran en la figura 9.
El plugin se creó para ser operado de dos formas diferentes: la primera consiste en modelar un proyecto desde cero, y la segunda con un proyecto ya modelado.

También permite ver de forma alámbrica el material que se tiene dentro del mismo, por ejemplo, la figura 10 muestra que en el plugin se tiene resaltado la categoría cubierta, y en Revit, aparece de forma alámbrica la cubierta con los datos asociados de los valores totales de la huella de carbono y la energía total incorporada.

El plugin también permite crear datos para materiales que no estén incluidos en la base de datos, tanto monomaterial (un solo material) o multimaterial (varios materiales). Un ejemplo de este último podría ser un concreto especial, con una unidad de medida volumétrica (m3) que contiene:

- Cemento 20%
- Arena de concreto 40%
- Triturado 20%
- Agua 10%
- Total 100%

Obviamente los materiales incluidos en la lista anterior deberán tener sus datos en la base de datos del plugin. La figura 11 muestra este proceso.
Una ventaja muy importante es que, teniendo un material con dos proveedores diferentes, se puede evaluar la generación de gases de efecto invernadero de cada uno y, con base en esta información, tomar la decisión de compra de acuerdo con la relación precio/beneficio.

Figura 9. Unidades de medición de ciclo de vida de los materiales.

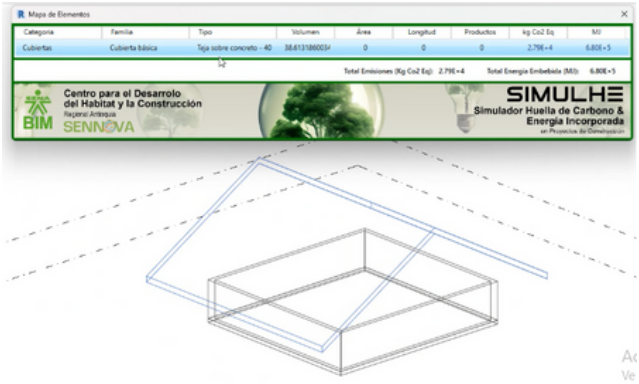


Figura 10. Forma inalámbrica de la cubierta mientras se resalta su categoría en SIMULHE.

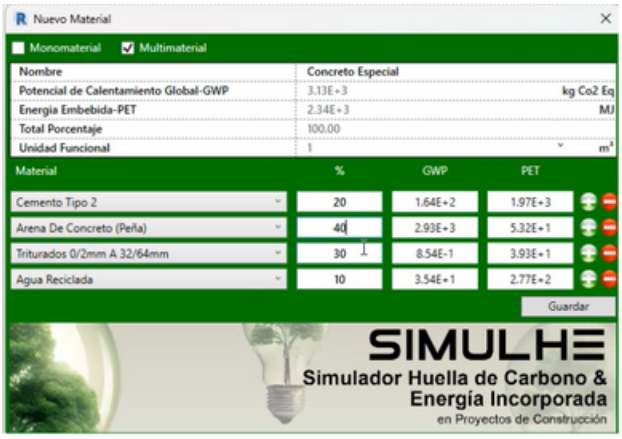


Figura 11. Ejemplo de diseño de un nuevo multimaterial de concreto

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la literatura consultada inicialmente, no se encontró ningún software BIM de modelado de edificios que calcule la huella de carbono y la energía embebida del modelo, mínimo usan dos softwares diferentes. En la presente investigación, el plugin desarrollado dentro del entorno Revit, no solo permite eso, sino que también ofrece la posibilidad de adicionar información de ciclo de vida de nuevos materiales, incluyendo el transporte de cada uno de ellos hasta la puerta de la obra. Otra ventaja es que no se tiene que comprar un software adicional, lo que ahorra costos.

Esto permite.

• Cálculo del ciclo de vida de los materiales del edificio mientras se modela

• Evaluación de impacto ambiental de un edificio.

• Reducción de emisiones de carbono al poder seleccionar materiales con un menor impacto ambiental.

• Uso eficiente de recursos.

• Ahorro de costos a largo plazo.

• Cumplimiento normativo ambiental.

• Se pueden obtener certificaciones de sostenibilidad.

• Se está contribuyendo a los objetivos globales de desarrollo sostenible.

• Tradicionalmente, estos cálculos han sido complejos, tediosos y, en muchos casos, inaccesibles para los profesionales del sector debido a la falta de herramientas especializadas y de fácil uso. Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de este plugin que simplifica este proceso, brindando a los arquitectos, ingenieros y gestores de proyectos las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas que favorezcan la sostenibilidad. Este tipo de herramienta no solo facilita el análisis de los impactos ambientales de los proyectos desde sus etapas iniciales y de operación, sino que también permite la identificación de oportunidades para el uso eficiente de los recursos y la reducción de las emisiones a lo largo del ciclo de vida de la construcción.

• Y, algo muy importante, crear conciencia dentro del sector de la construcción para fomentar el uso de materiales más amigables con el medio ambiente.

5. RECOMENDACIONES

El software creado es una primera versión, y es susceptible de ser mejorado. Algunas recomendaciones serían:

• Crear una plantilla dentro del plugin para adicionar datos de otros materiales. Esta primera versión utiliza Excel para almacenar datos.

• Incluir elementos MEP (Mechanical Electrical and Plumbing).

• Incluir variables adicionales que sean relevantes para el ciclo de vida del producto.

• Soportar modelos vinculados. La versión actual de SIMULHE calcula sobre el modelo central.

Referentes Bibliográficos

AENOR. (2024). Declaraciones ambientales de productos para edificación. AENOR. https://www.aenor.com/certificacion/certificacion-de-producto/declaraciones-ambientales-de-producto/productos-para-edificacion

Alwan, Z., & Jones, P. (2014). The importance of embodied energy in carbon footprint assessment. Structural Survey, 32(1), 49–60. https://doi.org/10.1108/SS-01-2013-0012

ANDI. (2022). La construcción será protagonista en el crecimiento económico de 2022. ANDI. https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17185-la-construccion-sera-protagonista-en-el#:~:text="El sector del acero ha,edificaciones creció 11%2C6%25

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Camacol, & One Planet built with care. (2018). Implementación de la Política Pública de Construcción Sostenible (primera ed). Tonos Gráficos.

Autodesk. (2016). Emisiones de carbono anuales. Autodesk Revit 2016. https://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ESP/?guid=GUID-5ABAE8B3-6660-44F7-8619-4647C22F86A7

Biswas, W. K. (2014). Carbon footprint and embodied energy assessment of a civil works program in a residential estate of Western Australia. International Journal of Life Cycle Assessment, 19(4), 732–744. https://doi.org/10.1007/s11367-013-0681-2

Campos_Cambra, A. (2023). Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de edificios: qué es y cómo calcularlo. ZeroConsulting. https://blog.zeroconsulting.com/análisis-ciclo-vida

Crippa, J., Araujo, A. M. F., Bem, D., Ugaya, C. M. L., & Scheer, S. (2020). A systematic review of BIM usage for life cycle impact assessment. Built Environment Project and Asset Management, 10(4), 603–618. https://doi.org/10.1108/BEPAM-03-2019-0028

de Araujo, A. F., de Proença Franco, M. S., Bezerra, C. G., Caldas, L. R., Hasparyk, N. P., & Toledo Filho, R. D. (2023). Whole Life Carbon (WLC) Assessment of Building Envelope with Bamboo Bio-Concrete Simulated in Tropical and Subtropical Climates. In RILEM Bookseries (Vol. 45, pp. 1000–1011). https://doi.org/10.1007/978-3-031-33465-8_77

Filimonau, V., Rosa, M. S., Franca, L. S., Creus, A. C., Ribeiro, G. M., Molnarova, J., Piumatti, R. G., Valsasina, L., & Safaei, A. (2021). Environmental and carbon footprint of tourist accommodation: A comparative study of popular hotel categories in Brazil and Peru. Journal of Cleaner Production, 328. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129561

García, C., Barrera, X., Gómez, R., & Suárez, R. (2015). El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21 (segunda ei). WWF-Colombia.

Ibañez, S., MSI, & Autodesk. (2021). Aplicación de cálculo de huella de carbono en un modelo BIM. Parte I. MSI Digital Builders. https://msistudio.com/aplicacion-de-calculo-de-huella-de-carbono-en-un-modelo-bim-parte-i/

Kouhirostamkolaei, M., Kouhirostami, M., Fenner, A. E., & Murphy, S. R. (2023). Calculating the Embodied and Operational Carbon Footprint in Concrete Buildings: A Case Study Simulation to Mitigate Carbon Footprint. ASCE Inspire 2023: Infrastructure Innovation and Adaptation for a Sustainable and Resilient World - Selected Papers from ASCE Inspire 2023, 1008–1017. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85179855229&partnerID=40&md5=ccf14391e56c0a6e989477f83316940a

Mazelli, R., Bohn, A., Zea Escamilla, E., Habert, G., & Bocco, A. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Two "Vegetarian

Architecture" Pavilions. In RILEM Bookseries (Vol. 45, pp. 982–999). https://doi.org/10.1007/978-3-031-33465-8_76

Naciones Unidas. (2023). COP26: Juntos por el planeta. Acción Por El Clima. https://www.un.org/es/climatechange/cop26

ONU. (2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/

Pardo, N. S., Penagos, G. L., & Acevedo, H. (2022). Environmental impacts associated with the carbon footprint and embodied energy of life cycle of a building in Medellín. Informes de La Construccion, 74(565). https://doi.org/10.3989/ic.82758

Rodríguez, L., Martínez, L., Panameño, R., París, O., Muros, A., Rodríguez, R., Javier, R., & González, C. (2023). LCA of the NZEB El Salvador building, a model to estimate the carbon footprint in a tropical country.

Journal of Cleaner Production, 408. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137137

Shadram, F., Johansson, T., Lu, W., & Olofsson, T. (2015). An Integrated BIM-Based Framework for the Energy Assessment of Building Upstream Flow. ICCREM 2015 - Environment and the Sustainable Building - Proceedings of the 2015 International Conference on Construction and Real Estate Management, 107–118. https://doi.org/10.1061/9780784479377.013

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., Shree, V., & Varun. (2011). Life cycle assessment of buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 871–875. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.008

Tapper, C. S. F., & Dokka, T. H. (2019). Powerhouse Telemark: A plus energy building with a low exergy heating and cooling system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 352(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/352/1/012056

The Internaional EPD System. (2023). The International EPD System. EPD. https://www.environdec.com/home

Implementación de modelos de aprendizaje |automático para predicción de abastecimiento de agua: un enfoque de pensamiento basado en el riesgo en la agroindustria

Diego Fernando Osorio Chávez
Ingeniero en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental. Especialización en Big Data e Inteligencia de Negocios. Especialización en Inteligencia Artificial, Especialización en Métodos y Técnicas de Investigación Social, Magister en Administración de Riesgos. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, dfosorio@sena.edu.co, Medellín.

RESUMEN

La gestión adecuada del recurso hídrico en las organizaciones es crucial para evitar consecuencias negativas, como la interrupción de operaciones por escasez de agua. Un enfoque sistemático y sostenible es imperativo para asegurar la continuidad y eficiencia empresarial, así como para proteger este recurso para las futuras generaciones. La falta de gestión eficiente del recurso hídrico podría desencadenar crisis catastróficas, lo que subraya la urgencia de actuar. El pronóstico del consumo de agua, especialmente mediante el análisis de series temporales, es fundamental para tomar decisiones informadas y gestionar eficazmente este recurso. Las empresas enfrentan el desafío de optimizar operaciones frente a la incertidumbre del suministro de agua, lo que hace vital la implementación de modelos de aprendizaje automático para la predicción precisa del consumo. Este artículo propone un enfoque basado en el riesgo y el uso de modelos de aprendizaje automático para desarrollar un sistema de alerta temprana, con el fin de anticipar y mitigar interrupciones en el suministro de agua, garantizando así la continuidad operativa y la gestión efectiva de este recurso vital.

Palabras clave: Gestión del agua, recurso hídrico, interrupción de operaciones, aprendizaje automático, alerta temprana, riesgo.

ABSTRACT

The proper management of water resources within organizations is critical to avoid negative consequences, such as operational interruptions due to water shortages. A systematic and sustainable approach is imperative to ensure business continuity and efficiency, while also safeguarding this resource for future generations. The absence of efficient water resource management could lead to catastrophic crises, underscoring the urgency of taking action. Forecasting water consumption, particularly through time series analysis, is crucial for making informed decisions and effectively managing this resource. Companies face the challenge of optimizing operations amid water supply uncertainty, making the implementation of machine learning models for accurate consumption prediction vital. This article proposes a risk-based approach and the use of machine learning models to develop an early warning system, aiming to anticipate and mitigate interruptions in water supply, thereby ensuring operational continuity and effective management of this vital resource.

Keywords: Water management, water resource, operational interruption, machine learning, early warning, risk.

1. INTRODUCCIÓN

La valoración del recurso hídrico dentro de las organizaciones es una tarea crítica que, si se maneja de manera deficiente, puede desencadenar una serie de consecuencias negativas. Entre estas, la más preocupante es el riesgo de interrupción de las operaciones debido a problemas de abastecimiento de agua, un escenario que ninguna empresa desea enfrentar. Este riesgo se magnifica al considerar la importancia del agua, un tesoro oculto que sostiene una amplia gama de actividades industriales. La materialización de estos riesgos a menudo se debe a debilidades dentro del sistema organizacional que no consideran adecuadamente la importancia de este elemento (Osorio, 2018)

Por lo tanto, es imperativo adoptar un enfoque de gestión sistemática y sostenible para el recurso hídrico, asegurando así la continuidad y eficiencia de la operación de las empresas, y a su vez, protegiendo este recurso vital para las generaciones futuras.

El estudio reciente realizado por Tehreem y Tzanakakis pone de relieve la urgencia y gravedad de la problemática relacionada con la gestión de las aguas subterráneas. Advierten que la falta de una gestión eficiente y la incapacidad para controlar la sobreexplotación de estos recursos podrían desencadenar crisis catastróficas en el futuro (Tehreem y Tzanakakis, 2024). Esta advertencia no solo destaca la importancia de abordar de manera sostenible el recurso hídrico, sino que también subraya la necesidad imperativa de actuar de inmediato. Como lo expresa Tehreem de manera elocuente, "Es hora de dejar de esperar", lo cual representa un llamado urgente a la acción para prevenir tales crisis y asegurar la sostenibilidad de nuestros recursos hídricos.

En este contexto, el agua subterránea desempeña un papel crucial en la industria, representando aproximadamente el 5% del uso mundial de agua (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, año de publicación, 2022). Su relevancia se destaca aún más al considerar que constituye el recurso principal para la producción de alimentos, siendo utilizado en un 67% del total destinado a este fin (Ferrovial, 2023).

Esta realidad resalta la importancia de contar con pronósticos precisos y confiables sobre el consumo de agua, que permitan establecer una relación clara entre la producción y el consumo de este recurso. Dichos pronósticos no solo son esenciales para evaluar la disponibilidad cuantitativa del agua, sino también para informar las decisiones y estrategias de gestión que garanticen su uso sostenible y equitativo (Wunsch et al. 2021).

Como señala Shen (2018), las ciencias relacionadas con el agua están adoptando cada vez más modelos de aprendizaje automático, lo que está generando una transformación en la forma en que se abordan los desafíos en las industrias tradicionales. Estos modelos ofrecen la capacidad de analizar las complejas relaciones entre las variables del sistema y los parámetros de los modelos de predicción, lo que se vuelve fundamental para una gestión más eficaz de los recursos hídricos en los modelos de producción.

Basándonos en lo mencionado anteriormente, el pronóstico del consumo de agua implica principalmente el análisis de series de tiempo. Según lo definido por Guizzardi et al. (2021), una serie temporal se describe como una secuencia de puntos indexados en orden cronológico, que abarca datos como producción diaria, horas de

proceso diarias, lecturas de parámetros climatológicos y consumo de agua.

Este proceso de pronóstico implica examinar datos históricos para prever valores futuros de la serie, lo que implica la utilización de patrones y tendencias identificados en los datos previos para estimar los valores futuros de la serie.

La importancia de prever los valores futuros del consumo de agua, como señala Guizzardi et al. (2021), radica en su capacidad para permitir a la organización de estudio establecer medidas de tratamiento necesarias, generar alertas tempranas, asignar recursos de manera eficiente y mejorar la eficiencia en los procesos.

Esta práctica no solo proporciona información crucial sobre tendencias y valores futuros de variables relevantes, sino que también se convierte en una característica crítica para el funcionamiento normal del sistema.

En el contexto empresarial actual, surge el desafío de cumplir con las expectativas de los clientes y proveedores, mientras que el suministro adecuado de agua se convierte en un factor limitante para la capacidad operativa. A pesar de la necesidad de un abastecimiento suficiente para alcanzar los objetivos actuales, este no garantiza una proyección precisa de la demanda a corto y mediano plazo. En estas circunstancias, la capacidad de optimizar las operaciones a mediano plazo se vuelve esencial para gestionar las reservas de agua y el uso eficiente de la capacidad instalada.

Estas empresas tienen como objetivo satisfacer la demanda de los consumidores de manera eficiente día tras día. Sin embargo, muchas de ellas dependen fundamentalmente del suministro de agua y operan sin emplear técnicas avanzadas de predicción del consumo. Esto las deja en una posición vulnerable, cubriendo su producción en un entorno de alta incertidumbre. Frente a esta realidad, la optimización de las operaciones a corto y mediano plazo emerge como una herramienta crucial para garantizar la continuidad de la producción y establecer una gestión eficaz de las reservas de agua. En este contexto, los métodos de aprendizaje automático enfrentan el desafío de procesar y agrupar los datos de consumo de agua, permitiendo que los modelos de aprendizaje profundo realicen predicciones con la mayor precisión posible.

Por ende, el enfoque del presente artículo se orienta hacia la implementación de modelos de aprendizaje automático con el propósito de desarrollar un sistema de alerta temprana ante posibles interrupciones en las operaciones de abastecimiento de agua. Este enfoque se fundamenta en un pensamiento basado en el riesgo, que reconoce la importancia de anticipar y gestionar los riesgos asociados a la disponibilidad y suministro de este recurso vital. La aplicación de modelos de aprendizaje automático ofrece una herramienta innovadora y eficaz para identificar patrones y tendencias en los datos, lo que permite prever de manera anticipada posibles escenarios de interrupción en el abastecimiento de agua y tomar medidas preventivas de forma proactiva. Este enfoque busca no solo mitigar los riesgos potenciales, sino también optimizar la gestión del recurso hídrico y garantizar la continuidad operativa en situaciones adversas.

Para lograr este propósito, se plantean una serie de objetivos específicos que guiarán el desarrollo y la implementación de dicho

modelo. En primer lugar, se busca comprender a fondo el negocio, reconociendo la importancia estratégica del abastecimiento de agua para garantizar la continuidad operativa y la satisfacción del cliente en la empresa. A partir de esta comprensión, se realizará un análisis exploratorio de datos, que incluirá tareas como limpieza, manejo de valores perdidos y eliminación de outliers, con el fin de comprender la naturaleza y la calidad de los datos disponibles.

Una vez comprendidos los aspectos del negocio y los datos disponibles, se procederá a la preparación de los datos, transformándolos de manera adecuada para su utilización efectiva en modelos de aprendizaje automático. Esta etapa es crucial para garantizar la calidad y la relevancia de los datos utilizados en el proceso de modelado.

El siguiente paso consistirá en experimentar con diferentes tipos de modelos y configuraciones, con el objetivo de identificar el modelo que mejor se ajuste a los datos y que tenga la capacidad de predecir con precisión posibles interrupciones en el abastecimiento de agua Este proceso estará respaldado por una evaluación rigurosa, que comparará y seleccionará el modelo óptimo basado en una métrica de evaluación apropiada. Finalmente, una vez seleccionado el modelo más adecuado, se procederá a su integración en un sistema de alerta temprana, que permitirá predecir y alertar sobre posibles interrupciones en el abastecimiento de agua de manera oportuna y eficiente. De esta manera, la implementación de esta metodología completa proporcionará a la organización las herramientas necesarias para gestionar de manera efectiva este recurso vital y garantizar la continuidad de sus operaciones.

2. METODOLOGIA

Con el objetivo de ofrecer una panorámica detallada de la metodología propuesta, en esta sección se exponen todos los procedimientos que se han desarrollado.

2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo, abordaremos una revisión de algunos estudios publicados sobre la predicción del consumo de agua, dichos enfoque se han divido en métodos estadísticos, de aprendizaje automático y de aprendizaje profundo.

2.1.1 Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos son ampliamente reconocidos por su simplicidad y facilidad de interpretación, lo que los convierte en herramientas valiosas en la toma de decisiones. Su capacidad para trabajar con conjuntos de datos relativamente pequeños los hace accesibles incluso en entornos con recursos limitados. Además, su tolerancia a los valores atípicos brinda estabilidad a las predicciones, lo que es fundamental en situaciones donde la precisión y la fiabilidad son esenciales. Esta combinación de características hace que los métodos estadísticos sean una opción atractiva para una variedad de aplicaciones, desde análisis de mercado hasta pronósticos climáticos y gestión de riesgos. A pesar de las ventajas que ofrecen los métodos estadísticos, su dependencia de supuestos simplificados limita su capacidad para capturar patrones complejos, especialmente en conjuntos de datos con relaciones no lineales. Además, los modelos estadísticos pueden exhibir una capacidad predictiva baja en comparación con métodos más avanzados como el aprendizaje profundo. Esto se debe a que losresultados de los modelos estadísticos pueden ser sensibles a sesgos cuando no se cumplen los supuestos subyacentes (Gil-Gamboa et al., 2024).

En su estudio titulado "Extended linear and non-linear auto-regressive models for forecasting the urban water consumption of a fast-growing city in an arid region" (2019), Mohammad y Mousavi-Mirkalaei abordan la predicción de series de tiempo en el contexto del consumo de agua urbana en una ciudad de rápido crecimiento en una región árida. Exploraron varios métodos, tanto lineales como no lineales, para abordar esta tarea crucial. Entre los métodos lineales, se destacan la media móvil integrado autorregresiva (ARIMA) y la media móvil autorregresivo (ARMA), mientras que, en el ámbito no lineal, se centran en la red neuronal artificial (RNA). Estos enfoques, aunque diferentes en su naturaleza y aplicación, comparten el objetivo común de prever el consumo de agua, proporcionando a los investigadores y responsables de políticas herramientas valiosas para la gestión sostenible de este recurso vital.

Por su parte, en su investigación realizada en 2014, Chang, Chen, Lu, Huang y Chang se concentraron en la predicción del nivel del agua para el control de inundaciones urbanas, empleando tanto modelos estáticos como dinámicos de redes neuronales artificiales (RNA). Sus hallazgos revelaron que el modelo NARX, un tipo específico de modelo de RNA, demostró ser particularmente efectivo en la predicción del nivel del agua. Este descubrimiento resalta la utilidad y el potencial de las RNA en la gestión de desastres naturales, proporcionando una herramienta valiosa para la prevención y mitigación de inundaciones urbanas.

2.1.2 Métodos de aprendizaje automático

Estos métodos se destacan por su capacidad de adaptación a los patrones cambiantes y su complejidad, generando como resultado automatización en sus procesos de predicción, y optimización en tiempo y recursos.

De igual forma, son escalables a grandes volúmenes de datos, sin embargo, entre sus desventajas, esta, por un lado, la ambigüedad en sus resultados, la sensibilidad a los datos atípicos y la complejidad en los ajustes de los hiperparámetros (Gamboa et al., 2024).

Por su parte, Karamaziotis, Raptis, Nikolopoulos, Litsiou y Assimakopoulos (2020) en su estudio "An empirical investigation of water consumption forecasting methods" exploraron siete modelos de pronóstico y técnicas de combinación para prever el consumo de agua a mediano plazo. Estas técnicas, que incluyeron métodos como ARIMA y suavizado exponencial, se combinaron utilizando enfoques como promedio simple, promedio ponderado y promedio recortado.

El método de promedio recortado, junto con ARIMA, se destacó como el más preciso en las predicciones. Estos hallazgos permitieron a las empresas de agua detectar posibles aumentos repentinos en la demanda en áreas específicas y tomar medidas preventivas para reducir el estrés en el sistema de distribución. Este estudio complementa la investigación anterior al ofrecer nuevas perspectivas sobre las metodologías de pronóstico del consumo de agua y su aplicabilidad en contextos vulnerables.

2.1.3 Métodos de aprendizaje profundo

En los últimos años, ha surgido un aumento significativo en el interés y la aplicación de algoritmos de aprendizaje profundo, especialmente en el contexto de la predicción utilizando series temporales. Este avance ha sido notable, ya que los algoritmos de aprendizaje profundo, en particular las redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM), han demostrado

ofrecer resultados notablemente mejorados en comparación con enfoques tradicionales. La capacidad de las LSTM para capturar y modelar patrones complejos a lo largo del tiempo ha sido fundamental para su éxito en una variedad de aplicaciones, incluida la predicción de series temporales. Esta popularidad creciente de los algoritmos de aprendizaje profundo ha abierto nuevas oportunidades para explorar y desarrollar enfoques más precisos y efectivos para la predicción y el análisis de datos temporales en una amplia gama de campos, desde las finanzas hasta la meteorología.

El estudio "Developing an LSTM model to forecast the monthly water consumption according to the effects of the climatic factors in Yazd", realizado por Niknam, Zare, Hosseininasab y Mostafaeipour (2023), ofrece una valiosa perspectiva sobre el potencial de las redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM) en la predicción de datos temporales. En su investigación, los autores resaltan la capacidad inherente de las LSTM para capturar y retener información relevante a lo largo del tiempo, lo que las convierte en una herramienta poderosa para pronosticar series temporales, particularmente en el contexto de la influencia de factores climáticos en el consumo mensual de agua en Yazd.

Al considerar el estudio de Niknam y sus colegas, se destaca la importancia de las LSTM en la modelización de datos complejos y dinámicos como el consumo de agua, que está intrínsecamente ligado a variables climáticas. Esta investigación no solo resalta el papel crucial de las LSTM en la predicción precisa de fenómenos ambientales, sino que también subraya la necesidad de comprender y adaptarse a las complejas interacciones entre factores climáticos y comportamientos de consumo de recursos naturales.

Otro ejemplo convincente de los avances en el uso de redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM) proviene del estudio realizado por Kuhnert, Gonuguntla, Krieh, Nowak y Thomas (2021). Estos investigadores analizaron meticulosamente datos provenientes de dos plantas de distribución de agua con el objetivo de evaluar y comparar el rendimiento de diferentes sistemas de predicción. Sus hallazgos revelaron de manera concluyente que las redes LSTM superan significativamente al sistema actualmente utilizado en empresas de agua. Al profundizar en su investigación, Kuhnert y su equipo no solo demostraron la eficacia de las redes LSTM, sino que también proporcionaron una visión crítica sobre cómo estos modelos pueden mejorar la gestión del recurso hídrico.

2.2 Formulación del problema

En esta sección, se establece la definición del problema de pronóstico y se describe el conjunto de datos que se empleará en la investigación. En primer lugar, se presenta el problema a abordar en la Sección 3.1, centrándose en las predicciones del consumo de agua en una empresa del sector agroindustrial. En segundo lugar, se proporciona una descripción detallada del conjunto de datos utilizado, acompañado de un análisis exploratorio de los datos en la Sección 3.2.

2.2.1 Definición del problema

El problema se centra en las predicciones de consumo de agua de una empresa agroindustrial que depende de un pozo profundo para su suministro hídrico, el cual es esencial para su proceso de producción. Específicamente, se busca predecir el consumo diario de agua utilizando datos históricos que incluyen el consumo pasado de agua, la cantidad de fruta procesada, las

horas de operación del proceso y las horas trabajadas. En este contexto, el objetivo es desarrollar un modelo predictivo que pueda estimar con precisión el consumo diario de agua en función de las variables mencionadas. Este modelo permitirá a la empresa planificar y gestionar de manera más eficiente su uso del recurso hídrico, optimizando así sus operaciones de producción y garantizando un suministro adecuado de agua para sus procesos industriales.

2.2.2 Datos

En el presente estudio, se ha llevado a cabo la recolección de datos en una empresa perteneciente al sector agroindustrial, centrando nuestra atención en el área de producción. Los datos recopilados abarcan una variedad de variables pertinentes a la producción, tales como la cantidad de racimos de fruto fresco, horas de proceso y las horas trabajadas. La recolección de datos se realizó desde el año 2020 hasta el 2024, proporcionando un marco temporal extenso que permite un análisis exhaustivo y detallado de las tendencias y patrones en el consumo de agua y otras variables de producción.

Paralelamente, se ha procedido a recoger información acerca del consumo de agua, la cual fue registrada por el departamento ambiental de la empresa. Adicionalmente, con el propósito de enriquecer nuestro análisis, se han obtenido datos climatológicos provenientes de una plataforma de la NASA. Esta integración de múltiples fuentes de datos nos ha permitido abordar de manera integral y holística la problemática en cuestión. En este estudio, se ha llevado a cabo un análisis estadístico completo que abarca tanto el promedio como la correlación entre diversas variables cruciales para la producción en una empresa agroindustrial, así como con el parámetro climatológico más relevante, la humedad relativa. Los datos recopilados incluyen el consumo de agua, la cantidad de frutos procesados, las horas de proceso y las horas trabajadas, además de la humedad relativa y otros parámetros climatológicos.

Al analizar los promedios y los valores máximos, se observa que el consumo promedio de agua es de aproximadamente 368.23 unidades, con un máximo de 1050 unidades. La cantidad promedio de frutos procesados es de alrededor de 276,359.83 unidades, alcanzando un máximo de 888,180 unidades. Las horas de proceso y las horas trabajadas promedian alrededor de 12.05 y 15.22 horas respectivamente, con valores máximos de 31 y 34 horas respectivamente. La humedad relativa promedio se sitúa en torno al 87.64%, con un máximo de 98.25%.

Además, al evaluar la correlación entre estas variables, se han identificado relaciones significativas. Por ejemplo, se observa una correlación positiva fuerte entre las horas de proceso y la cantidad de frutos procesados (0.968566), así como entre las horas trabajadas y las horas de proceso (0.910583). También se han encontrado correlaciones moderadas entre las horas de proceso y el consumo de agua (0.503318), y entre las horas trabajadas y el consumo de agua (0.467398). Finalmente, se ha identificado una correlación positiva moderada entre la humedad relativa y el consumo de agua (0.681422), sugiriendo una posible influencia del clima en el consumo de agua en la producción agroindustrial. Estos análisis proporcionan una visión completa y detallada de las relaciones entre las variables estudiadas, lo que puede ser fundamental para comprender y mejorar la eficiencia de las operaciones en la empresa agroindustrial. Basándonos en lo mencionado anteriormente, procedemos a

presentar de forma gráfica un análisis exploratorio de los datos reales utilizados en este estudio.

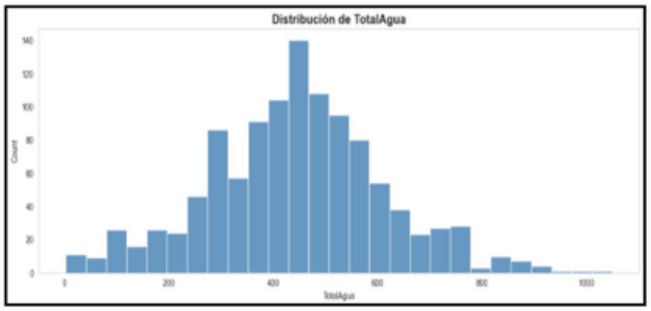


Figura 1. Distribución de Consumo Total Agua

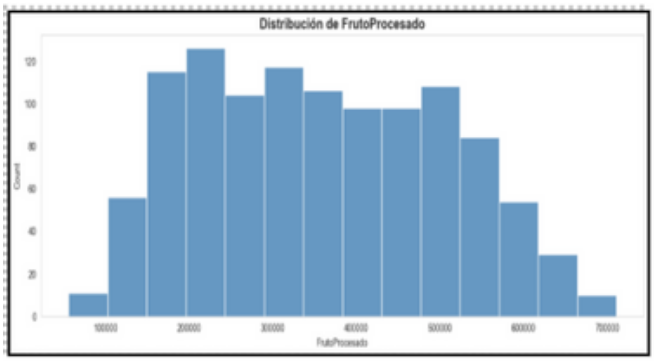


Figura 2. Cantidad de Fruto Procesado.

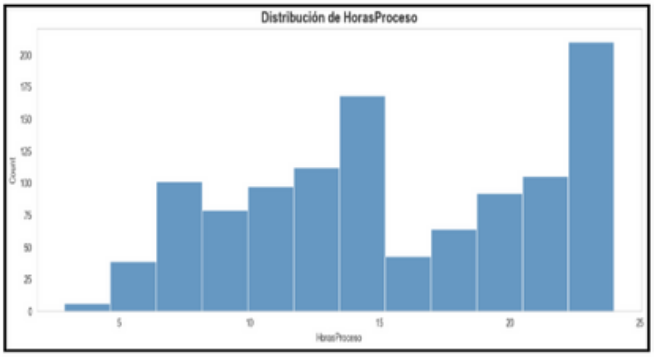


Figura 3. Distribución de Horas Proceso.

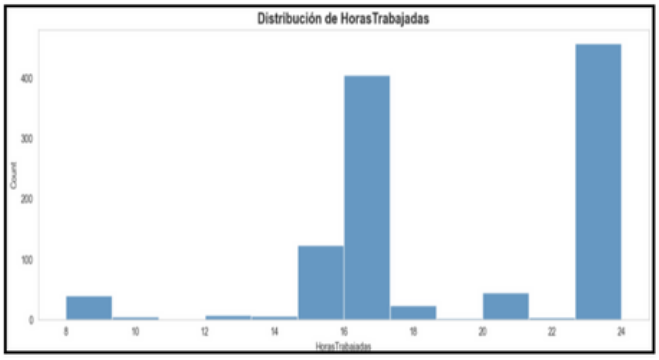


Figura 4. Distribución de Horas Trabajadas.

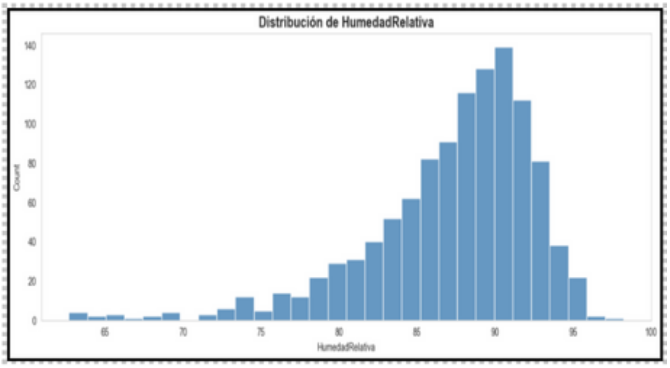


Figura 5. Distribución de Humedad Relativa

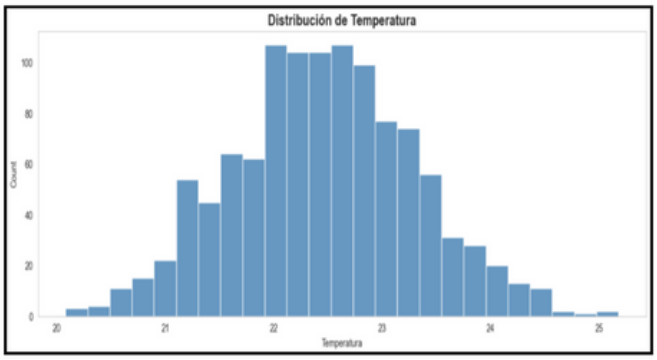


Figura 6. Distribución de Temperatura.

2.2.3 Procesamiento de datos

En la mayoría de las tareas de análisis de datos, es crucial realizar un preprocesamiento inicial para garantizar la calidad de las predicciones. Tras analizar los datos, se determinó que requerían un alto

nivel de preprocesamiento. En la mayoría de las tareas de análisis de datos, es esencial realizar un preprocesamiento inicial para garantizar la calidad de las predicciones.
Tras analizar los datos, se determinó que había una cantidad significativa de valores nulos. También se detectaron valores de consumo extremadamente pequeños, posiblemente errores de medición, los cuales fueron corregidos. Se aplicó un procedimiento de imputación de valores nulos y pequeños en los datos de consumo de agua. Posteriormente, se definieron las variables predictoras y la variable objetivo, y se empleó una técnica de ventana deslizante para suavizar los datos y reducir el ruido. Luego, los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y prueba. Se ajustó un modelo de Bosques Aleatorios para predecir el consumo de agua basado en las horas de proceso, horas trabajadas, frutos procesados y humedad relativa. Finalmente, se graficaron las predicciones del modelo frente a los valores reales para una comparación visual.

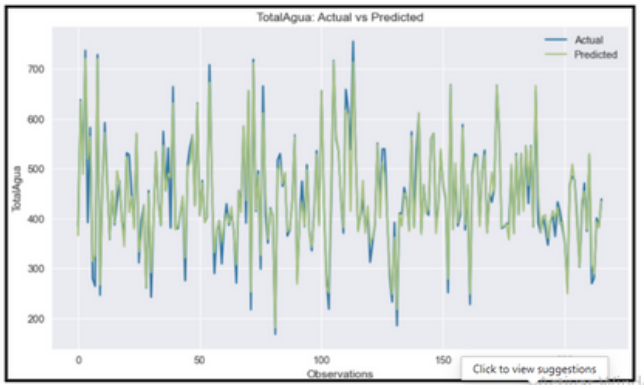


Figura 7. Modelo Random Forest Regressor

Después de ajustar el modelo de Bosques Aleatorios y calcular las métricas de evaluación, se procedió a comparar las predicciones del modelo con los datos reales de consumo de agua. La siguiente gráfica muestra esta comparación conjunta de datos de consumo de agua y las predicciones generadas por el modelo. Esto proporciona una visualización clara de la precisión del modelo al predecir el consumo de agua en función de las variables predictoras seleccionadas.

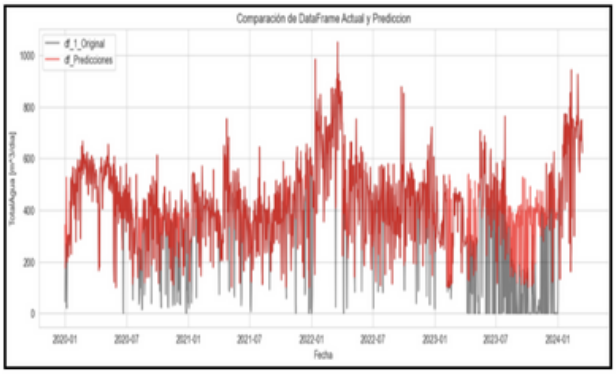


Figura 8. Grafica Predicciones del Modelo.

2.2.4 Selección y evaluación de modelos

Después del procesamiento de datos, se procedió a aplicar la metodología de Pycaret para la selección y evaluación de modelos, considerando la naturaleza de las series de tiempo en los datos. Este paso fue crucial para determinar el modelo más adecuado para predecir el consumo de agua en función de las variables disponibles. El proceso constó de las siguientes etapas: primero, se configuró el entorno de trabajo de Pycaret y se cargaron los datos procesados después del preprocesamiento; luego, se definió el experimento en Pycaret, incluyendo la variable objetivo y las variables predictoras, así como las métricas de evaluación a considerar; finalmente, se compararon varios modelos de aprendizaje automático disponibles en Pycaret utilizando un conjunto de métricas predefinidas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos. A continuación, se relaciona los resultados obtenidos:

Tabla 1. Consolidado de Modelos

Modelo	MASE	RMSSE	MAE	RMSE	MAPE	SMAPE	TT (Sec)
Auto ARIMA	0.3296	0.2451	37.3938	37.3938	0.0518	0.0535	37.7000
dt_cds_dt	0.4500	0.3347	51.0671	51.0671	0.0766	0.0726	0.0667
exp_smooth	0.5421	0.4032	61.5158	61.5158	0.0918	0.0931	0.3233
et_cds_dt	0.5944	0.4421	67.4412	67.4412	0.0969	0.1002	0.5667

Basado en los resultados obtenidos con el modelo Pycaret, se opta por trabajar con el modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) en este estudio. Esto se fundamenta en la comparación de métricas de evaluación entre los diferentes modelos considerados.

El modelo Auto ARIMA, con un MASE de 0.3296, RMSSE de 0.2451 y un MAE de 37.3938, muestra una buena capacidad para capturar los patrones y la variabilidad en los datos de series de tiempo. Aunque otros modelos como el Exponential Smoothing y Extra Trees with Conditional Deseasonalize & Detrending (et_cds_dt) ofrecen también un rendimiento aceptable, el ARIMA destaca por su equilibrio entre precisión y simplicidad, lo que lo hace adecuado para la modelización de datos temporales en este contexto específico.

Basado en los resultados obtenidos con el modelo Pycaret, se opta por trabajar con el modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) en este estudio. Sin embargo, considerando la naturaleza estacional de los datos y el desempeño competitivo del ARIMA, se decide avanzar hacia un modelo SARIMA (Seasonal ARIMA) para una modelización más precisa y adecuada. Para implementar el modelo SARIMA, se utilizó un procedimiento de backtesting. Se especificaron los parámetros del modelo SARIMA, incluyendo el orden y la componente estacional, y se realizaron las predicciones sobre los datos de consumo de agua. El rendimiento del modelo se evaluó utilizando la métrica de error porcentual absoluto medio (mean_absolute_percentage_error). Los resultados del backtesting proporcionaron información valiosa sobre la capacidad predictiva del modelo SARIMA y su idoneidad para este estudio. Se obtuvo una métrica de error porcentual absoluto medio (MAPE) con un valor de 0.3638, lo que indica un buen ajuste del modelo SARIMA con respecto a los datos de consumo de agua.Principio del formulario

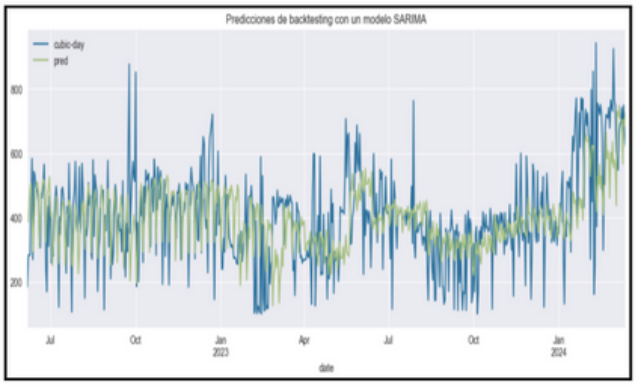
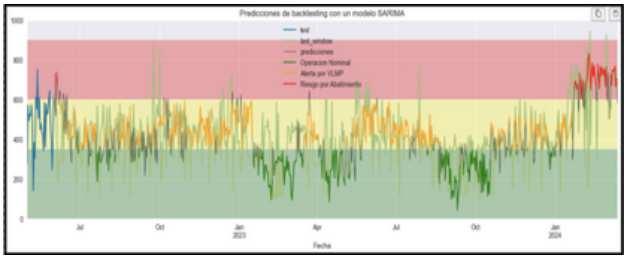


Figura 9. Resultado de Modelo SARIMA

Además, se llevó a cabo un análisis utilizando el método de backtesting para evaluar la eficacia del modelo SARIMAX en la predicción del consumo de agua, incorporando variables exógenas relevantes. Para este fin, se configuró el modelo SARIMAX con parámetros específicos, incluyendo un orden de (1, 1, 1) y una componente estacional de (1, 1, 1, 12). Utilizando datos de entrada como la cantidad de frutos procesados, las horas de proceso, la humedad relativa y la temperatura, se realizó el proceso de backtesting para evaluar el rendimiento del modelo.

Para una evaluación visual de las predicciones generadas por el modelo SARIMAX, se presenta la figura adjunta. En el gráfico, las líneas azules representan los datos reales de consumo de agua, donde la línea más clara muestra el último tramo del conjunto de datos. Las predicciones del modelo se superponen en el gráfico, mostrando diferentes colores para indicar distintos niveles de riesgo. Las áreas sombreadas en verde, amarillo y rojo representan zonas de operación nominal, alerta por volumen bajo de agua y riesgo por abatimiento respectivamente, con base en los niveles de predicción.



Final del formulario
Figura 10. Modelo SARIMA con variables endógenas.

2.2.5 Modelo Lstm

Para complementar la metodología de Pycaret, se desarrolló un modelo basado en una red neuronal de tipo LSTM (Long Short-Term Memory) con el objetivo de predecir el consumo de agua. Se seleccionaron las variables relevantes del dataset, que incluyen TotalAgua, FrutoProcesado, HorasProceso, HorasTrabajadas, HumedadRelativa y Temperatura, y se procedió a normalizar estos datos utilizando la técnica de Min-Max Scaling. Esta normalización es esencial para asegurar que los valores de las diferentes variables se encuentren en un rango comparable, facilitando el proceso de aprendizaje del modelo. Los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y prueba, asignando el 80% de los datos para el entrenamiento y el 20% restante para la prueba, permitiendo evaluar el desempeño del modelo en datos no vistos durante el proceso de entrenamiento. Dado que la predicción del consumo de agua es un problema de series temporales, los datos fueron transformados en secuencias mediante la creación de ventanas deslizantes que permiten al modelo LSTM capturar las dependencias temporales de los datos. Se construyó un modelo LSTM con una capa LSTM de 54 unidades y una capa densa de salida, compilado utilizando el optimizador Adam y la función de pérdida de error cuadrático medio (MSE). Durante el entrenamiento, se empleó la técnica de Early Stopping para evitar el sobreajuste, monitorizando la pérdida de validación y deteniendo el entrenamiento si esta no mejoraba después de cinco épocas consecutivas. Tras el entrenamiento, se evaluó el desempeño del modelo utilizando los datos de prueba. Se graficaron tanto las pérdidas durante el entrenamiento como las predicciones del modelo frente a los valores reales de consumo de agua.

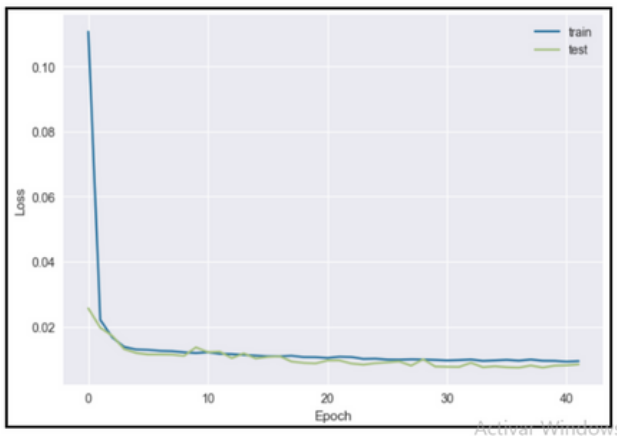


Figura 11. Modelo LSTM – Perdida y Validación

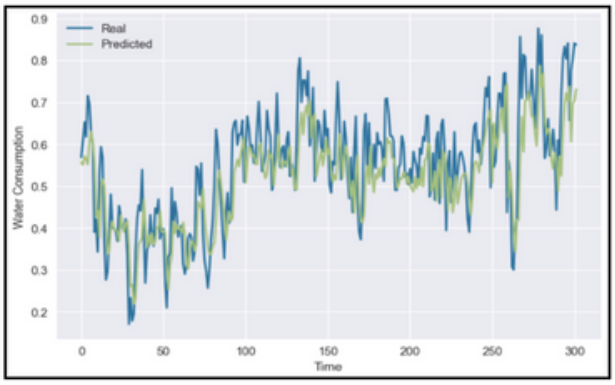


Figura 12. Modelo LSTM – Predicción

Adicionalmente, se desarrolló una función para realizar predicciones de consumo de agua utilizando nuevas entradas. Esta función normaliza los nuevos datos, crea una secuencia de entrada con la forma adecuada, realiza la predicción y luego invierte la normalización para obtener valores en la escala original. Se probó esta función con un ejemplo de nuevas entradas y se utilizaron los datos de prueba para validar la precisión de las predicciones. Esto permitió predecir el consumo de agua a partir de los datos proporcionados, demostrando la aplicabilidad práctica del modelo desarrollado y su capacidad de generalizar en diferentes contextos temporales.

3. RESULTADOS

En esta sección, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos por los modelos propuestos, comparando meticulosamente las métricas de error con las de otros métodos de predicción, como los bosques aleatorios, el modelo Sarimax y el modelo LSTM. Esta comparación permitirá una evaluación más profunda de la eficacia de cada modelo en la predicción del consumo de agua. Cada modelo será evaluado en función de su capacidad para capturar las complejidades de los datos de series temporales y proporcionar predicciones precisas y confiables. Además, se analizará cómo cada modelo se desempeña en términos de diversas métricas de evaluación, incluyendo el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), el Error Cuadrático Medio (MSE), el Error Absoluto Medio (MAE) y el coeficiente de determinación (R^2 Score). Este análisis proporcionará una visión holística de la idoneidad de cada modelo en el contexto específico de predicción del consumo de agua, destacando sus fortalezas y debilidades relativas.

3.1 Modelo Random Forest

Se realizaron cálculos exhaustivos de varias métricas de evaluación para analizar el rendimiento del modelo de Bosques Aleatorios en la predicción del consumo de agua. Entre las métricas consideradas se encuentran el Error Cuadrático Medio (MSE), el coeficiente de determinación (R2), el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE) y el Error Absoluto Medio (MAE).

Los resultados destacaron un MSE de 638.40, un R2 de 0.95, un MAE de 15.00 y un MAPE de 0.04. Estas cifras reflejan una predicción altamente precisa y confiable por parte del modelo.
El análisis del MAPE sugiere una precisión aceptable en las predicciones del modelo en comparación con los valores reales de consumo de agua.

El modelo Random Forest demostró ser excepcionalmente efectivo, obteniendo el menor valor de MAPE (0.0382) y el mayor valor de R2 (0.9476). Estos resultados indican que Random Forest es el más preciso en sus predicciones y el mejor en explicar la variabilidad de los datos. Su capacidad para capturar pequeñas variaciones en el consumo de agua lo convierte en una opción confiable y robusta para tareas de predicción.

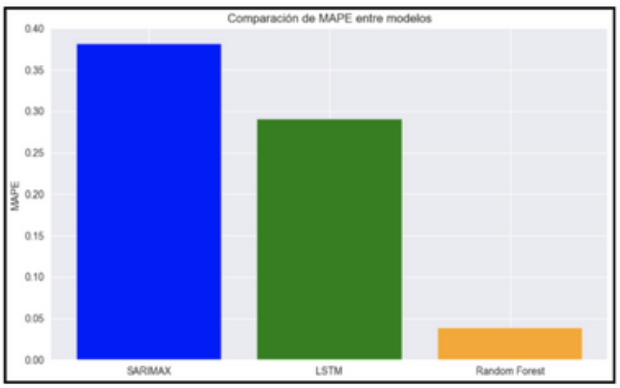


Figura 13. Métrica MAPE – Predicción

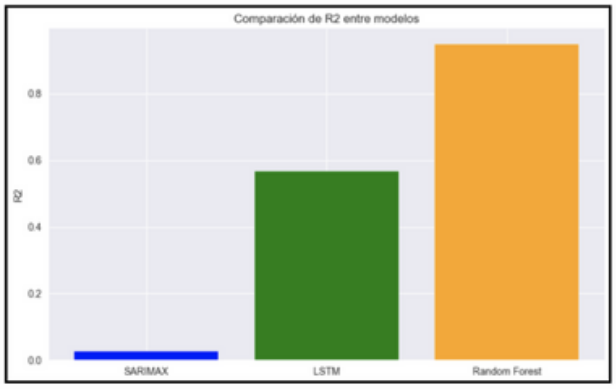


Figura 14. Métrica R2 – Predicción

Estos hallazgos consolidan la eficacia del enfoque de Bosques Aleatorios en la predicción precisa del consumo de agua.

3.2 Modelo Sarimax

Los resultados de la evaluación del modelo SARIMAX revelaron un MAPE de 0.3810, indicando una precisión razonable en las predicciones en comparación con los valores reales de consumo de agua. Esta métrica refleja el error porcentual medio absoluto entre las predicciones del modelo y los valores observados, lo que sugiere una buena capacidad del modelo para capturar las variaciones en los datos de series temporales. Durante el backtesting del modelo, se obtuvieron métricas adicionales que proporcionan una visión más completa de su rendimiento. El MSE del backtest fue de 22509.398, lo que indica la magnitud del error cuadrático medio entre las predicciones y los valores reales. Por otro lado, el MAE del backtest fue de 116.234, representando el error absoluto medio entre las predicciones y los valores reales. Además, el R2 del backtest fue de 0.0260, lo que indica que el modelo explica una pequeña proporción de la variabilidad en los datos de consumo de agua. Estas métricas complementarias ofrecen una evaluación más detallada del desempeño del modelo SARIMAX en la predicción del consumo de agua, destacando su capacidad para generar pronósticos precisos y confiables.

El modelo SARIMAX, aunque útil para capturar tendencias en series temporales, mostró un desempeño inferior en todas las métricas evaluadas. Con un MAPE de 0.3810, MSE de 22509.398, MAE de 116.234 y R2 de 0.0260, sus resultados indican una capacidad predictiva limitada en comparación con Random Forest y LSTM.

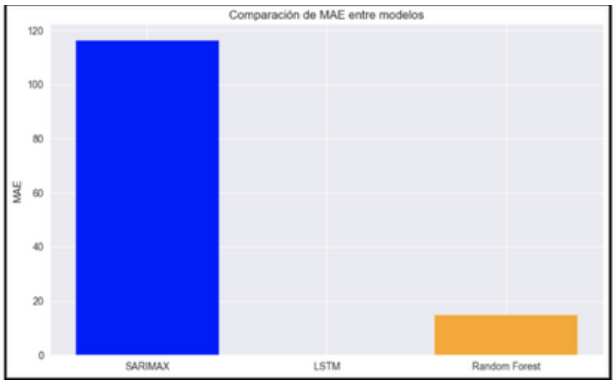


Figura 15. Métrica MAE – Predicción

Estos resultados sugieren que, si bien SARIMAX puede ser útil en ciertos contextos, no es la opción más robusta para la predicción precisa del consumo de agua.

3.3 Modelo LSTM

El análisis de los resultados del modelo LSTM revela una capacidad aceptable para predecir el consumo de agua. Utilizando

varias métricas de evaluación, se encontró que el modelo obtuvo un MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) del 29.04%, lo que indica un nivel de precisión razonable en sus predicciones. Además, el modelo presentó un MSE (Error Cuadrático Medio) de 0.0084 y un MAE (Error Absoluto Medio) de 0.0732. Estas métricas complementan el MAPE y respaldan la capacidad del modelo para predecir el consumo de agua con cierta precisión. El coeficiente de determinación (R2 Score) del modelo fue de 0.567, lo que indica que el modelo explica adecuadamente la variabilidad de los datos de consumo de agua. Aunque el MAPE refleja un margen de error, las gráficas de comparación entre las predicciones del modelo y los valores reales muestran una consistencia considerable, respaldando la capacidad del modelo para capturar tendencias y patrones en los datos de consumo de agua.

Se destaca la necesidad de continuar refinando el modelo mediante técnicas adicionales de optimización y ajuste de hiperparámetros para mejorar aún más su precisión predictiva.

	FrutoProcesado	HorasProceso	HorasTrabajadas	HumedadRelativa	Temperatura	Predicción del consumo de agua	Alerta Temprana
0	650	23	23	82	29	689.777458	Riesgo por Abatimiento
1	700	24	24	80	30	758.705902	Riesgo por Abatimiento
2	300	18	20	65	24	382.665189	Alerta por SCADA
3	720	23	23	78	31	822.699246	Riesgo por Abatimiento
4	680	18	23	75	32	881.453869	Riesgo por Abatimiento
5	630	24	24	81	25	427.997419	Alerta por SCADA
6	610	24	24	79	30	759.168977	Riesgo por Abatimiento
7	390	18	21	76	22	249.239075	Operación Nominal
8	730	24	24	77	31	824.959806	Riesgo por Abatimiento
9	670	24	24	76	32	889.133215	Riesgo por Abatimiento
10	640	18	23	83	27	554.611701	Alerta por SCADA
11	390	24	24	61	30	763.066718	Riesgo por Abatimiento
12	610	22	22	84	28	620.288602	Riesgo por Abatimiento
13	725	18	22	79	31	816.849208	Riesgo por Abatimiento
14	675	20	22	74	32	882.274866	Riesgo por Abatimiento
15	320	18	22	60	25	448.835458	Alerta por SCADA
16	710	22	22	78	30	755.949426	Riesgo por Abatimiento
17	380	18	20	67	23	320.902181	Operación Nominal
18	735	24	24	76	31	825.158784	Riesgo por Abatimiento
19	665	22	22	75	32	884.509888	Riesgo por Abatimiento

Figura 13. LSTM – Predicción

El modelo LSTM, por otro lado, mostró su fortaleza en términos de error cuadrático medio (MSE) y error absoluto medio (MAE), con los valores más bajos (0.0084 y 0.0732 respectivamente). Este rendimiento destaca la capacidad del LSTM para generar predicciones precisas y consistentes, minimizando tanto los errores de magnitud como los errores absolutos. Sin embargo, su MAPE es mayor en comparación con Random Forest, lo que sugiere que, aunque es excelente en reducir los errores absolutos, podría no ser tan preciso en términos porcentuales.

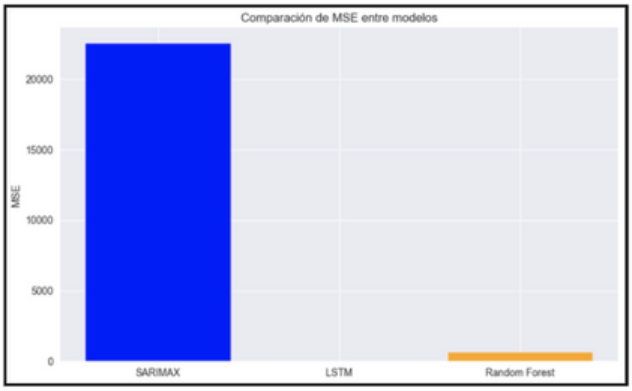


Figura 16. Métrica MSE – Predicción

4. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los modelos SARIMAX, LSTM y Random Forest para la estimación del consumo de agua ha revelado diferencias significativas en sus capacidades predictivas. Cada modelo fue evaluado en términos de MAPE, MSE, MAE y R2, proporcionando una visión integral de su rendimiento.

Basándonos en los resultados obtenidos, se recomienda utilizar el modelo Random Forest para la estimación del consumo de agua. Su alta precisión, reflejada en el bajo MAPE y alto R2, junto con su capacidad para explicar la mayor parte de la variabilidad en los datos, lo convierten en la opción más confiable y robusta. Sin embargo, el modelo LSTM también se presenta como una alternativa viable, especialmente si se busca minimizar los errores absolutos. El modelo SARIMAX, aunque menos preciso, puede seguir siendo útil en escenarios donde la captura de tendencias temporales sea de mayor importancia.

REFERENCIAS

Chang, F. J., Chen, P. A., Lu, Y. R., Huang, E., & Chang, K. Y. (2014). Real-time multi-step-ahead water level forecasting by recurrent neural networks for urban flood control. Journal of Hydrology, 517, 836-846.

Gil-Gamboa, A., Paneque, P., Trull, O., & Troncoso, A. (2024). Medium-term water consumption forecasting based on deep neural networks. Expert Systems with Applications, 247, 123234.

Guizzardi, A., Pons, F. M. E., Angelini, G., & Ranieri, E. (2021). Big data from dynamic pricing: A smart approach to tourism demand forecasting. International Journal of Forecasting, 37(3), 1049-1060.

Kühnert, C., Gonuguntla, N. M., Krieg, H., Nowak, D., & Thomas, J. A. (2021). Application of LSTM networks for water demand prediction in optimal pump control. Water, 13(5), 644.

Niknam, A., Zare, H. K., Hosseininasab, H., & Mostafaeipour, A. (2023). Developing an LSTM model to forecast the monthly water consumption according to the effects of the climatic factors in Yazd, Iran. Journal of Engineering Research, 11(1), 100028

Osorio Chavez, D. F. (2018). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en cuatro instituciones educativas públicas de dos municipios del norte del Valle de Aburrá: Barbosa y Copacabana. [Master's thesis, Maestría en Administración de Riesgos].publicado en repositorio EAFIT https://hdl.handle.net/10784/13412.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Las aguas subterráneas tienen un papel principal en la agricultura de riego, la ganadería y el procesamiento de alimentos.

Shen, C.: A Transdisciplinary Review of Deep Learning Research and Its Relevance for Water Resources Scientists, Water Resour. Res., 54, 8558–8593, https://doi.org/10.1029/2018WR022643, 2018. a, b

Tehreem, H. S., Anser, M. K., Nassani, A. A., Abro, M. M. Q., & Zaman, K. (2020). Impact of average temperature, energy demand, sectoral value added, and population growth on water resource quality and mortality rate: it is time to stop waiting around. Environmental Science and Pollution Research, 27, 37626-37644.

Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. Water, 12(9), 2347.

UNESCO: Los recursos mundiales de aguas subterráneas están sufriendo por una mala gobernanza, (2012).

Wunsch, A., Liesch, T., & Broda, S. (2021). Groundwater level forecasting with artificial neural networks: a comparison of long short-term memory (LSTM), convolutional neural networks (CNNs), and non-linear autoregressive networks with exogenous input (NARX). Hydrology and Earth System Sciences, 25(3), 1671-1687.

Problemáticas en el ejercicio de los consejos de administración en propiedades horizontales residenciales del valle de Aburrá

Natalia Restrepo Ruiz,
Abogada especialista. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. nataliarestreporuiz@gmail.com . Medellín

Marco Alberto Pérez Jácome
Abogado, Tecnólogo de Gestión en Propiedad Horizontal. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. mjacomeabogado@gmail.com Medellín.

Andrés Felipe Grajales Molina
Tecnólogo en Producción. Tecnólogo de Gestión de la Propiedad Horizontal. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. andresgm2012@gmail.com. Medellín.

Jhon Darwin Jiménez Ramírez
Químico Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, jdjimenezrsena.edu.co, Medellín.

Gabriel Andrés Barrera González
Ingeniero De Sistemas. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. gbarrerag@sena.edu.co. Medellín.

RESUMEN

Ser propietario de un inmueble que esté sometido al régimen de propiedad horizontal (PH) conlleva compromisos, entre ellos, elegir los miembros del consejo de administración. El consejo de administración de las propiedades horizontales residenciales constituye el objeto de estudio. Su objetivo principal fue diagnosticar las problemáticas en la ejecución de las funciones de este órgano administrativo, especialmente aquellas que afectan su adecuado desempeño, igualmente, es fundamental delimitar las funciones de los administradores para evitar la extralimitación de roles entre ambos órganos administrativos. Para identificar las problemáticas, se empleó una metodología mixta (cuali-cuantitativa) de alcance descriptivo. Se encuestó a 105 consejeros y 28 administradores del Valle de Aburrá. Los resultados se procesaron y analizaron mediante técnicas estadísticas. Además, se consultó la doctrina, la jurisprudencia (sentencias) y la normatividad vigente aplicable al Régimen de Propiedad Horizontal en Colombia.

El análisis de la información reveló que las principales problemáticas en el ejercicio de los Consejos de Administración son, por una parte, el desconocimiento normativo (relacionado con sus funciones y las normas de PH), y por otra, el abuso de las funciones.

Palabras clave: funciones, propiedad horizontal, inmuebles, consejo de administración, administrador, coadministración.

ABSTRACT

Being the owner of a property subject to the Horizontal Property regime (HP) entails commitments, among them, the election of the members of the Board of Directors. The Board of Directors of residential HP is the subject of study in this research, whose main objective is to diagnose the problems in the actions of this administrative body in relation to situations contrary to the proper development of its functions. It is also important to define the functions of the administrators in order not to transgress the activities carried out by either administrative member. In order to identify the problems, a qualitative-quantitative descriptive methodology was used; where 105 administrative counselors and 28 administrators of the Aburrá Valley were surveyed, the results were plotted and analyzed from probabilistic statistical processes. In addition, different doctrines, sentences, and norms applied to the Horizontal Property Regime in Colombia were addressed.

Once the above information was analyzed, the conclusions about the problems in the exercise of the Boards of Directors include, on the one hand, the ignorance of the regulations (ignorance of their functions and of the norms that regulate horizontal property) and, on the other hand, the abuse of their functions.

Key words: functions, horizontal property, real estate, board of directors, administrator, co-administration.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Relevancia

La construcción en altura de edificaciones en desarrollo horizontal y rascacielos ha tenido un crecimiento acelerado en Colombia; este fenómeno no es ajeno al Valle de Aburrá, donde se agrupan los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Medellín, con una gran densificación por el claro agotamiento del suelo urbanizable aunado a la migración de la población rural, motivados por el desarrollo de las urbes, en servicios de salud, educación, oportunidades de empleo, o en general, por la necesidad de mejorar la calidad de vida.

En Medellín, por ejemplo, más del 55% de su población (según cifras del DANE conforme al censo de 2018) vive en apartamentos, los cuales constituyen las propiedades horizontales. Siendo el suelo un recurso valioso y escaso, es necesario su aprovechamiento a través de propiedades horizontales, las cuales son básicamente un grupo de bienes inmuebles "privados" que poseen áreas y espacios "comunes".

1.2 Antecedentes

La propiedad horizontal en Colombia, en materia normativa, tiene como génesis la Ley 182 de 1948. En esta norma se establece esta forma especial de dominio, donde existen propietarios de bienes privados que, a la vez, son comuneros frente a unos bienes de propiedad de todos; de igual manera, esta primera regulación crea la figura de Asamblea de Copropietarios y del Administrador, como dos roles que fungen el papel de dirección y administración, pero se limita a indicar que su funcionamiento estará dado en el reglamento que se cree para cada propiedad horizontal, resultando destacable que la norma en ese momento no determinaba que dicho tipo de propiedad constituya una persona jurídica, ni indicaba la existencia de otros órganos de dirección o administración.

Posteriormente, con la expedición de la Ley 16 de 1985, se crea una dualidad de regímenes de propiedad horizontal, al establecer un nuevo precepto sin derogar la norma anterior. En esta norma ya se indicaba cómo se integraba la Asamblea General de Propietarios y que el administrador sería el representante legal, señalando expresamente que estos son los órganos de gobierno dentro de la Propiedad Horizontal. Por otro lado, el Decreto 1365 de 1986 reglamentario de las leyes 182 de 1948 y 16 de 1985, señala de manera detallada las funciones de la Asamblea General de Copropietarios.

Por su parte, en 1998 se expidió la Ley 428, cuya aplicación es precisada por la Corte Constitucional (2000) al señalar "se trata de una regulación aplicable a toda clase de construcciones que compartan elementos constructivos y estructurales, con el objeto de integrarlas al entorno urbano". En esta norma, el artículo 32 señala como autoridades internas la asamblea de copropietarios, la junta administradora y el administrador de la unidad, y precisa que la junta administradora está "conformada democráticamente por los copropietarios o moradores que tendrán los derechos previstos en los reglamentos de la respectiva Unidad Inmobiliaria."

En el Proyecto de Ley 136 de 1999, que es el origen de la Ley 675 de 2001, se estableció entre los caracteres informantes del proyecto, la creación del "consejo de administración en edificios o conjuntos de uso comercial o mixto". Hoy, la Ley 675 de

2001 sigue regulando las propiedades horizontales en Colombia y de manera expresa derogó los anteriores regímenes y leyes mencionadas. Así las cosas, en materia normativa, el único antecedente de la regulación actual de los Consejos de Administración son las denominadas Juntas Administrativas o Administradoras (Ley 428 de 1998), las cuales ya para el año 2001 también se encontraban creadas en algunos reglamentos de propiedad horizontal (RPH).

La Ley 675 de 2001, en su artículo 53, consagra la obligatoriedad de los Consejos de Administración solo en las copropiedades mixtas y comerciales que estén "integrados por más de treinta (30) bienes privados excluyendo parqueaderos o depósitos". La norma deja al arbitrio del propietario inicial (generalmente el constructor) su consagración en los reglamentos de propiedad horizontal en caso de tener un número inferior o de tratarse de propiedades horizontales de tipo residencial, lo que se conoce como libertad potestativa del creador del reglamento.

A su vez, el ordenamiento no detalla claramente cómo funciona dicho órgano, pues solo se indica en el artículo 55, que sus funciones son: "tomar las determinaciones necesarias en orden a que la persona jurídica cumpla sus fines, de acuerdo con lo previsto en el reglamento de propiedad horizontal." (subraya fuera de texto), esto se complementa con otras funciones que son asignadas de manera indirecta cuando se mencionan las funciones de la asamblea de copropietarios o del administrador. Frente a la conformación del Consejo de Administración, se establece que este se constituye por un número impar de tres (3) o más propietarios o delegados de unidades privadas. Entonces, al momento de crear el reglamento en las propiedades horizontales residenciales, recae sobre el propietario inicial no solo la discrecionalidad de instituir un Consejo de administración, sino también la de definir las funciones que le son asignadas y el número de propietarios que participan.

Por otra parte, resulta importante destacar que, a hoy, la Ley 675 de 2001 ya tiene más de 20 años de expedición y se han presentado varias iniciativas legislativas ante el Congreso de la República con miras a actualizar la norma. En el año 2015, por ejemplo, se presentó el Proyecto de Ley 022 de 2015 (acumulado con el Proyecto de Ley 120 de 2015) que intentó regular la idoneidad para el cargo de administrador y disponía, adicionalmente, la exigencia de una capacitación mínima de 4 horas a los miembros de los consejos de administración; sin embargo, este proyecto no fue aprobado.
Posteriormente, se presentaron los Proyectos de Ley 301 de 2020 en la Cámara y el 511 de 2021 en el Senado. Aunque tampoco lograron ser aprobados, estos dejaban en evidencia la necesidad de regular los Consejos de Administración al determinar funciones y fijar prohibiciones.

1.3. Definición del problema

Conociendo la importancia de los consejos de administración (dado que su quehacer impacta directamente en la calidad de vida y la valorización del bien privado de los habitantes del Valle de Aburrá), resulta relevante analizar y estudiar dicho órgano colegiado para conocer sus necesidades y problemáticas.

1.4. Objetivos

El aporte de esta investigación permite recordar el conocido aforismo que se le

atribuye a William Thomson Kelvin: “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre”; conviene diagnosticar las problemáticas en el ejercicio de las funciones de los Consejos de Administración en propiedades horizontales residenciales en el Valle de Aburrá, dado que una mayor comprensión de su quehacer y la medición de los aspectos más problemáticos en el ejercicio de dicho rol, permite iniciar a procesos de mejora.

2. METODOLOGÍA

La investigación se enmarca en un enfoque descriptivo con características cualitativas y cuantitativas (o enfoque mixto), examinando los datos proporcionados por los consejos de administración y los administradores de diversas propiedades horizontales ubicadas en el Valle de Aburrá.

El diseño metodológico es de campo, ya que la información se obtiene directamente de los actores involucrados, lo que garantiza la autenticidad de los datos al presentar los hechos reales sin alterar las respuestas de los encuestados.

La determinación de los participantes para el desarrollo del instrumento de recolección de información se considera de selección intencionada y de aleatoriedad parcial, con el objetivo de garantizar representatividad y relevancia en los resultados obtenidos. Estos fueron seleccionados bajo condiciones que permiten incluir a administradores y representantes de los consejos de propietarios que, por su trayectoria, experiencia o conocimiento directo en el funcionamiento de los consejos de administración de propiedades horizontales residenciales del Valle de Aburrá, pudieran proporcionar información crítica, contextualizada y precisa respecto a las problemáticas en cuestión.

Población y muestra

La población objetivo está compuesta por administradores y consejos de administración de propiedades horizontales en el Valle de Aburrá. El tamaño muestral se determinó mediante un muestreo aleatorio simple, el cual, según Martínez Ciro (2012), ofrece igualdad de oportunidades a cada unidad de la población para ser seleccionada.

Para los Consejos de Administración:

Tamaño poblacional: 16.000
Error permitido: 9,2%
Nivel de confianza: 94%
Heterogeneidad: 50%
Tamaño muestral: 105

Para los Administradores:

Tamaño poblacional: 16.000
Error permitido: 16%
Nivel de confianza: 90%
Heterogeneidad: 50%
Tamaño muestral: 27

Los cálculos fueron realizados con la herramienta Netquest para garantizar representatividad estadística.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó la técnica de la encuesta mediante dos cuestionarios estructurados, diseñados específicamente para los consejos de administración y los administradores. Las preguntas de los cuestionarios fueron elaboradas y seleccionadas tras un análisis

de la literatura relacionada, incluyendo estudios previos clave sobre el tema, con el fin de asegurar que fueran útiles, pertinentes y apropiadas para los objetivos de la investigación.
Las preguntas, de tipo mixto (abiertas y cerradas), permitieron captar información detallada y relevante. El diseño de los cuestionarios buscó cubrir aspectos clave de la administración de propiedades horizontales, proporcionando una visión integral de las funciones y desafíos enfrentados por los actores involucrados.

Procesamiento y análisis de datos

Tras la recolección de datos, se realizó un proceso de tabulación, análisis estadístico e interpretación de los resultados. Este análisis permitió identificar patrones, tendencias y áreas clave para la administración de propiedades horizontales.

De los cuestionarios (que incluyeron 22 preguntas para los consejos de administración y 17 para los administradores), se seleccionaron aquellas que ofrecían mayor relevancia para el análisis riguroso y pertinente de la investigación.

3. RESULTADOS

Se llevaron a cabo dos tipos de encuestas dirigidas a los miembros del consejo de administración y a los administradores de propiedades horizontales. El análisis de las respuestas obtenidas permitió identificar los siguientes hallazgos en cada grupo encuestado.

Los resultados obtenidos a través de las encuestas realizadas a los miembros del consejo de administración de la propiedad horizontal revelan importantes aspectos sobre las capacidades, el conocimiento normativo y la familiaridad de los actores involucrados con la normativa y reglamentación de las propiedades horizontales

3.1. Capacidad para asumir funciones del administrador:

El 55,2% de los encuestados expresó que no se siente en capacidad de asumir las funciones del administrador en caso de que este no pueda continuar en su cargo, lo que evidencia una brecha en términos de preparación y disposición para asumir responsabilidades administrativas. En contraste, el 44,8% manifestó estar dispuesto a asumir dichas funciones, lo que representa un grupo significativo con potencial para enfrentar este tipo de escenarios.

3.2. Conocimiento sobre la Ley 675 de 2001:

Los encuestados presentan opiniones divididas respecto al conocimiento de la Ley 675 de 2001, normativa fundamental para la gestión de propiedades horizontales. El 56,2% considera que tiene conocimiento sobre esta ley, mientras que el 43,8% manifiesta desconocimiento. Estos resultados resaltan la necesidad de promover una mayor difusión y comprensión de esta legislación entre los actores clave de las propiedades horizontales.

3.3. Conocimiento del Reglamento de Propiedad Horizontal:

Un 89,5% de los encuestados indicó que conoce el Reglamento de Propiedad Horizontal de su copropiedad, demostrando un alto nivel de familiaridad con este

documento normativo interno. Sin embargo, un 10,5% afirmó desconocerlo, lo que sugiere oportunidades para fortalecer la comunicación y el acceso a esta información en las comunidades.

Por lo tanto de manera general los datos indican la existencia de brechas significativas en términos de preparación para asumir responsabilidades administrativas y conocimiento normativo. Aunque la mayoría de los encuestados conoce el Reglamento de Propiedad Horizontal, una proporción considerable no se siente preparada para asumir funciones administrativas ni tiene un conocimiento sólido de la Ley 675 de 2001. Estos hallazgos sugieren la necesidad de implementar estrategias de capacitación y sensibilización para mejorar las competencias y el entendimiento normativo en las propiedades horizontales del Valle de Aburrá.

En la siguiente tabla (Ilustración 1) muestra las funciones que 105 consejeros encuestados concuerdan que sus copropiedades tienen en común dentro de los consejos administrativos:

Figura 1. Funciones del consejo de Administración según 105 consejeros encuestados.

3.4. Encuesta administradores

Los datos obtenidos reflejan percepciones de los administradores sobre la relación con los consejos de administración y su conocimiento normativo, así como sobre el cumplimiento de sus propias funciones.

3.4.1. Conocimiento del consejo sobre la Ley 675 de 2001

El 93% de los administradores considera que los miembros del consejo de administración tienen un conocimiento insuficiente de la Ley 675 de 2001, al evaluarlo como "poco" o "a medias". Esto sugiere una importante brecha en el entendimiento de la normativa que regula las propiedades horizontales, lo que podría limitar su capacidad de tomar decisiones fundamentadas.

3.4.2. Conocimiento del Reglamento de Propiedad Horizontal

El 97% de los administradores estima que los consejos administrativos desconocen el Reglamento de Propiedad Horizontal, calificando su conocimiento como "poco" o "a medias". Este resultado evidencia una falta de familiaridad con el marco interno de las copropiedades, lo que podría generar conflictos en la gestión.

3.4.3. Claridad sobre las responsabilidades y funciones del consejo

Un 93% de los administradores considera que los miembros del consejo de administración no tienen claridad sobre sus responsabilidades y funciones, lo que refleja una necesidad de capacitación específica para fortalecer su rol dentro de las copropiedades.

3.4.4. Interferencia del consejo en el cumplimiento de funciones

En cuanto a la pregunta sobre si los administradores han sentido que el consejo no les ha permitido cumplir con sus funciones, el 78% afirmó que en muchas ocasiones no han podido llevar a cabo sus labores adecuadamente debido a la intervención del consejo.

3.4.5. Intentos de coadministración por parte del consejo

Un 82% de los administradores manifestó que, en algún momento, los miembros del consejo han intentado coadministrar, mientras que el 18% restante considera que esto ocurre en pocas ocasiones. Esta situación refleja una problemática frecuente de roles difusos y límites poco claros entre las funciones del administrador y las del consejo.

Por lo tanto, los resultados evidencian una percepción generalizada de desconocimiento y falta de claridad por parte de los consejos de administración respecto a su marco normativo, sus responsabilidades y las funciones del administrador. Además, la interferencia en la ejecución de las tareas propias de los administradores y los intentos de coadministración son factores que generan tensiones en la dinámica administrativa de las propiedades horizontales.

Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar programas de capacitación y sensibilización tanto para administradores como para miembros de los consejos, con el fin de garantizar una gestión eficiente y armoniosa en las propiedades horizontales del Valle de Aburrá.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de las encuestas y lo analizado en la normatividad, las sentencias y la doctrina relacionada con el Régimen de Propiedad Horizontal, las problemáticas en el ejercicio de los consejos de administración en propiedades horizontales residenciales del Valle de Aburrá se pueden compilar así:

1.Desconocimiento normativo por parte de los miembros de los Consejos de Administración

Para ejercer como miembro de un Consejo de Administración de una propiedad horizontal, además de ser propietario de un inmueble dentro de esa comunidad, no se regula ningún otro requisito. Por lo tanto, no se exige tener estudios relacionados ni experiencia. Sin embargo, la buena voluntad no basta para un correcto ejercicio del cargo, pues claramente se debe conocer, al menos desde la norma, el alcance del rol a desempeñar (función del sujeto) en la propiedad horizontal (regulación del objeto). Precisamente, la investigación encontró lo siguiente:

1.1Desconocimiento de la función del sujeto (Consejo de Administración)

La Ley 675 de 2001, en su artículo 55, ha demostrado ser insuficiente para regular las funciones del consejo de administración y otorga la potestad a cada copropiedad para que regule las funciones dentro de su Reglamento. Sin embargo, en muchos casos los reglamentos solo transcriben lo dispuesto en la Ley 675 de 2001.
Algunas funciones del consejo de administración están mencionadas de manera dispersa dentro de la Ley 675 de 2001: “Sancionar cuando el consejo de administración tenga la atribución de imponer sanciones (art. 60), convocar a asambleas extraordinarias, elegir el administrador para el periodo previsto en el reglamento de la copropiedad (Art. 50, parág. 1), acudir para la solución de conflictos al comité de convivencia o a mecanismos alternos de solución de conflictos (Art. 58, núms. 1 y 2), someter a consideración de la asamblea los estados financieros y los presupuestos anual de ingresos y gastos.” (Escobar, 2012).

Funciones que, aun siendo escasamente reguladas, son a la vez desconocidas por los miembros del consejo de administración. Esto se evidencia cuando un 93% de los administradores de propiedad horizontal (gráfico 10) considera que los miembros del Consejo de administración tienen "poco" o "a medias" claras sus responsabilidades y funciones.

Por su parte, al realizarse una pregunta sencilla de conocimiento a los miembros del consejo, se encontró que algunos erraron en sus respuestas, indicando que su función era: "Elegir y remover al revisor fiscal de la copropiedad", pero esa es una función exclusiva de la Asamblea General de Copropietarios (Art. 38, núm. 5, Ley 675 de 2001); otros señalaron que "elegir y remover el comité de convivencia" pero dicha función recae solo sobre la Asamblea (Art. 38 num. 3, Ley 675 de 2001); y unos cuantos, indicaron que es función "realizar contratos con proveedores" lo que es errado debido a que esta gestión la realiza el administrador de la Propiedad Horizontal.

1.2 Desconocimiento de la regulación del objeto (Propiedad Horizontal)

Los miembros de los consejos de administración deben acompañar los procesos de dirección y administración de la propiedad horizontal. Para ello, es necesario que conozcan las normas de la propiedad horizontal a la que le aportan, pero la realidad, expuesta en la encuesta, evidenció otra cosa.

Al cuestionar a los miembros del Consejo: "¿Conoce usted la Ley 675 de 2001?" (Gráfico 4), el 56,4% respondió que "sí". Al indagar "¿Conoce el reglamento de propiedad horizontal de su copropiedad?" (Gráfico 5), un 89,5% manifestó conocerlo. Estos porcentajes son bastante altos, pero es claro que ambas preguntas ofrecen sesgos: el primero conocido como sesgo de respuesta (tendencia a estar de acuerdo con la pregunta) y el segundo conocido como sesgo de aceptación social (tendencia a ocultar características poco atractivas de sí mismo). Estas respuestas también resultan desvirtuadas con el 93% (Gráfico 8) de los administradores afirmando que los consejeros de administración conocen "Poco" o "A medias" la Ley 675 de 2001, y con un 97% (Gráfico 9) que indica que "poco" y "a medias" los miembros de consejos con que ha trabajado conocen el reglamento de la PH.

Entonces, sin un conocimiento adecuado de la norma que rige la propiedad horizontal, el aporte que los miembros de los consejos de administración puedan realizar será limitado.

2. Abuso de las funciones del Consejo de Administración.

La investigación realizada, y que se presenta en este artículo, permitió detectar el desconocimiento en la regulación de la propiedad horizontal y de las funciones administrativas como una problemática importante en los Consejos de administración. Sin embargo (o Empero), de esta circunstancia, sumada a un actuar poco diligente, se infiere que el consejo actúa sin límites claros, transgrediendo sus funciones, lo que, a la larga, entorpece las labores administrativas de la propiedad horizontal.

El rol del consejo de administración ha sido establecido en el artículo 36 de la Ley 675 de 2001, donde se distingue que: "La dirección y administración de la persona jurídica corresponde a la asamblea general de propietarios, al consejo de administración, si lo hubiere, y al administrador del edificio o conjunto.".

Las sociedades comerciales, al igual que las asambleas de propietarios, tienen asambleas de accionistas o socios; por su parte, al igual que los consejos de administración, las sociedades tienen juntas o consejos directivos. En las normas mercantiles, la Ley 222 de 1995, establece en el artículo 22 que son administradores, entre otros, "los miembros de juntas o consejos directivos". Respecto a la diligencia debida, la Sentencia C-123 (Corte Constitucional, 2006) estableció la presunción de culpa cuando el administrador incumple o se extralimita en sus funciones, viola la ley o los estatutos, arguyendo la imposición legal de actuar bajo los principios de lealtad, buena fe y la diligencia de un buen hombre de negocios.

Estos planteamientos entrañan que los miembros de las juntas directivas (como administradores) y, en este caso, los Consejos de Administración (como órganos de administración colegiados), deben ser idóneos, asesorarse, discutir para llegar a consensos y tomar decisiones con criterios de conveniencia dentro de los lineamientos reglamentarios, ciñéndose a un estricto código de conducta.

Sin embargo, los resultados de las encuestas practicadas descubren que en algunos casos los miembros de los Consejos de Administración se extralimitan, sobre todo cuando (reiterando la respuesta dada por los administradores) un 93% denuncia que los miembros del Consejo tienen "poco" o "a medias" claras sus responsabilidades y funciones (gráfico 10). Razón por la cual, el aporte que pueden realizar a las copropiedades donde intervienen se ve obstaculizado por su escaso conocimiento.

Lo que resulta más preocupante es que el límite de las funciones de los miembros de los consejos de administración se encuentre difuso cuando estos responden, en un 76,2% (gráfico 2), que deben tomar decisiones de competencia del administrador cuando este no da una respuesta ágil, como si el límite entre las funciones de uno y otro estuviera dado por cuestiones subjetivas de la agilidad. Asimismo, el 44,8% (Gráfico 3) de los miembros del consejo se siente en la capacidad de asumir las funciones del administrador en caso de que este no pueda continuar con su cargo. Esto, a pesar de que, como ya se argumentó, no tienen la suficiente competencia.

En el mismo sentido, los administradores, dentro de la encuesta dirigida a ellos, reseñan que han sentido que los Consejos no los dejan cumplir sus funciones como debe ser e incluso han limitado las funciones del administrador, como lo manifiesta el 78% de los encuestados (gráfico 11). De manera contundente, el 82% de los administradores han sentido que, en gran medida, los Consejos en algún momento han intentado coadministrar (gráfico 12).

Entonces, la extralimitación en las funciones por parte de los miembros del consejo se manifiesta como "coadministración". Para tal efecto, es importante establecer la acepción de la palabra coadministrar, que se encuentra en el diccionario como: "Administrar algo conjuntamente dos o más personas". Esto, en sí mismo, no implica algo negativo, pero en el contexto de las propiedades horizontales y en el argot de los administradores, este término se ha acuñado cuando los consejos "cruzan la línea" de un ejercicio sano que contribuye a la toma de decisiones.

La acepción peyorativa de la palabra -coadministrar- también se acogió en uno de los proyectos de Ley, que se han discutido sin ser aprobados, donde se reseñaba como función del consejo "Supervisar sin coadministrar…"; y aunque la expresión "sin coadministrar" posteriormente fue

eliminada por resultar ambigua, era entendible que quería disponerse un límite a los Consejos.
Por lo anterior, resulta importante que el Consejo de administración tenga claras las funciones de los administradores pues éstas son un límite, dado que las funciones de los consejos de administración llegan hasta donde inician las funciones del administrador, sin sobrepasarse.

Se espera que, finalmente se expida una ley (que reglamente, adicione o sustituya la existente) que permita dar mayor claridad a las funciones de los Consejos de Administración. A su vez, los Reglamentos de Propiedad Horizontal deben determinar con precisión las funciones del Consejo de Administración. Finalmente, es necesario que cualquier propietario que sea elegido como miembro de un consejo de administración obtenga una capacitación y certificación de conocimientos mínima para que realmente sea un aporte para la propiedad horizontal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó por la necesidad de incentivar la investigación sobre la Tecnología de Gestión de Propiedad Horizontal del Centro de Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA, agradecemos a los instructores de esta tecnología por su dedicación para transmitir sus conocimientos, ya que con ello nos permitió sentar bases para analizar una problemática que acongoja a las administraciones en la Propiedad Horizontal.

REFERENCIAS

- ¿Cómo Vivimos? DANE INFORMACIÓN PARA TODOS. Pag. Web https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018/como-vivimos
- Decreto 410 de 1971, “Por la cual se expide el código de comercio” 19 de junio de 1971. D.O. No. 33.339.
- Escobar, C. I., & Ochoa Carvajal, R. H. (2012). De la propiedad horizontal y las unidades inmobiliarias cerradas: análisis normativo, jurisprudencial y contable. Temis.
- Gaceta del Congreso año XXX - Nº 785, ISSN 0123-9066, Bogotá, D. C., viernes, 16 de julio de 2021 edición de 25 páginas.
- Gaceta del Congreso año XXXI - Nº 514 , ISSN 0123-9066, Bogotá, D. C., lunes, 16 de mayo de 2022 edición de 43 página.
- Gaceta del Congreso. año XXIX - nº 1554, ISSN 0123-9066 bogotá, d. c., miércoles, 23 de diciembre de 2020 edición de 76 páginas.
- Informe de ponencia para primer debate del proyecto de ley no. 301 de 2020 “por medio de la cual se expide el régimen de la propiedad horizontal en colombia y se dictan otras disposiciones”
- Margarita, L., Danies, N., De Ciencias, F.,& Bogotá, J. (2002). Análisis jurídico de la propiedad horizontal en Colombia.
- MEDELLÍN cómo vamos. (2021) Área Metropolitana. Link: https://www.medellincomovamos.org/territorio/area-metropolitana-del-valle-de-aburra
- Nader, L. M. (2002). Análisis jurídico de la propiedad Horizontal en Colombia [Tesis de pregrado/maestría, Pontificia Universidad Javeriana].
- Ley 182 de 1948. sobre régimen de la propiedad de pisos y departamentos de un mismo edificio. 29 de diciembre de 1948. D.O. No. 26905.

- Ley 16 de 1985. Por la cual se modifica la Ley 182 de 1948 sobre propiedad horizontal. 8 de enero de 1985. D.O. No. 26905.
- Ley 222 de 1995. Por la cual se modifica el Libro II del Código de Comercio, se expide un nuevo régimen de procesos concursales y se dictan otras disposiciones.
- Ley 428 de 1998. Por la cual se adiciona y reglamenta lo relacionado con las unidades inmobiliarias cerradas sometidas al régimen de propiedad horizontal.21 de enero de 1998. D.O. No. 43.219.
- Ley 675 de 2001. Por medio de la cual se expide el régimen de propiedad horizontal. 4 de agosto de 2001. D.O. No. 44.509.
- Sentencia C -1043. Magistrado Ponente Alvaro Tafur Galvis. Expediente D-2767, agosto 10 de 2000.
- Sentencia C-123. Magistrada ponente CLARA INÉS VARGAS HERNÁNDEZ. Expediente D-593, febrero 22 de 2006.
- Proyecto de Ley 136 de 1999, presentado por iniciativa del Ministerio de Desarrollo Económico y Social que originó ley 675.
- Torres-Flórez, D., Bravo-Beltrán, D. N., & Guevara-Clavijo, N. (2021). Perfil de los administradores de propiedad horizontal en conjuntos residenciales. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 17(33). https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v17i33.3519

Evaluación del Impacto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Hispana: Perspectivas Académicas

Cuesta Hoyos Carlos
Ingeniero Agrónomo. Administrador de empresas. SENA. cacuesta@sena.edu.co. Caucasia

Sampayo Turizo Raul
Ingeniero de sistema, Esp. Docente investigador, rasampayo@misena.edu.co Caucasia

Duran Martínez Sandra
Psicóloga. Magister en administración pública. SENA. spduran@misena.edu.co. Caucasia

Méndez Sánchez Gina
Ingeniera Ambiental. SENA, gmendezs@sena.edu.co Caucasia

RESUMEN

El documento titulado "Evaluación del Impacto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Hispana: Perspectivas Académicas " ofrece una evaluación sobre el impacto para los países de la región. Estos objetivos son mecanismos para lograr sociedades justas e inclusivas, independientemente del estatus migratorio y su contribución al progreso socioeconómico a través de la implementación de tecnologías, la generación de empleo, la innovación y el aumento de la competitividad.

Se resalta que los ODS adoptan un enfoque integral que incorpora de manera transversal las dimensiones ambientales y sociales del desarrollo sostenible, promoviendo una visión holística que reconoce la interdependencia estructural entre el bienestar humano y los sistemas ecosistémicos como pilares esenciales del desarrollo local. Además, se señala que los ODS pueden abordar problemáticas específicas de la región y alinearse con los esfuerzos internacionales para alcanzar metas comunes de sostenibilidad.

El análisis se basa en una variedad de fuentes bibliográficas y consultas en bases de datos académicas, lo que refuerza la credibilidad del contenido. Se resalta la importancia fundamental de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como herramientas para fomentar el desarrollo sostenible en América Latina, facilitando el acceso a la información, impulsando la innovación, promoviendo el emprendimiento, mejorando la calidad educativa y estimulando la participación ciudadana. Asimismo, se ofrece una perspectiva sobre la viabilidad de los ODS en la región y se analiza el avance de los países latinoamericanos en su implementación.

Finalmente, se presentan sugerencias y se proponen lineamientos orientados a fortalecer la implementación de los ODS en la región, los cuales contemplan la optimización en el uso de las TIC, el impulso a emprendimientos basados en innovación tecnológica y el diseño de políticas públicas que promuevan economías sostenibles, inclusivas y socialmente responsables.

Palabras clave: Sostenibilidad, objetivo del desarrollo sostenible, agenda 2030

ABSTRACT

The document entitled “Evaluation of the Impact of the Sustainable Development Goals in Hispanic America: Academic Perspectives” offers an assessment of their impact on the countries of the region. These goals are mechanisms for achieving fair and inclusive societies, regardless of migratory status, and they contribute to socioeconomic progress through the implementation of technologies, job creation, innovation, and increased competitiveness.

It is highlighted that the SDGs adopt a comprehensive approach that incorporates, in a cross-cutting manner, the environmental and social dimensions of sustainable development, promoting a holistic vision that recognizes the structural interdependence between human well-being and ecosystem systems as essential pillars of local development. In addition, it is noted that the SDGs can address specific problems in the region and align with international efforts to achieve common sustainability goals.

The analysis is based on a variety of bibliographic sources and academic database queries, which reinforces the credibility of the content. The fundamental importance of Information and Communication Technologies (ICT) as tools to promote sustainable development in Latin America is emphasized, facilitating access to information, fostering innovation, promoting entrepreneurship, improving educational quality, and encouraging citizen participation. Likewise, a perspective on the viability of the SDGs in the region is offered, and the progress of Latin American countries in their implementation is analyzed.

Finally, suggestions and guidelines aimed at strengthening the implementation of the SDGs in the region are presented. These include the optimization of ICT use, the promotion of entrepreneurship based on technological innovation, and the design of public policies that favor sustainable, inclusive, and socially responsible economies.

Keywords: sustainability, Sustainable Development Goal, 2030 Agenda

1. INTRODUCCIÓN.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son fundamentales para el desarrollo de los países de América Hispana, ya que representan una oportunidad para impulsar el avance económico, social y ambiental en la región. Su objetivo principal es bajar los índices de la pobreza y las brechas sociales dentro de la sociedad, promover la igualdad de género, proteger el medio ambiente y fomentar una convivencia pacífica y justa basada en principios de equidad. Al alcanzar estas metas, los países de América Latina podrían contribuir a la calidad de vida de los pueblos, disminuir la exclusión social y económica, y mejorar a sistemas más resilientes desde el punto de vista ambiental y socioeconómico (Lalama et al., 2019).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en 2019, destaca que los ODS representan un desafío y una oportunidad para las naciones lograr su camino hacia la Agenda 2030 propuesta por la ONU. Esta agenda prioriza aspectos como la reducción de los índices de la pobreza, desigualdad social, el desarrollo financiero inclusivo, ciudades sostenibles y la lucha contra el cambio climático. De igual manera, los ODS actúan como instrumentos para la gestión y supervisión de las políticas gubernamentales, fomentando un desarrollo sostenible, inclusivo y que respete el medio ambiente. Esto se logra mediante la implementación de políticas públicas y estrategias de desarrollo que incorporan la sostenibilidad del planeta como un elemento clave.

Por otro lado, Girón (2016) enfatiza la importancia de los ODS en los países de habla hispana para la formulación de políticas que promuevan economías sostenibles y socialmente responsables. Estos objetivos se convierten en herramientas clave para la planificación política a nivel local y para el desarrollo de mecanismos de acción gubernamental que fomenten la sostenibilidad y reduzcan la desigualdad socioeconómica. Asimismo, Ibujés et al. (2019) sugieren que las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) son instrumentos esenciales para impulsar el desarrollo sostenible en la región, mejorando el acceso a la información, promoviendo la innovación, el emprendimiento, la calidad educativa y la participación ciudadana. Por lo tanto, el uso eficaz de las TIC es fundamental para alcanzar los ODS y contribuir al crecimiento económico y al empleo en América Latina. Este artículo de revisión tiene como objetivo analizar la potencial contribución de los ODS en la región.

2. Materiales y métodos

Esta investigación se caracterizó por su naturaleza descriptiva y su aporte teórico significativo. El enfoque principal se centró en el análisis de los conceptos desarrollados por académicos e investigadores en el área. Para ello, se realizó un análisis exhaustivo de la información utilizando fuentes secundarias, consultadas a través de las bases de datos disponibles en la biblioteca virtual del SENA, ProQuest, Scielo y Google Académico.

Dado el gran número de publicaciones identificadas, se aplicaron criterios de inclusión específicos. Se seleccionaron artículos relevantes según su citación en otras publicaciones, priorizando aquellos que habían sido citados al menos seis veces. Además, se incluyeron tanto artículos científicos como informes relacionados, ya que estos últimos suelen ofrecer análisis más detallados y contextuales.

3. Resultados y Discusión

Meirea (2015) indica que los ODS son fundamentales en la educación ambiental en América de habla hispana, ya que ofrecen

una orientación completa que abarca tanto los impactos ambientales, aspectos sociales del desarrollo sostenible. Este enfoque holístico reconoce la interconexión entre la satisfacción de necesidades humanas, crecimiento económico y la conservación ambiental. Los ODS también presentan desafíos tanto a nivel local como global, permitiendo que los programas aborden problemas específicos de la región mientras se alinean con los esfuerzos internacionales para alcanzar objetivos comunes de sostenibilidad. Además, los ODS representan una oportunidad para promover una cultura de sostenibilidad en América Latina, transformando profundamente los patrones socioculturales y económicos de la región, y proporcionando un marco global que guíe y refuerce los esfuerzos hacia una economía sostenible en el continente.

Lopicich et al. (2017) afirman que la dimensión bioética es crucial en la implementación de los ODS, ya que permite abordar sus desafíos desde una perspectiva ética y moral. La bioética se centra en la protección de la humanidad, las brechas en la sociedad, la justicia social y la equidad, aspectos esenciales para lograr un desarrollo sostenible que beneficie a toda la humanidad. Además, la bioética ayuda a identificar y mitigar los posibles impactos negativos en relación con las políticas y acciones de desarrollo en salud, medio ambiente y derechos humanos.

Asimismo, Los ODS promueven la integración y la cohesión social como elementos clave para fomentar sociedades inclusivas y sostenibles, independientemente del origen o situación migratoria de las personas. Representan un marco global que favorece la inclusión y rechaza toda forma de discriminación hacia las personas migrantes, priorizando la igualdad, la garantía de los derechos humanos y la cohesión social, con el propósito de consolidar comunidades más justas, equitativas y sostenibles (Canelón et al., 2018). Por ello, las organizaciones financieras internacionales establecen mecanismos de cooperación con los países y otros actores relevantes a través de financiamiento condicionado, asistencia técnica y marcos regulatorios, lo que busca alinear sus políticas con los ODS. Sin embargo, esta articulación también puede generar tensiones, ya que en ocasiones las exigencias financieras priorizan la estabilidad macroeconómica sobre la equidad social, lo que plantea el reto de asegurar que dichas estrategias realmente impulsen un desarrollo sostenible e inclusivo en América Latina (Girón, 2016). Sin embargo, se enfrentan a diversas brechas que obstaculizan la implementación de los ODS para 2030; si esta tendencia persiste, podría no lograrse ni en 50 años (Rozo, 2020). Las crisis económicas y las desigualdades geográficas en América Latina amenazan los avances hacia los ODS, afectando tanto a países ricos como pobres, y exacerbando las desigualdades sociales y económicas. Estas inequidades impactan a la sociedad global para alcanzar los ODS, influyendo en la distribución desigual de recursos y oportunidades, lo que afecta el acceso a la salud, la formación, la ocupación y las tecnologías, así como la sostenibilidad y la igualdad para todos (Urbina et al., 2017).
Considerando estos aspectos, los países latinoamericanos que mejor han implementado los ODS son Chile, Uruguay y Costa Rica, gracias a su enfoque político en la adopción de estos objetivos. Chile se destaca como el país con la mayor contribución a los ODS en la región, como se muestra en la figura 1. Uruguay ocupa el puesto 2 con un promedio de 71,50, mientras que Colombia se sitúa en el noveno lugar, según la tabla 1, en 2019 (Castro et al., 2020).

Figura 1. ODS alcanzados por Chile en el 2019.
Fuente: Tomado de Cepal.

Tabla 1 Ranking de los países con las contribuciones a los ODS

Ranking	País	Puntaje	Ranking	País	Puntaje
1	Chile	73,68	13	República Dominicana	63,93
2	Uruguay	71,50	14	Surinam	62,98
3	Costa Rica	69,98	15	El Salvador	62,72
4	Ecuador	67,88	16	Nicaragua	62,57
5	Argentina	66,94	17	Paraguay	62,54
6	Perú	66,81	18	Trinidad y Tobago	60,34
7	Brasil	66,35	19	Venezuela	60,10
8	México	65,55	20	Honduras	58,09
9	Colombia	64,78	21	Belice	57,62
10	Bolivia	64,77	22	Guyana	57,42
11	Panamá	64,33	23	Guatemala	55,78
12	Jamaica	64,16	24	Haití	44,58

Tomado de Sánchez, 2020.

Para el caso de Colombia, tiene brechas importantes en el logro de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), como se observa en la figura 2, indicándonos que no ha alcanzado el promedio regional en ninguno de los cinco indicadores del ODS 15, por lo cual se plantea desarrollar planes que contribuyan a estas acciones para superar estas brechas y avanzar en la implementación de estos para Colombia (Sánchez, 2020).

Figura 2. ODS alcanzados por Colombia en el 2019.
Fuente: Tomado de Cepal.

Dentro de este contexto, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son fundamentales, ya que contribuyen a la construcción de infraestructuras resilientes, promueven una industrialización sostenible e inclusiva, y fomentan la innovación, lo que permite alcanzar el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura). Estas tecnologías pueden facilitar la formación técnica y la generación de nuevos empleos, así como estimular la innovación y mejorar la productividad, lo que favorece el crecimiento socioeconómico. Además, las TIC pueden optimizar la eficiencia en varios sectores de la economía, como la salud, la educación, la agricultura, la gobernanza y la gestión de recursos naturales, lo que las convierte en un factor esencial para lograr la sostenibilidad (Arce, 2022).

4.CONCLUSIONES

Para que los países de América Latina puedan poner en marcha los 17 ODS, es esencial establecer acciones coordinadas entre todos los actores de las diferentes regiones y formular políticas públicas que faciliten su adopción. Estas políticas deben estar respaldadas por la integración de Tecnologías de la Información y por procesos innovadores que mejoren los sistemas industriales en la zona.

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son fundamentales para lograr el ODS 9 de la Agenda 2030, ya que ayudan a construir infraestructuras resilientes, impulsan una industrialización sostenible e inclusiva, fomentan la innovación y garantizan el acceso universal y asequible a Internet. Las TIC tienen un impacto significativo en diversos sectores, como la salud, la educación, la gobernanza y la gestión de los recursos naturales, lo que las convierte en un elemento crucial para el desarrollo sostenible a nivel mundial.

Los ODS ofrecen una oportunidad para avanzar hacia un desarrollo sostenible en América Latina, atacando los desafíos económicos, sociales y ambientales que enfrenta la región. La implementación efectiva de los ODS requiere un compromiso de los países para priorizar la salud en su presupuesto y adoptar políticas que fortalezcan los sistemas de salud, alivien la carga económica de los hogares y promuevan la equidad en el acceso a servicios de salud. Asimismo, es fundamental abordar otros desafíos importantes de la región, como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático y la protección del medio ambiente. En resumen, el éxito en la implementación de los ODS en América Latina demanda un enfoque integral y colaborativo que involucre a todos los actores relevantes de la región.

Referentes Bibliográficos

Arce Perez, K. (2022). Políticas públicas sobre tecnologías de la información y comunicación (TIC): el ODS 9 de la Agenda 2030.

Castro, F., & Valbuena, N. (2020). Índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe.

Canelón Silva, A. R., & Almansa Martínez, A. (2018). Migración: retos y oportunidades desde la perspectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Retos, 8(16), 109–120. https://doi.org/10.17163/ret.n16.2018.08

Carlino, H., Netto, M., Suarez, E., & Vasa, A. (2017). La contribución de la banca pública de desarrollo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en los países de América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.

Cepal, N. U. (2019). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales, https://repositorio.cepal.org/items/5bd13e17-8ccf-40b1-b1ff-805a48225b2b

Girón, A. (2016). Objetivos del Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030: Frente a las políticas públicas y los cambios de gobierno en América Latina. Problemas del desarrollo, 47(186), 3-8, https://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v47n186/0301-7036-prode-47-186-00003.pdf

Ibujés Villacís, J. M., & Franco Crespo, A. A. (2019). Use of ICT and its relationship with the Objectives of Sustainable Development in Ecuador. RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 9(17), 37-53, http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/retos/v9n17/1390-6291-Retos-19-17-00037.pdf

lLopicich, B., & Abogado, C. (s/f). Revista de Bioética y Derecho Perspectivas Bioéticas. Revistes.ub.edu. Recuperado el 7 de diciembre de 2023, de https://revistes.ub.edu/index.php/RBD/article/download/19758/22324/0

Lalama, R. A., & Lalama, A. B. (2019). América Latina y los objetivos de desarrollo sostenible: Análisis de su viabilidad. Revista de ciencias sociales, 25(1), 12-24, https://www.academia.edu/download/92644740/30376.pdf

Meirea Cartea, P. Á. (2015). De los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible: el rol socialmente controvertido de la educación ambiental. Educación social: Revista de intervención socioeducativa, https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/116404/Educaci%c3%b3n%20social%2061-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez Gómez, J. (2020). Resultados de Colombia en el índice ODS 2019: más rezagos que objetivos cumplidos. Observatorio Regional ODS.

Urbina-Fuentes, M., Jasso-Gutiérrez, L., Schiavon-Ermani, R., Lozano, R., & Finkelman, J. (2017). La transición de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible desde la perspectiva de los determinantes sociales de la salud y la equidad en salud. Gac Med Mex, 153, 697-730.

Rozo López, D. P. (2020). América Latina y el Caribe: a medio camino en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles.

Semillero de Investigación en Infraestructura, Construcción y Servicios Públicos (SEDEICOS)

Jhon Darwyn Jiménez Ramírez, Especialista en Didáctica y TIC.
Instructor SENNOVA y Líder de Semilleros de Investigación del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

El Semillero de Investigación en Infraestructura, Construcción y Servicios Públicos (SEDEICOS) nació en 2014 como una estrategia del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia para fortalecer la creatividad, el pensamiento crítico y la articulación entre los programas de formación. Integrado al Grupo de Investigación GIRCIS, se ha consolidado como un espacio fundamental para promover la cultura investigativa, conectar teoría y práctica, y desarrollar soluciones alineadas con los desafíos del sector.

Su propósito es impulsar investigación aplicada e innovación en aprendices de diversos niveles formativos, abordando líneas estratégicas como Construcción e Infraestructura, SIG, Sostenibilidad y Tecnologías. Esta orientación permite que el semillero responda a problemáticas reales en vivienda, edificaciones, servicios públicos y desarrollo urbano, formando profesionales capaces de incidir en su territorio.
Una de las fortalezas de SEDEICOS es su apuesta por tecnologías emergentes que están transformando la industria. La implementación de la metodología BIM ha permitido gestionar información de proyectos constructivos de manera colaborativa y eficiente, desde su diseño hasta la operación. Del mismo modo, el uso de realidad virtual ha facilitado la visualización anticipada de obras, la simulación de riesgos y la mejora de procesos de planeación. Al modelar estructuras con software especializado, los aprendices analizan materiales, optimizan diseños y fortalecen competencias altamente valoradas en el mercado laboral. Estas experiencias trascienden el aula y preparan a los futuros profesionales para liderar escenarios de innovación.

Entre 2022 y 2025, el semillero alcanzó resultados significativos con proyectos centrados en sostenibilidad, economía circular, gestión urbana y mejoramiento de materiales, entre ellos: diagnóstico de problemáticas en propiedad horizontal; aprovechamiento de residuos de construcción y demolición; recuperación de yeso mediante procesos biotecnológicos; elaboración de impermeabilizantes y mezclas asfálticas a partir de aceite usado; y diseño de bloques geopolimerizados como alternativa de construcción sostenible. Estas iniciativas han involucrado aprendices de programas como Gestión de la Propiedad Horizontal, Prevención y Control Ambiental, Dibujo y Modelado Arquitectónico, Seguridad y Salud en el Trabajo, Construcción de Infraestructura Vial y Maquinaria Amarilla.

Un ejemplo destacado es el proyecto “Evaluación del uso de residuos de vidrio y cerámica como material llenante en la elaboración de concreto”, cuyos resultados aportaron al proyecto financiado SGPS 12912 y fueron aplicados por la empresa EcoCircular S. A. S. en procesos de mejora ambiental en San Andrés, evidenciando el alcance real y transferible del conocimiento generado.

Además de artículos, informes técnicos, presentaciones y participación en eventos académicos, SEDEICOS ha impulsado la apropiación social del conocimiento, el trabajo colaborativo y la formación integral. Hoy es reconocido como un referente institucional del SENA en investigación formativa y como un semillero que inspira, conecta y construye soluciones para un sector en permanente transformación.

Reseña del grupo de investigación en construcción, infraestructura y servicios públicos (GIRCIS)

Nelson de Jesús Castaño Ciro, Magíster en Ingeniería
Instructor SENNOVA y Líder de Grupo de Investigación del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

El Grupo de Investigación en Construcción, Infraestructura y Servicios Públicos (GIRCIS) fue creado en febrero de 2014 en el Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción (CDHC) del SENA Regional Antioquia. Su creación respondió a la necesidad de articular la formación profesional técnica y tecnológica con procesos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i), con el fin de fortalecer la pertinencia de los programas del Centro y contribuir al avance del sector productivo de la construcción en Colombia. Desde su origen, el grupo se adscribió al sistema SENNOVA y se consolidó como referente académico e investigativo dentro de la Red de Conocimiento de Construcción e Infraestructura.
GIRCIS orienta su labor a la generación de conocimiento aplicado que responda a problemáticas reales del entorno social y productivo, al fortalecimiento de las capacidades investigativas de instructores y aprendices, y a la promoción de proyectos interdisciplinarios que generen impactos visibles en competitividad, innovación y desarrollo tecnológico. Su actividad investigativa se estructura en tres líneas principales: construcción y vivienda, infraestructura y servicios públicos. Adicionalmente, desarrolla estudios cualitativos relacionados con la propiedad horizontal, con el fin de comprender dinámicas sociales, administrativas y técnicas de edificaciones en distintos contextos.

La misión del grupo se enmarca en la aplicación del conocimiento científico y tecnológico mediante la formulación y ejecución de proyectos de investigación aplicada pertinentes a los programas del CDHC. Asimismo, se compromete con el uso de tecnologías emergentes y con la generación de técnicas innovadoras que aporten soluciones de alto impacto. En su visión, GIRCIS proyecta consolidarse como un grupo reconocido nacionalmente por su contribución al desarrollo tecnológico del sector construcción, y plantea como meta estratégica su reconocimiento permanente en las convocatorias de Minciencias.
El grupo orienta su gestión a partir de un objetivo general enfocado en promover actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación dentro del CDHC y la red de centros, fortaleciendo competencias investigativas y favoreciendo la creación de proyectos. Sus objetivos estratégicos, alineados con SENNOVA, incluyen aportar a la pertinencia de la formación profesional mediante nuevas tecnologías; incentivar la creatividad y las capacidades de investigación de aprendices; apoyar procesos de acreditación de calidad; fortalecer la validación de competencias mediante prototipos funcionales; impulsar el desarrollo tecnológico del sector; y promover el emprendimiento de base tecnológica.

El plan de acción del grupo incluye actividades como la formalización de alianzas con instituciones externas, la realización de talleres y espacios de actualización, la formación de semilleros de investigación, la organización de eventos de divulgación científica, la formulación de proyectos interdisciplinarios, la participación en convocatorias internas y externas, y el seguimiento técnico de los proyectos en ejecución para garantizar la obtención de productos registrables.

Dentro de los productos vinculados al grupo se encuentran artículos de investigación, documentos técnicos, prototipos y diseños

Industriales, innovaciones en procesos, normas técnicas, consultorías, trabajos de grado de alto nivel académico, eventos de apropiación social del conocimiento y la consolidación de empresas de base tecnológica.

En cuanto a su participación en convocatorias de Minciencias, GIRCIS inició este proceso en 2017 bajo el liderazgo del instructor Nelson Castaño Ciro, quien asumió el reto de organizar la información y evidencias para postular al grupo en la convocatoria de 2018. Aunque en dicha participación no obtuvo categorización, se cumplió la totalidad de requisitos formales exceptuando la producción mínima de nuevo conocimiento, que fue inferior a lo exigido. Esta experiencia permitió fortalecer la gestión interna del grupo y mejorar el seguimiento a sus investigadores.

En 2021, GIRCIS se presentó a la Convocatoria 894, alcanzando por primera vez la categoría C. Este logro representó un hito para el CDHC y permitió visibilizar el trabajo conjunto de aprendices, instructores y aliados estratégicos. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en proyectos activos, producción de conocimiento y consolidación institucional. Posteriormente, en la Convocatoria 957 de 2024, el grupo mantuvo la categoría C.

Desde su creación, GIRCIS se ha consolidado como un referente en investigación aplicada dentro del ecosistema SENA Antioquia. Su contribución se refleja en la articulación entre formación para el trabajo, investigación aplicada y desarrollo tecnológico, ofreciendo soluciones concretas y sostenibles para el sector construcción, infraestructura y servicios públicos. El grupo continúa fortaleciéndose mediante alianzas estratégicas, la formación de semilleros y la participación en convocatorias de investigación, reafirmando su compromiso con el avance del conocimiento, la competitividad y el impacto social.

Tecnoacademia Medellín

Cristian Darío Pimienta Ruiz, Magíster en Gerencia de Proyectos
Dinamizador Tecnoacademia Medellín del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

La Tecnoacademia Medellín, adscrita al Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia, cumple 15 años consolidándose como un escenario estratégico para la apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación entre estudiantes de educación básica secundaria y media. Gracias a los convenios interadministrativos con el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, esta iniciativa ha contribuido con el fortalecimiento de vocaciones científicas y aportes a la construcción de un territorio más competitivo, sostenible y creativo.

Su modelo formativo opera como un ecosistema dinámico orientado al aprendizaje experiencial, donde convergen metodologías activas, innovación pedagógica y ambientes especializados. Los laboratorios de Nanotecnología, Biotecnología, Ciencias Básicas, Tecnologías Virtuales, Electrónica y Robótica, Diseño y Prototipado, y Desarrollo de Software constituyen la base tecnológica que permite a los estudiantes explorar, experimentar y desarrollar proyectos con estándares similares a los del sector productivo y académico.

El enfoque STEAM es el eje transversal de la Tecnoacademia, promoviendo la articulación entre ciencia, tecnología, arte y matemática para estimular el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas reales. Esta apuesta pedagógica ha favorecido procesos de formación más contextualizados, inclusivos y pertinentes frente a los retos sociales, ambientales y tecnológicos del territorio. Uno de sus principales aportes es la ampliación de oportunidades educativas en Antioquia. Su modelo de operación ha permitido atender estudiantes de Medellín, Bello, Copacabana y Envigado, integrando contextos urbanos y rurales y fortaleciendo la democratización del acceso al conocimiento científico y tecnológico. A su vez, el semillero de investigación SEMITEC ha desempeñado un papel clave en el desarrollo de capacidades investigativas, acompañando a jóvenes en la formulación de proyectos, la participación en eventos académicos y la construcción de trayectorias formativas en ciencia e innovación.

Durante 2025, la Tecnoacademia atendió 728 estudiantes de 17 instituciones educativas en áreas como Química, Biotecnología, Nanotecnología, Robótica, Electrónica, Diseño y Prototipado, Tecnologías Virtuales y Desarrollo de Software. Además, se desarrollaron experiencias STEM con 21 instituciones adicionales, beneficiando a 225 jóvenes más, ampliando así su alcance e impacto territorial.

Más allá de los indicadores, la Tecnoacademia Medellín ha logrado convertirse en un espacio de descubrimiento personal y colectivo, donde miles de jóvenes han construido proyectos de vida vinculados a la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus procesos formativos han impulsado soluciones relacionadas con sostenibilidad, energías alternativas, salud, automatización, software, manufactura avanzada y nuevos materiales, fortaleciendo competencias para el siglo XXI.

Hoy, la Tecnoacademia Medellín es reconocida como un referente regional y nacional en la formación científica y tecnológica para población escolar, gracias a su pertinencia educativa, su articulación institucional y su contribución al desarrollo social, económico y ambiental del territorio.

La Jardinería de Paisaje al servicio de la excelencia en la FPI de los programas de Tecnología en Dibujo y Modelado Arquitectónico, Técnica en Proyectos de Jardines y Amoblamiento Urbano, Tecnología en Edificación de Construcciones y las tecnologías agrícolas.

Martha Cecilia López Pino, Arquitecta
Instructora del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

John Ferney Álvarez Rosario, PhD. en Ingeniería Mecánica
Instructor SENNOVA del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

RESUMEN

Se presenta el caso de éxito del equipo WorldSkills del Centro del Hábitat y la Construcción de la Regional Antioquia participante en la Habilidad 37 de Jardinería del Paisaje, conformado por la instructora Martha Cecilia López Pino y los aprendices Andrés Santiago Rocha y Brahian Estiven Úsuga, del programa Tecnólogo en Dibujo y Modelado Arquitectónico. El equipo alcanzó el primer puesto en la fase Regional y el segundo lugar en la fase Nacional de WorldSkills Colombia, consolidándose como referente de formación profesional integral y trabajo colaborativo, sosteniendo la participación destacada en anteriores ediciones donde se logró la participación a nivel mundial.

El proceso tuvo como propósito fortalecer competencias para el diseño, implementación y mantenimiento de espacios verdes mediante técnicas sostenibles, integrando criterios paisajísticos, selección adecuada de especies, uso eficiente de recursos y estrategias de aprendizaje basado en reto, así como la aplicación de sus conocimientos técnicos en entornos reales de construcción de jardines: en interpretación de planos, construcción de mampuestos, construcción de pisos, construcción de estructuras de madera, instalaciones eléctricas y abasto, siembra y manejo de plantaciones, construcción de estanques, lagos y fuentes. La experiencia permitió evidenciar fortalezas técnicas, potenciar habilidades blandas y demostrar el impacto de la formación integral en contextos de alta exigencia.

Este caso destaca cómo el liderazgo pedagógico, las estrategias didácticas pertinentes y el empoderamiento de instructores y aprendices fortalecen el talento SENA, promoviendo excelencia, innovación, alto rendimiento y competitividad. Asimismo, contribuye a la consolidación de prácticas sostenibles en jardinería, alineadas con los retos contemporáneos del sector.

Introducción y contexto

Mediante su oferta formativa, el SENA promueve la excelencia técnica y humana de los aprendices en distintos campos de conocimiento, y es el caso de los aprendices Andrés Santiago Rocha y Brahian Estiven Úsuga, quienes hacen parte del programa formativo de Tecnólogo en Dibujo y Modelado Arquitectónico, los cuales demostraron interés y habilidades excepcionales en un área complementaria, como lo es la Jardinería del Paisaje, disciplina en la misma que también competían en el contexto WorldSkills Colombia.

En este sentido, la instructora y Arquitecta Martha Cecilia López Pino con una importante experiencia en procesos formativos con acompañamiento a proyectos interdisciplinarios, fue quien se encargó de preparar al equipo en el contexto de la etapa departamental y Nacional 2024–2025. A partir de ahí los aprendices tuvieron la oportunidad de trabajar conceptos de herramientas prácticas aplicadas a la construcción, el diseño y el cuidado de espacios verdes. Es relevante destacar en este proceso la visión hacia la excelencia de la FPI por parte de la Subdirectora de Centro, María Elicenia Quintero,

mediante la apropiación y acompañamiento de la estrategia WorkSkills que se refleja en la continuidad de participaciones destacadas en la competencia, pudiendo resaltarse los siguientes resultados en el ámbito internacional en esta habilidad obtenidos por aprendices del CDHC:

- Edición 2016- 2017: Melvis Roslín Morales Carvajal y Daniel Eduardo Orlas Zuleta- Representación Nacional en Abudabí- Emiratos Árabes
- Edición 2019-2022: Duban Ferley Esteban Mogollón y Yennifer Tatiana Jiménez Zuleta Representación en Tallin- Estonia
- Edición 2022-2024: Santiago Alexis Giraldo González y Jeisson Andrés Sánchez González representación en Lion - Francia

Desarrollo del proceso formativo

Esta experiencia se estructuró con base en los siguientes cuatro aspectos que hicieron posible un excelente desempeño de la competencia:

a. Fundamentos de jardinería y sostenibilidad: El equipo consolidó conocimientos sobre morfología vegetal, fisiología de especies ornamentales, control del suelo, riego técnico y principios de sostenibilidad ambiental.

b. Diseño y planificación del jardín: Los aprendices integraron principios de diseño paisajístico, composición, color, volumetría vegetal y funcionalidad espacial, en la producción de jardines. Partiendo de croquis y modelados digitales, elaboraron propuestas que se adaptaban a condiciones reales de la competencia. Manejo e interpretación de planos de Jardines en español y en inglés.

c. Construcción y ejecución: Durante la fase Nacional el equipo llevó a cabo la instalación del jardín según los requerimientos de la competencia: delimitación del terreno, preparación del sustrato, replanteo del proyecto, plantación estratégica, diseño de bordes, montaje de pisos y estructuras de madera, instalación de estanque, siembra según condiciones estipuladas, y acabado y presentación final y entrega del jardín de acuerdo con requerimientos normativos y previo diseño. La coordinación y el retorno en el uso del tiempo jugaron un papel determinante para alcanzar el alto puntaje y rendimiento.

d. Habilidades blandas y trabajo colaborativo
El proceso fue propicio para el establecimiento de la comunicación asertiva, la gestión del tiempo, la resolución de problemas y el trabajo bajo presión. El acompañamiento pedagógico interdisciplinario propició la autonomía y un sentido de la responsabilidad ante los retos planteados. En este contexto formativo, se destacan los procesos de acompañamiento y fortalecimiento de habilidades de los competidores en áreas transversales e interdisciplinares apoyado en las capacidades a nivel de la Regional, dentro de las cuales se destaca:

Apoyo en manejo espacial y comunicación verbal y no verbal, a cargo de la Escuela de Habilidades y destrezas del CTMA en la figura del Instructor Faber Londoño de Teatro y artes escénicas.
Apoyo psicológicos y bienestar para competidores, a cargo de la Oficina de bienestar al aprendiz del Centro de Formación
Apoyo en la formación de habilidades en Mampostería, en la figura del instructor de Mampostería, Albeiro Uribe
Apoyo en la formación de habilidades en mampostería, replanteo y pisos articulados en la figura del ex competidor de WorldSkills en la modalidad de mampostería, Luis Carlos Jiménez.

e. Habilidades de Bilingüismo en idioma inglés.
Bajo el acompañamiento permanente de un instructor del programa de bilingüismo del SENA que fortalece de manera continua las habilidades de habla y lectoescritura en ingles coloquial y técnico relacionado con la habilidad de la competencia. Desde el inicio del proceso formativo en el tecnólogo los instructores de bilingüismo del CDHC acompañan procesos de formación adicional al contenido visto en el tecnólogo, para lo cual los aprendices reciben jornadas semanales extras de fortalecimiento en inglés.

Resultados alcanzados
El trabajo en equipo permitió alcanzar el segundo lugar en la fase departamental de la competencia, lo que les permitió pasar a la fase de la WorldSkills Colombia, modalidad Jardinería del Paisaje, realizada en la ciudad de Montería. Los resultados logrados más relevantes fueron los siguientes:

- Ejecución de un jardín demostrativo con alta coherencia estética y funcional.
- Selección adecuada de especies con criterios de sostenibilidad y resistencia.
- Destacada eficiencia en la instalación del diseño asignado.
- Alto nivel de organización y sinergia entre aprendices e instructora.
- Habilidades de comunicación asertiva y resiliencia para la resolución de retos bajo presión.

A partir de las consideraciones anteriores, los resultados obtenidos permitieron poner a prueba las habilidades y capacidades del equipo del Tecnólogo en Dibujo y Modelado del CDHC, constituyéndose, así como una referente regional en buenas prácticas de jardinería y de la interdisciplinariedad de la formación profesional integral.

Lección aprendida

El caso de éxito presentado evidencia que la interdisciplinariedad en los procesos formativos enriquece la experiencia de aprendizaje y potencia las habilidades laborales. La participación en WorldSkills demuestra que la motivación, el acompañamiento profesional y la aplicación de metodologías activas son factores clave para alcanzar logros significativos. Asimismo, la experiencia resalta la importancia de integrar conceptos de sostenibilidad en proyectos de jardinería, promoviendo prácticas responsables y alineadas con la conservación del entorno natural.

Economía circular en la construcción: concreto sostenible a partir de residuos de vidrio

Jhon Darwyn Jiménez Ramírez, Especialista en Didáctica y TIC
Instructor SENNOVA del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia

RESUMEN

Este texto contiene la caracterización de un caso de éxito desarrollado por aprendices del Tecnólogo en Construcción en Edificaciones y del Tecnólogo en Construcción de Infraestructura Vial del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA, que logró un impacto destacado con alto valor ambiental y social al ser aplicado en la Isla de San Andrés. El proyecto consistió en la investigación aplicada "Evaluación del uso de residuos de vidrio y cerámica como material llenante en la elaboración de concreto", que surge como propuesta de los aprendices semilleristas una vez conocido el proyecto financiado en el marco de la línea 82 de SENNOVA, orientada al aprovechamiento de residuos sólidos postindustriales y posconsumo para la elaboración de materiales de construcción sostenible en la ciudad de Medellín. El objetivo del proyecto desarrollado por los aprendices fue evaluar el desempeño técnico y ambiental del vidrio reciclado como sustituto parcial de agregados finos en mezclas de concreto, en articulación con la empresa Ecocircular S.A.S.

La experiencia permitió evidenciar el potencial de la formación profesional integral y la investigación aplicada para la generación de soluciones sostenibles con impacto territorial. Los resultados obtenidos demostraron beneficios ambientales significativos, incluyendo la reducción de emisiones de CO_2 y el aprovechamiento masivo de residuos en contextos insulares como la isla de San Andrés. Como conclusión, se resalta la importancia de la articulación entre el SENA, la academia y el sector productivo como estrategia para fortalecer la innovación, la economía circular y el desarrollo sostenible del país.

Introducción y contexto

La gestión sostenible de residuos constituye uno de los principales desafíos ambientales del sector de la construcción en Colombia. En respuesta a esta problemática, el SENA, a través de sus estrategias de Formación Profesional Integral (FPI) y de investigación aplicada, promueve el desarrollo de proyectos que integran conocimiento técnico, innovación y responsabilidad ambiental.

En este contexto, los aprendices Michael Andrés Mosquera Ruiz, Karina Marcela Valencia Parra y Miguel Ángel Montoya Colorado a partir de los procesos de formación, con el desarrollo del proyecto "Evaluación del uso de residuos de vidrio y cerámica como material llenante en la elaboración de concreto", aportaron resultados de investigación orientados al aprovechamiento de residuos sólidos postindustriales y posconsumo para la producción de materiales de construcción sostenibles en la ciudad de Medellín.

Desarrollo de la experiencia

a. Investigación aplicada y formación integral: El proyecto tuvo como propósito evaluar el comportamiento mecánico y ambiental del vidrio reciclado como sustituto parcial de agregados finos en mezclas de concreto. Para ello, los aprendices aplicaron conocimientos adquiridos en sus programas de formación, integrando competencias técnicas, investigativas y transversales.
El trabajo se desarrolló en articulación con la empresa Ecocircular S.A.S., lo que permitió validar los resultados en un contexto real de aplicación productiva. La metodología incluyó caracterización de materiales, diseño de mezclas, ensayos de laboratorio y análisis de impactos ambientales.

b. Impacto ambiental y social: Uno de los resultados más relevantes del proyecto fue su aplicación en la isla de San Andrés por parte de la empresa Ecocircular S.A.S, donde se logró el aprovechamiento de aproximadamente 1.300 toneladas de residuos de vidrio, contribuyendo a la reducción estimada de 390.000 kg equivalentes de CO_2. Esta experiencia evidenció el potencial del proyecto como estrategia efectiva de economía circular, gestión sostenible de residuos y fortalecimiento de empresas verdes en territorios insulares.

c. Proyección académica y liderazgo formativo: El liderazgo del aprendiz semillerista de SEDEICOS Michael Andrés Mosquera trascendió el ámbito del proyecto SENA, convirtiéndose en una experiencia formativa ejemplar. Los resultados obtenidos sirvieron como base para el desarrollo de su proyecto de grado en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Antioquia, evidenciando la pertinencia de la articulación entre el SENA–CDHC, la academia y el sector productivo.
Esta experiencia reafirma que la investigación aplicada fortalece la trayectoria académica y profesional de los aprendices, promoviendo la transferencia de conocimiento con impacto real en los territorios.

Resultados alcanzados

Los principales resultados del caso de éxito incluyen:

- Validación técnica del uso de vidrio reciclado como material llenante en concreto.
- Aprovechamiento de grandes volúmenes de residuos sólidos posconsumo.
- Reducción significativa de la huella de carbono asociada a procesos constructivos.
- Fortalecimiento de competencias investigativas y técnicas en los aprendices.
- Articulación efectiva entre formación, investigación y sector productivo.

Estos logros posicionan al proyecto como una referencia en innovación y sostenibilidad dentro del sector de la construcción.

Lección aprendida

El caso presentado demuestra que la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación no constituyen únicamente requisitos académicos, sino herramientas fundamentales para el desarrollo territorial y la mejora de la calidad de vida. La experiencia evidencia que la Formación Profesional Integral del SENA, articulada con proyectos de investigación aplicada y alianzas estratégicas, tiene la capacidad de generar soluciones sostenibles con impacto ambiental, social y productivo.

Asimismo, se confirma que el fortalecimiento del talento humano es un pilar clave para avanzar hacia una construcción más responsable y alineada con los principios de la economía circular en Colombia.

Innovación y Formación Integral: Articulación FPI–SENNOVA como Caso de Éxito

Linda Edith Pacheco Hernández
Magister en Educación
Instructora – Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción
SENA Regional Antioquia

RESUMEN

Se presenta una experiencia de articulación estratégica entre la Formación Profesional Integral (FPI) y el sistema SENNOVA del SENA, implementada en el programa Tecnología en Construcción de Edificaciones del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción. Esta sinergia potencia la calidad formativa mediante proyectos integrales que vinculan teoría, práctica e investigación aplicada. Los aprendices desarrollan proyectos constructivos completos que articulan competencias técnicas, transversales y básicas, utilizando metodologías innovadoras como BIM, métodos de programación CPM y GANTT, bajo el acompañamiento de profesionales SENNOVA.

Los resultados evidencian mejora continua en entregables, fomento de creatividad y sostenibilidad, y mayor proyección hacia el sector productivo. Esta experiencia confirma que integrar procesos pedagógicos, investigativos y productivos genera aprendizaje significativo y aumenta la pertinencia de la formación SENA.

Palabras clave: Formación profesional integral, SENNOVA, proyectos formativos, construcción de edificaciones, metodología BIM, investigación aplicada

Introducción y Contexto

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) ha consolidado un modelo de formación que integra dimensiones técnicas, humanas y productivas a través de la Formación Profesional Integral (FPI). En el área de Construcción en Edificaciones del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, este enfoque se materializa mediante la metodología de formación por proyectos, estrategia pedagógica que permite a los aprendices articular y demostrar todas las competencias establecidas en el Diseño Curricular.

El programa Tecnología en Construcción de Edificaciones es una formación titulada con duración máxima de 27 meses, distribuidos en 21 meses de etapa lectiva y 6 meses de etapa productiva. Durante este proceso, los aprendices desarrollan un proyecto constructivo integral que constituye el eje articulador del aprendizaje y la aplicación de conocimientos.

Como lo señala el documento "El instructor y la formación por proyectos en el SENA", un proyecto formativo se entiende como una actividad de aprendizaje en un contexto productivo que permite integrar las competencias laborales. El proyecto es la excusa que permite desarrollar las competencias del aprendiz, bajo el entendido de que, como proceso didáctico, transciende el resultado mismo.

Con el propósito de robustecer los procesos formativos, se estableció una alianza estratégica con el área de Investigación, Innovación y Desarrollo SENNOVA del centro de formación, generando un entorno de investigación aplicada y transferencia de conocimiento que ha transformado la manera en que los aprendices conciben, desarrollan y sustentan sus proyectos.

Desarrollo de la Experiencia Formativa

Articulación FPI–SENNOVA: Una Alianza Transformadora

La vinculación con SENNOVA ha sido fundamental para elevar la calidad de los proyectos formativos.

Esta alianza aportó tres elementos esenciales:

- Acceso a herramientas, materiales y tecnología especializada
- Acompañamiento permanente de un equipo idóneo de profesionales SENNOVA
- Asesoría metodológica especializada aplicando metodologías ágiles, método científico, marco lógico, técnicas para uso de bases de datos y análisis cienciométrico

En el contexto del proceso formativo en la competencia de investigación, se desarrolló una dinámica que permitió a los aprendices, bajo orientación de instructores SENNOVA, adelantar el desarrollo del proyecto formativo aplicando estas metodologías, lo que despertó en ellos un genuino interés por la investigación aplicada a la solución de problemas reales del sector constructivo.

Formación por Proyectos: Un Enfoque Integrador

El proyecto constructivo integral implementado consistió en el diseño y planificación completa de edificaciones de uso mixto (residencial y comercial). Un ejemplo representativo es el proyecto ubicado en el Nordeste antioqueño, municipio de Gómez Plata, corregimiento de La Estrella, que cuenta con 5 niveles distribuidos en 10 apartamentos (del 2° al 5° piso) y 2 locales comerciales en el primer piso, con un área construida total de aproximadamente 1,796.8 m².

El sistema estructural propuesto fue aporticado en concreto reforzado, con cubierta inclinada de estructura de madera y teja de barro, y diferentes opciones de cerramiento según las especificidades de cada grupo de trabajo: mampostería de ladrillo cocido, sistemas combinados, mampostería estructural, muro pantalla, drywall y muros cortina.

Área	m²
Área primer piso	359.36
Área construida total	Aprox. 1.796,8 m²

Los aprendices recibieron información completa del proyecto que incluía: modelo estructural, arquitectónico, topográfico e hidrosanitario; modelo de redes de acueducto; planos generales en formato PDF; BEP (BIM Execution Plan); especificaciones técnicas; determinantes físicas (clima, topografía, vientos); condiciones geológicas del suelo; y matriz ambiental con medidas de mitigación y compensación.

Implementación de Metodologías Innovadoras

Los aprendices fueron capacitados y aplicaron herramientas técnicas de vanguardia en el sector de la construcción:
Metodología BIM (Building Information Modeling): Un modelo BIM es un conjunto de procesos, metodologías y estándares que permiten generar un entorno virtual de forma colaborativa e integrada, una representación digital tridimensional (3D) basada en datos. Esta metodología ofrece múltiples beneficios: consistencia a través de un marco colaborativo; eficiencia para lograr un 10% mínimo de ahorro en costos; eficacia para el manejo de la información digital; mejor información para el diseño, construcción y operación; extracción directa de información planimétrica evitando duplicidades; y gestión del impacto ambiental.

Métodos de Programación: Los aprendices aplicaron métodos CPM (Critical Path Method), diagramas de GANTT y software de administración de proyectos como Microsoft Project. El trabajo colaborativo fue la estrategia pedagógica implementada, organizando grupos de trabajo que abordaron diferentes tipologías de cerramiento y espacios arquitectónicos, enriqueciendo el intercambio de conocimientos.

Innovación y Sostenibilidad en los Proyectos

Los proyectos desarrollados incorporaron criterios de sostenibilidad ambiental, económica y social. Los aprendices exploraron: materiales alternativos y sistemas constructivos

innovadores; optimización de recursos y procesos constructivos eficientes; propuestas centradas en la mejora del entorno construido; análisis de impacto ambiental y medidas de mitigación; y soluciones que responden a necesidades específicas del contexto regional. Esta visión integral permitió que los proyectos trascendieran el ejercicio académico y se convirtieran en propuestas viables y atractivas para el sector productivo.

Proceso Pedagógico y Contextualización

El proceso formativo inició con preguntas orientadoras que permitieron contextualizar a los aprendices sobre la importancia de su rol profesional: ¿Es importante planear y programar los proyectos? ¿Es necesario controlar la ejecución de los proyectos? ¿El éxito para entregar un proyecto depende del control del mismo?

Estas reflexiones permitieron que los aprendices comprendieran que su perfil profesional está directamente relacionado con la verificación de actividades constructivas en su planeación y programación, así como con el control de la ejecución del proyecto en cantidades, mano de obra, materiales e insumos, aspectos que hacen parte integral para la finalización y entrega exitosa del proyecto.

Resultados Alcanzados
Mejora Continua de los Entregables

Los proyectos finales de los grupos elevaron significativamente su nivel técnico, innovación y pertinencia. Los entregables incluyeron: planos de cimentación completos y detallados; planos estructurales de todos los niveles; detalles constructivos de escaleras y elementos especiales; plantas arquitectónicas (primer nivel y plantas tipo); fachadas y cortes arquitectónicos; modelos tridimensionales en BIM; programación de obra con métodos CPM y GANTT; presupuestos detallados con APU; y especificaciones técnicas y memorias de cálculo. La calidad de estos entregables alcanzó estándares profesionales que garantizan su aplicabilidad en contextos reales del sector constructivo.

Fomento de la Creatividad y la Sostenibilidad

Los aprendices desarrollaron propuestas creativas que abordan problemáticas del sector de la construcción desde un enfoque de sostenibilidad ambiental, económica y social. Se evidenció: mayor capacidad de análisis y toma de decisiones técnicas; innovación en la selección y aplicación de sistemas constructivos; conciencia ambiental y aplicación de criterios de construcción sostenible; adaptación de soluciones a contextos específicos y recursos disponibles; y desarrollo de competencias científicas esenciales para la cultura de innovación.

Proyección hacia el Sector Productivo

La solidez y aplicabilidad de los proyectos desarrollados captaron el interés de empresas del sector constructivo, que identificaron en estas soluciones un potencial para mejorar su competitividad y productividad. Este reconocimiento se tradujo en: mayor incorporación de aprendices en sus etapas productivas; validación de la preparación técnica y metodológica de los aprendices; retroalimentación positiva sobre el nivel de los proyectos presentados; oportunidades laborales para egresados del programa; y posicionamiento del Centro como referente de calidad formativa.
Estos resultados fortalecen la pertinencia de la formación SENA y posicionan los procesos del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción como referentes de calidad, competitividad e innovación en el sector.

Reflexión y Lección Aprendida

Para la instructora Linda Pacheco Hernández, esta experiencia ha sido profundamente enriquecedora y transformadora. El rol del instructor trascendió la instrucción técnica tradicional, permitiendo explorar áreas afines a la gestión de proyectos, la investigación aplicada y la innovación tecnológica.
Guiar a los aprendices en cada fase del proceso —desde el análisis inicial y la planeación metódica hasta la ejecución, control y evaluación

del proyecto— ha reforzado el impacto de la misión formativa del SENA. Ver materializarse las ideas de los aprendices en proyectos tangibles que responden a necesidades reales del sector, y que simultáneamente les abren puertas en el mundo laboral, constituye la máxima recompensa y la confirmación del poder transformador de la FPI articulada con SENNOVA.

La experiencia confirma que la articulación entre la formación por proyectos y la investigación aplicada es un factor determinante para potenciar la FPI. El acompañamiento de SENNOVA transforma la motivación, autonomía y visión innovadora de los aprendices, formando profesionales con competencias técnicas sólidas y habilidades investigativas que los distinguen en el mercado laboral.

Conclusiones

Este caso de éxito demuestra que la integración de procesos pedagógicos, investigativos y productivos potencia el aprendizaje significativo, facilita la solución de problemáticas reales del sector y aumenta la pertinencia de la formación ofrecida por el SENA.

La alianza estratégica entre la FPI y SENNOVA ha permitido: elevar la calidad técnica y metodológica de los proyectos formativos; desarrollar competencias científicas e investigativas en los aprendices; implementar tecnologías de vanguardia como BIM en procesos formativos; fortalecer la creatividad, innovación y sostenibilidad en las propuestas; mejorar la empleabilidad y proyección de los aprendices al sector productivo; y posicionar al Centro como referente de innovación en construcción.

El reconocimiento del sector productivo valida este modelo formativo y confirma que la inversión en investigación, innovación y desarrollo tecnológico aplicada a la formación profesional genera resultados concretos, medibles y altamente pertinentes para las necesidades del país.

Agradecimientos

Se agradece sinceramente el respaldo Institucional del SENA Regional Antioquia, el apoyo del equipo SENNOVA del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, y el compromiso de los aprendices que con su dedicación y talento hacen posible materializar estos proyectos exitosos. Se reafirma el compromiso con este modelo de trabajo colaborativo, que sin duda posiciona a nuestros aprendices y al Centro a la vanguardia de la construcción en Colombia.

Referencias

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (s.f.). El instructor y la formación por proyectos en el SENA. Bogotá: SENA.

Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción. (2024). Proyecto Formativo Tecnología en Construcción de Edificaciones. Medellín: SENA Regional Antioquia.

Grupo de Investigación GIRCIS SENNOVA CDHC. (2024). Lineamientos metodológicos para proyectos formativos con enfoque investigativo. Medellín: SENA.

SENA

REVISTA

CONSTRUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD

2026

SENNOVA

Centro para el Desarrollo del
Hábitat y la Construcción
Regional Antioquia