



Título del trabajo de grado modalidad monografía:

**Desafíos y estrategias para la incorporación de materiales de construcción innovadores
frente a la normativa colombiana**

Andrés Ricardo López Saurith

Nataly Mercedes Delgado Insuasti

Especialización en gerencia de proyectos

Rectoría Virtual

NRC 3533 Investigación II - Docente Rafael Guillermo Arzuaga Mejía

NRC 3529 Investigación II - Docente Jonnathan Hurtado López

Octubre de 2025

Página de Aprobación

**Título del trabajo de grado: DESAFÍOS Y ESTRATEGIAS PARA LA INCORPORACIÓN DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN INNOVADORES FRENTE A LA NORMATIVA
COLOMBIANA**

ANDRÉS RICARDO LÓPEZ SAURITH

NATALY MERCEDES DELGADO INSUASTI

**Monografía de Especialización aprobada como requisito parcial para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

RAFAEL GUILLERMO ARZUAGA MEJÍA

Docente Asesor – NRC 3533

JONNATHAN HURTADO LÓPEZ

Docente Asesor – NRC 3529

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS (UNIMINUTO)

Rectoría Virtual 2025

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestra más sincera gratitud a quienes fueron el soporte fundamental para la realización exitosa de esta monografía.

En primer lugar, elevamos nuestra gratitud a Dios, por ser la fuente inagotable de sabiduría, perseverancia y guía a lo largo de este proyecto compartido.

De manera particular, [Yo, Nataly] deseo extender un agradecimiento especial a mi padre, por su inquebrantable compromiso y el esfuerzo que dedicó. Su apoyo incondicional fueron el pilar que hizo posible la consecución y culminación de esta etapa profesional.

Finalmente, agradecemos a la Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO), a nuestros docentes y directores de proyecto por la transferencia de conocimiento y el rigor académico que guiaron la investigación. También, a todas las personas que contribuyeron con sus valiosos aportes al análisis de este estudio.

Resumen

La industria de la construcción en Colombia requiere evolucionar hacia prácticas más sostenibles y eficientes, impulsando la adopción de materiales innovadores. Este trabajo tuvo como objetivo identificar los principales desafíos regulatorios y proponer estrategias efectivas para la incorporación de materiales sostenibles. Se empleó una metodología cualitativa de revisión sistemática, enfocada en el marco legal y antecedentes técnicos. El análisis se realizó mediante codificación asistida por el software NVivo. Los resultados revelaron que el principal obstáculo reside en la rigidez de la normativa técnica vigente (NSR, NTC). De hecho, el hallazgo clave del análisis es la alta densidad del código 'Rigidez NSR-10', el cual acumuló 45 referencias, estableciendo que esta limitación es la causa raíz del lento proceso de estandarización. Se identificaron materiales clave (como agregados reciclados y polímeros) cuya viabilidad técnica contrasta críticamente con la barrera legal. Con base en este análisis, se propuso una estrategia de simplificación de la certificación y promoción de colaboración intersectorial (ICONTEC, INVÍAS) y la academia. Se concluye que la superación de los desafíos regulatorios requiere una revisión profunda de la política pública que priorice el desempeño sobre lo prescriptivo, habilitando la viabilidad legal y económica de la innovación y garantizando la competitividad hacia un modelo de construcción circular y comprometido con la sostenibilidad territorial.

Palabras Clave: Materiales innovadores, Sostenibilidad, Normativa colombiana, NVivo, Construcción sostenible, Barreras regulatorias, Política Pública.

Abstract

The Colombian construction industry must evolve toward more sustainable and efficient practices, driving the adoption of innovative materials. This monograph aimed to identify the main regulatory challenges and propose effective strategies for incorporating sustainable construction materials in the Colombian context. A qualitative methodology based on systematic literature review was employed, focusing on the legal framework and technical background. The information analysis was conducted using NVivo software-assisted coding. Results revealed that the primary obstacle resides in the rigidity of the current technical regulations (NSR, NTC). In fact, the key finding of the analysis is the high density of the 'Rigidez NSR-10' code, which accumulated 45 references, establishing that this limitation is the root cause of the slow standardization process. Key materials (such as recycled aggregates and polymers) were identified, whose technical feasibility critically contrasts with the legal barrier. Based on this analysis, a strategy was proposed to simplify certification and promote inter-sector collaboration (ICONTEC, INVÍAS) and academia. It is concluded that overcoming regulatory challenges requires a profound review of public policy that prioritizes functional performance over prescriptive composition, enabling the legal and economic viability of innovation and ensuring sectoral competitiveness toward a circular construction model that is committed to territorial sustainability.

Keywords: Innovative materials, Sustainability, Colombian regulations, NVivo, Sustainable construction, Regulatory barriers, Public Policy.

Tabla de Contenido

Página de Aprobación	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras	x
1. Introducción	1
2. Planteamiento del Problema	2
2.1. Diseño metodológico	3
2.2. Objetivos	4
2.2.1. <i>Objetivo General</i>	4
2.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
2.3. Justificación	5
3. Marco referencial	6
3.1. Marco de antecedentes	6
3.2. Marco teórico.....	13
3.3. Marco legal.....	18
4. Metodología	21
4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información	21

4.1.1. Integración del Software NVivo	21
4.1.2. Estructura de la Matriz	22
4.2. Alcance de la investigación.....	22
4.3. Diseño de investigación.....	23
4.3.1. Enfoque Metodológico	23
4.3.2. Tipo de Diseño de Investigación	23
4.3.3. Criterios de Inclusión y Exclusión.....	24
4.3.4. Protocolo de Búsqueda.....	24
4.4. Procedimiento de Selección	25
4.4.1. Paso 1: Identificación	25
4.4.2. Paso 2: Cribado.	25
4.4.3. Paso 3: Elegibilidad.....	25
4.5. Análisis de Datos.....	28
4.6. Criterios de Rigor Metodológico.....	29
5. Resultados.....	31
5.1. Análisis Exploratorio de la Información	40
5.1.1. Codificación de la información exploratoria	41
5.2. Análisis de Datos y Discusión	46
5.2.1. Identificación de Materiales de Construcción Innovadores y Sostenibles	46
5.2.2. Análisis del Marco Legal y Normativo.....	49
5.2.3. Identificación de Barreras Técnicas y Financieras.....	51

5.2.4. <i>Análisis de Mecanismos de Control y de Aprobación</i>	53
5.3. Propuesta de Estrategias para la Incorporación de Materiales Innovadores	55
5.3.1. <i>Fortalecimiento del Marco Normativo y Técnico</i>	56
5.3.2. <i>Creación de Incentivos Económicos y Financieros Vinculados al Desempeño</i>	56
5.3.4. <i>Articulación entre el Sector Público, la Academia y la Industria</i>	57
5.4. Conclusión del Análisis de Resultados	58
6. Conclusiones	60
7. Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación	62
7.1. Recomendaciones	62
7.2. Futuras Líneas de Investigación	62
Reflexión Personal	63
Referencias	64
Anexo A. Protocolo de Búsqueda y Selección Documental	69
Anexo B. Evidencia del Análisis Cualitativo Asistido por NVivo	73

Lista de Tablas

Tabla 4.1. <i>Ejemplo de matriz para el registro y análisis de la información</i>	26
Tabla 5.1. <i>Matriz de recolección de datos</i>	31
Tabla 5.2. <i>Codificación de la Información Exploratoria</i>	42
Tabla A.1. <i>Estrategia de Búsqueda y Palabras Clave Utilizadas</i>	69
Tabla A.2. <i>Criterios de Inclusión y Exclusión Documental</i>	71
Tabla B.1. <i>Matriz de Codificación Temática (Extracto)</i>	74

Lista de Figuras

Figura 3.1. <i>Fases de Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción</i>	14
Figura 3.2. <i>Clasificación de los Materiales de Obra Civil</i>	18
Figura 3.3. <i>Marco Legal</i>	19
Figura 5.1. <i>Nube Palabras Recurrentes</i>	41

1. Introducción

El sector de la construcción en Colombia se encuentra ante la coyuntura de la innovación tecnológica y la adherencia a la normativa vigente. La implementación de materiales innovadores, tanto los derivados del reciclaje y la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) como aquellos que no proceden de desechos, enfrenta desafíos significativos inherentes a un marco regulatorio riguroso. Reglamentos como la Norma de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), la Norma INVIAS, la Norma Técnica Colombiana NTC 1500 establecen los parámetros para la aplicación, ejecución y control de los materiales. Estas regulaciones, aunque fundamentales para la seguridad, la funcionalidad y la calidad de la infraestructura nacional, pueden suponer un obstáculo para la adopción de nuevas tecnologías constructivas.

Existe un creciente interés global por la integración de materiales sostenibles, como el reciclaje de RCD. Sin embargo, su incorporación en la industria colombiana se ve limitada por la ausencia de un marco legal claro y parámetros técnicos que faciliten su reutilización. A esta problemática se suma la incertidumbre que rodea a otros materiales innovadores, como los concretos de alto desempeño o los polímeros reforzados, cuya viabilidad en proyectos de infraestructura en el país es incierta. El presente estudio tiene como objetivo fundamental analizar las barreras técnicas, legales y financieras que inhiben la adopción de estos materiales, con el fin de proponer estrategias que impulsen su incorporación segura y regulada en el sector de la construcción colombiano.

2. Planteamiento del Problema

El sector de la construcción en Colombia se enfrenta a la necesidad de innovar en sus procesos para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia. Sin embargo, el marco normativo colombiano puede presentar desafíos para las empresas que desean implementar nuevas tecnologías y materiales. El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (2010), la Norma INVIAS, la Norma Técnica Colombiana NTC 1500 dictan parámetros específicos para los materiales, que pueden no estar alineados con las características y requisitos de productos innovadores.

Actualmente, existe un creciente interés por el uso de materiales sostenibles, incluidos aquellos derivados de residuos de construcción y demolición (RCD). La gestión de estos residuos en obra es muy importante, dado que las constructoras son las que generan un mayor volumen de desechos. Según Quoranía (2024), estos residuos pueden ser reutilizados con un fin más sostenible si se les da los destinos y procesos adecuados, lo que les permite reemplazar a materiales extraídos de depósitos manteniendo su calidad. No obstante, Nick Brian Sánchez Pacheco (2020) señala que, aunque Colombia es el tercer mercado de construcción más grande de Latinoamérica, la producción de RCD en ciudades como Bogotá (2,1 millones de toneladas al año) genera preocupación por el poco manejo que se les da, lo que impacta negativamente el medio ambiente.

Aunado a los desafíos de los materiales reciclados, la industria global ha desarrollado una amplia gama de materiales innovadores (como concretos de alto desempeño, polímeros reforzados con fibra, o nuevos aislantes) cuya viabilidad en proyectos de infraestructura en Colombia es incierta. Por lo tanto, el marco normativo colombiano en términos generales dicta unos parámetros de ensayos, aplicación, ejecución y control a los materiales que pueden limitar su adopción. En este sentido, la presente investigación busca analizar de manera documental

los desafíos que deben enfrentar las empresas que desean aplicar un material innovador en su proceso constructivo.

Por lo tanto, la pregunta de Investigación que guía el presente estudio es: ¿Cómo influyen los desafíos técnicos, legales y financieros en la adopción de materiales de construcción innovadores, y qué estrategias se pueden proponer para su correcta implementación en Colombia?

2.1. Diseño metodológico

El método de investigación seleccionado es de naturaleza cualitativa, con un enfoque documental. Este método es el más apropiado para la naturaleza del problema de investigación, ya que permite comprender en profundidad y analizar de manera interpretativa un fenómeno que no se enfoca en la medición de variables numéricas, sino en la comprensión de los lineamientos técnicos, legales y administrativos que influyen en la adopción de los materiales innovadores.

La investigación cualitativa se guía por temas y áreas significativas, permitiendo el desarrollo de preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección de datos, tal como lo plantean Hernández et al. (2014, p. 39). A su vez, la investigación documental se clasifica como un tipo de enfoque cualitativo que se basa en la recopilación, selección y síntesis de información obtenida de fuentes secundarias. Para este estudio, las fuentes principales serán las normas y reglamentos oficiales de la construcción en Colombia, lo que permitirá examinar de manera sistemática las barreras existentes y proponer estrategias para la correcta implementación de los materiales innovadores.

2.2. Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Analizar los parámetros existentes para el uso de materiales de construcción innovadores en Colombia, con el fin de identificar los lineamientos técnicos, legales y administrativos que limitan su adopción, y proponer estrategias que faciliten su correcta implementación en proyectos del sector de la construcción.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los principales materiales de construcción innovadores y sostenibles utilizados a nivel nacional e internacional, con el fin de evaluar su viabilidad de implementación en el contexto colombiano.
- Examinar el marco legal y normativo colombiano relacionado con el uso de materiales innovadores en el sector de la construcción.
- Identificar las principales barreras técnicas y financieras que dificultan la incorporación de materiales de construcción innovadores en proyectos de infraestructura y edificación en Colombia.
- Analizar los mecanismos de control y de aprobación que afectan la implementación de materiales innovadores en proyectos del sector construcción.
- Proponer estrategias que fomenten la incorporación segura y regulada de materiales de construcción innovadores dentro del marco legal colombiano.

2.3. Justificación

La innovación en materiales de construcción representa una de las principales vías para mejorar la sostenibilidad, la eficiencia y la durabilidad en la industria. A nivel global, la adopción de nuevas tecnologías constructivas ha demostrado ser fundamental para optimizar el aprovechamiento de recursos, reducir costos a largo plazo y disminuir el impacto ambiental, al mismo tiempo que se incrementa la resistencia y la vida útil de la infraestructura.

Sin embargo, el sector de la construcción en Colombia enfrenta desafíos significativos para la implementación de estos materiales innovadores. Las barreras se presentan principalmente en los ámbitos técnico, legal y administrativo, donde las normativas existentes —en ocasiones desactualizadas o carentes de parámetros específicos— limitan su adopción. Esta investigación se justifica en la necesidad de analizar dichos obstáculos, identificar los lineamientos que impiden la incorporación de materiales innovadores y proponer estrategias que permitan al sector modernizarse y adaptarse al avance tecnológico.

Este proyecto se alinea con la sublínea de investigación de “Innovación, sostenibilidad empresarial y valor compartido” de la Especialización en Gerencia de Proyectos, ya que busca facilitar el uso de materiales sostenibles en la industria. Además, aporta a la sublínea de “Gerencia de proyectos de inversión privada” al analizar las barreras normativas y técnicas que afectan directamente la innovación en los proyectos de infraestructura.

Finalmente, la relevancia del estudio radica en su potencial contribución al ámbito académico y profesional. La investigación servirá como una guía para la toma de decisiones, facilitando la incorporación de materiales más eficientes y sostenibles en la construcción de obras civiles, lo que permitirá al sector en Colombia mejorar su competitividad y, al mismo tiempo, contribuir al cumplimiento de metas globales en la lucha contra el cambio climático.

3. Marco referencial

3.1. Marco de antecedentes

Desde la antigüedad, hasta el mundo moderno, ha existido una necesidad de encontrar las mejores opciones de materiales para la construcción.

No obstante, un punto clave en esa búsqueda ha sido el factor financiero y en la actualidad, se le ha dado gran relevancia al impacto ambiental que el sector constructor genera.

Sin embargo, las normativas del contexto se han creado entre otros propósitos, para que los materiales que se usen cumplan con los requisitos de resistencia, estabilidad, durabilidad y funcionalidad que las infraestructuras constructivas demandan.

En términos generales, la búsqueda y aprobación de nuevos materiales se ha enmarcado en métodos de experimentación científica, con materiales que están a la mano en las regiones, un ejemplo de ello fue la búsqueda de mejora adherente mediante materiales naturales en revoques de tierra frente a la intemperie en Argentina.

En este sentido García y Rolón (2023) señalan lo siguiente:

Este estudio brinda conclusiones significativas las cuales respaldan la eficacia de los materiales naturales utilizados en este estudio como revestimientos y protectores de los muros de TAE, al mismo tiempo que contribuyen a la sostenibilidad ambiental por la naturaleza de estos. (p. 9)

Este caso constituye un ejemplo relevante de cómo la investigación aplicada puede conducir a la validación de materiales alternativos que, además de cumplir con los criterios técnicos y normativos del contexto, aportan a la sostenibilidad y a la valorización de recursos locales. No obstante, su éxito debe entenderse dentro de las condiciones específicas del

estudio, por lo que su replicabilidad en otros entornos requiere evaluaciones adicionales que consideren las particularidades normativas, climáticas y constructivas de cada región.

De igual forma, la utilización de material reciclado proveniente de diversas industrias ha sido objeto de análisis con el fin de identificar opciones viables para el sector de la construcción. Un ejemplo de ello es una investigación realizada en Argentina sobre la fabricación de tejas elaboradas con materiales reciclados (caucho y plástico).

Esta investigación concluye lo siguiente:

Las TMR cuentan con numerosas ventajas con respecto a soluciones de cubierta tradicionales (tejas cerámicas y de hormigón, chapa de zinc, etc.): son livianas, presentan mayor resistencia al impacto duro (granizo) y a la flexión, poseen baja absorción de agua, entre otras. (Sánchez et al. 2020, p. 61)

En este caso, resulta relevante que el análisis se haya sustentado en una normatividad orientada a la evaluación de las propiedades optotérmicas de las tejas fabricadas con material reciclado. Sin embargo, más allá del cumplimiento técnico, el verdadero aporte del estudio radica en la comparación crítica frente a las tejas tradicionales, lo que permite evidenciar no solo su desempeño funcional, sino también su potencial como alternativa sostenible y económicamente viable dentro del sector de la construcción.

Por otro lado, la búsqueda de materiales innovadores en el sector de la construcción, también ha tenido un enfoque interesante en la mejora de las condiciones de salud y calidad de vida, ya que se ha identificado que las construcciones pueden albergar microorganismos perjudiciales para la salud, para ejemplificar este aspecto se destaca una investigación que se realizó en México para evidenciar si la cal inhibe microorganismos al usarse como recubrimiento en interiores.

Acorde a los resultados obtenidos, Franco Ruiz (2022) afirma lo siguiente: “A partir de lo anterior, se puede concluir que el uso de pinturas artesanales base cal sirve como

recubrimiento en muros y además inhibe el crecimiento de agentes patógenos en los mismos por un periodo de aproximadamente 2 años”. (p. 13).

En este caso, se evidencia que el uso de materiales regionales y naturales, como la cal en recubrimientos interiores, no solo cumple con el propósito funcional planteado, sino que además aporta beneficios directos a la salud y al bienestar de los ocupantes. Este tipo de resultados reafirma la pertinencia de recuperar prácticas tradicionales mediante enfoques científicos contemporáneos. No obstante, se advierte que la validación de estos materiales requiere continuar con estudios longitudinales que permitan determinar su durabilidad y efectividad en diferentes condiciones ambientales. En términos generales, los antecedentes revisados demuestran que la experimentación y el ensayo de materiales innovadores constituyen la principal vía para avanzar hacia una construcción más sostenible y contextualizada.

Por otro lado, también se han realizado compilaciones de estudios con el fin de ampliar la perspectiva sobre el tema. Un ejemplo de ello es una revisión literaria desarrollada en Perú, en la cual se analizaron las metodologías empleadas para la producción de concretos permeables, utilizando de manera parcial materiales reciclados como agregados.

De este documento, la conclusión destacada de Ayala et al. (2022) es la siguiente:

La producción de concreto permeable es una buena opción para el desarrollo de ciclovías, aceras y pavimentos en estas épocas modernas, cuya tendencia es la búsqueda del desarrollo sostenible debido a la utilización de materiales reciclados durante su producción y la disminución en los costos de elaboración. (p. 13)

No obstante, de esta revisión documental se desprende una reflexión importante: aunque el uso de materiales reciclados en la producción de concretos permeables representa un avance hacia la sostenibilidad, los resultados no siempre alcanzan los niveles de

desempeño esperados para aplicaciones específicas como ciclovías o pavimentos. Esto evidencia la necesidad de continuar con procesos de experimentación y ajuste en las proporciones de mezcla, así como de establecer criterios técnicos más precisos que permitan garantizar tanto la funcionalidad estructural como el beneficio ambiental de estas soluciones constructivas.

La revisión literaria de estudios relacionado con el uso de materiales innovadores, ha brindado una buena opción como guía para la implementación de estos materiales en las prácticas de empresas del sector constructor. Otro ejemplo de ello, es la revisión sistemática de las propiedades del hormigón con el uso de cenizas de madera realizada en Perú, en la que se señala lo siguiente:

Con base en los diferentes estudios se puede determinar que las cenizas de madera resultan ser componentes beneficiosos para que puedan ser empleados en la producción de elementos como el concreto. Asimismo, generaría efectos positivos para el medio ambiente, puesto que su aplicación conllevaría a la disminución del consumo de recursos naturales, disminuyendo así las emisiones de CO₂. (Vallejos et al. 2023, p. 13)

Sin duda, la revisión sistemática constituye una herramienta valiosa para anticipar el potencial éxito o las limitaciones en la implementación de materiales innovadores, especialmente cuando existen antecedentes experimentales que respaldan su desempeño. No obstante, estos estudios deben interpretarse con cautela, pues los resultados positivos obtenidos en contextos específicos no garantizan su reproducibilidad en otras condiciones constructivas o normativas. En consecuencia, las revisiones deben asumirse como un punto de partida para la toma de decisiones informadas, más que como una validación definitiva de la aplicabilidad del material.

En el contexto local es decir el nivel nacional en el que está enmarcada la presente investigación, también se ha realizado una validación a través de ensayos de laboratorio acorde a la normativa correspondiente, y también se han obtenido resultados satisfactorios, como lo señala Rocha et al. (2020) respecto al uso de material ecológico para construcción:

Los estudios realizados demuestran que este material cuenta con buena resistencia ante las pruebas de compresión y flexión. Además, se puede estucar sin ningún problema y posteriormente pintar. El producto se puede moldear para usar y construir muros de carga y de jardinería, muros divisorios, baldosas, adoquines, entre otros. (p. 63)

Lo anterior ofrece una evidencia sólida sobre la viabilidad técnica de los materiales ecológicos en la elaboración de elementos estructurales y no estructurales. Sin embargo, aunque los resultados de laboratorio son alentadores, su aplicación a escala constructiva requiere considerar factores adicionales como la durabilidad, el comportamiento frente a agentes ambientales y la compatibilidad con los sistemas constructivos tradicionales. En este sentido, los ensayos constituyen un punto de partida esencial, pero no suficiente, para consolidar la confianza técnica y normativa en el uso de estos materiales dentro del contexto nacional.

Igualmente, se ha tenido una inquietud por el uso de materiales degradados por las cadenas de producción como lo es el caso del desarrollo de morteros con geo polímeros obtenidos de suelos degradados por actividades de minería.

Se obtuvieron morteros de 85 % p/p de suelo degradado y 15 % p/p de CPO, con resistencias a la compresión entre 4,4 MPa y 6,8 MPa. El reemplazo del CPO como material cementante en la mezcla, por suelo degradado molido con tamaño de partícula < 45 μm , disminuyó la resistencia a la compresión de los cilindros a valores < 1 MPa,

encontrando para la muestra M2, un efecto creciente de dicha propiedad a medida que la relación Na/Al aumentaba. (Lenis et al, 2023 p. 8)

Este estudio pone en evidencia que las dinámicas productivas de ciertos sectores, como la minería, incrementan la urgencia de explorar materiales alternativos que contribuyan a mitigar el deterioro de los recursos convencionales. No obstante, también deja claro que no todos los materiales derivados de procesos de degradación o reciclaje alcanzan propiedades equivalentes a las de los materiales tradicionales. En consecuencia, la innovación en este campo no debe limitarse a la sustitución de insumos, sino orientarse al mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas mediante el desarrollo de tecnologías y procesos que garanticen su desempeño estructural y su viabilidad ambiental.

No obstante, en la academia también se ha realizado investigaciones al respecto con resultados satisfactorios como lo indica Ceballos et al. (2021) en su estudio referente a residuos de construcción para la fabricación de adoquines:

Los agregados obtenidos por medio de la trituración de escombros (morteros, ladrillos y concretos) poseen un buen desempeño para aplicaciones en adoquines, los cuales al llevarse a cabo el ensayo de flexotracción, arrojaron valores superiores a los establecidos por la norma técnica colombiana. (p. 35)

Este resultado reafirma la viabilidad técnica del aprovechamiento de materiales reciclados en la industria de la construcción, especialmente cuando su desempeño supera los parámetros establecidos por la normativa vigente. Sin embargo, su implementación a gran escala requiere una evaluación integral que considere no solo la resistencia mecánica, sino también aspectos como la durabilidad, el comportamiento frente a la humedad y la eficiencia en los procesos de producción. De este modo, la evidencia académica respalda el potencial de

estos materiales, pero también plantea la necesidad de consolidar marcos normativos y técnicos que garanticen su uso seguro y sostenible en el contexto constructivo nacional.

No obstante, también se evidencia que el uso de materiales innovadores puede aún estar muy restringido por diversas situaciones, así lo denota Yepes y Bedoya (2023).

Luego de los análisis, es posible determinar que, por parte de las empresas constructoras y los profesionales, la tierra es valorada desde su capacidad para solucionar problemas de cambio climático y habitabilidad; sin embargo, esto no se ve reflejado en su implementación. Es decir, sí existe una aceptación, pero aún falta un gran camino por recorrer en cuanto a una mayor inclusión de este material dentro de proyectos de construcción como alternativa de primer nivel (p. 21).

El uso de la tierra como material constructivo continúa siendo un tema ampliamente debatido dentro del sector, no solo por los retos técnicos que implica su estandarización, sino también por los prejuicios culturales y la falta de respaldo normativo que limitan su implementación. Esta situación es comparable con la de otros materiales considerados innovadores, cuya adopción enfrenta barreras similares asociadas a la percepción de riesgo, la ausencia de protocolos de certificación y la resistencia del mercado a modificar prácticas tradicionales. En consecuencia, más allá de su potencial técnico y ambiental, el desafío radica en transformar la visión del sector hacia una aceptación informada y responsable de nuevas alternativas constructivas.

También cabe destacar que a veces el sustentar el uso de un material innovador puede ser retador por las limitaciones que la normativa y la carencia de ensayos e investigación de ciertos materiales, esto se denota en el estudio de Rojas et al. (2020) respecto al uso de escorias de arco eléctrico, en el que señala:

Sin embargo, es imperante que en Colombia se promuevan investigaciones y estudios interlaboratoriales que permitan el uso seguro y confiable de este subproducto siderúrgico a través de la creación de normas y especificaciones de construcción para las condiciones particulares de nuestro país (p. 9).

De acuerdo con los antecedentes revisados, si bien el uso de materiales innovadores demuestra una viabilidad técnica, económica y ambiental significativa, persisten vacíos que dificultan su implementación efectiva en el ámbito constructivo. Entre estos desafíos se destacan la falta de estandarización normativa, la escasa disponibilidad de ensayos comparativos y la limitada articulación entre la investigación académica y el sector productivo. En consecuencia, la adopción de estos materiales no depende únicamente de su desempeño técnico, sino también de la construcción de un marco regulatorio y científico que respalde su uso seguro, eficiente y sostenible en el contexto nacional.

3.2. Marco teórico

Es importante aclarar que en la actualidad es fundamental la sostenibilidad para la creación y desarrollo de productos y materiales de construcción. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022) la construcción sostenible consiste en el diseño, construcción y operación de edificios de forma responsable con el medio ambiente, económicamente beneficiosos y además saludables para trabajar y vivir, donde su objetivo principal es integrar criterios ambientales y sociales, a fin de contribuir con la reducción en el uso de recursos naturales, mejorar la relación con el entorno e incrementar la calidad de vida de sus habitantes.

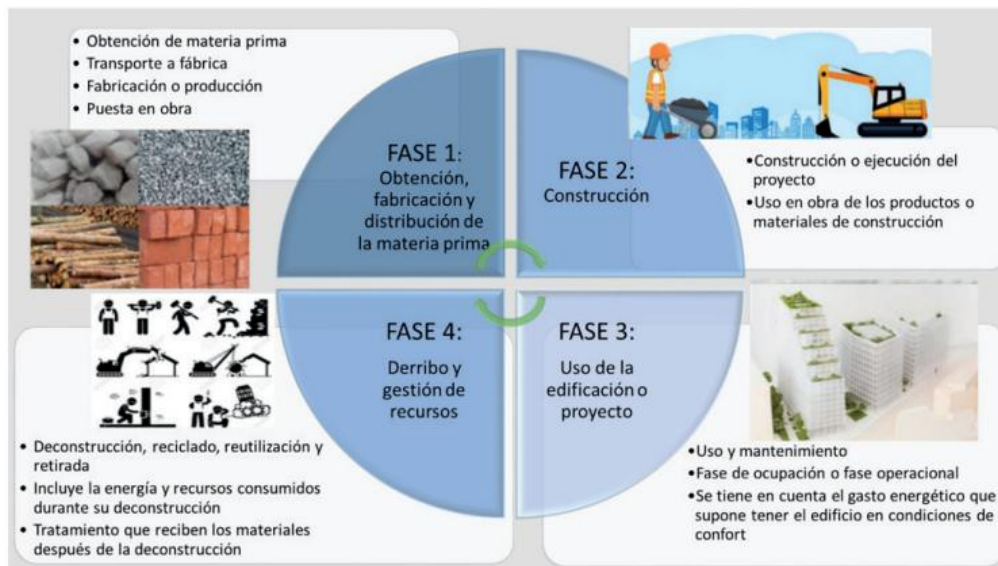
Para el MNDS (2022, p. 31) “Los materiales sostenibles son producto de la recuperación, reciclaje o aprovechamiento de residuos sólidos usados para reemplazar parcialmente los insumos o materias primas convencionales.” Sin embargo, cuando se habla de

material sostenible o verde, corresponde a aquel que a lo largo de su ciclo de vida minimiza los impactos ambientales y sociales que genera además de beneficios de orden económico.

De acuerdo con el MNDS (2022), el ciclo de vida de un proyecto enfocado en materiales de construcción exige replantear la manera en que estos son concebidos, priorizando la circularidad y el cierre de los ciclos de materiales. Este proceso inicia con la definición del material necesario, continúa con su producción y uso, y culmina con su reintegración al entorno o su reutilización. Desde una mirada crítica, este enfoque invita a superar la visión lineal tradicional —donde los materiales simplemente se extraen, usan y desechan— para adoptar una lógica regenerativa que fomente la sostenibilidad, la innovación y la responsabilidad ambiental en cada nueva concepción del proyecto.

Figura 3.1.

Fases de Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción



Nota. De *Guía de materiales para la construcción sostenible* por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022, p. 36. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf>

Serrano et al. (2015) señalan que la aplicación de nuevas técnicas constructivas y el uso intensivo de materiales convencionales han provocado un aumento significativo en los residuos de construcción y demolición, los cuales se han convertido en un serio problema ambiental. Entre estos desechos predominan el concreto, el ladrillo, el mortero, los materiales cerámicos, los plásticos y la madera, reflejando la alta dependencia del sector de materiales como el cemento, el acero y el vidrio. Desde una mirada crítica, esta situación evidencia una contradicción en el avance del sector: aunque se promueve la innovación técnica, persiste una lógica productiva que prioriza la eficiencia económica por encima de la sostenibilidad ambiental. Es necesario replantear los procesos constructivos bajo principios de economía circular, donde la reutilización y el aprovechamiento de residuos se conviertan en ejes centrales del desarrollo urbano sostenible.

Serrano et al. (2015) sostienen que el plan de manejo de residuos de construcción resulta fundamental para evaluar el impacto ambiental de una obra, dado que los materiales empleados ya poseen una carga energética y un impacto ambiental asociados —como lo evidencian los análisis de ciclo de vida (ACV) y las declaraciones ambientales de producto (DAP)—, los cuales se agravan cuando dichos materiales no se aprovechan y terminan como residuos. En consonancia, el estudio de la Secretaría del Medio Ambiente de Medellín plantea la necesidad de fomentar una construcción sostenible basada en la valorización y el uso responsable de estos desechos. Esta postura resalta la urgencia de pasar del diagnóstico a la acción: los planes de manejo deben trascender el cumplimiento normativo y convertirse en verdaderas estrategias de diseño circular, donde los materiales sean concebidos desde su origen para ser reutilizados y reincorporados al ciclo productivo, reduciendo así el impacto ambiental del sector.

Durán et al. (2015) plantean que, al transformar una idea o una necesidad en un producto concreto, es indispensable tomar decisiones acertadas sobre los materiales que lo conformarán en cada etapa del proceso. Si bien en muchos casos la elección del material está determinada por factores de diseño o de costo, en otros, la creación de un nuevo producto o la modificación de uno existente exige la búsqueda de materiales diferentes e innovadores. Aunque inicialmente se pueden considerar múltiples opciones, en las fases finales del desarrollo se requiere información técnica más precisa para sustentar los cálculos y garantizar la viabilidad del producto. Desde una perspectiva crítica, este planteamiento evidencia que la selección de materiales no debe responder únicamente a criterios funcionales o económicos, sino también a consideraciones ambientales y de sostenibilidad. Incorporar criterios de ciclo de vida y reutilización desde la etapa de diseño permitiría no solo optimizar el desempeño técnico, sino también reducir los impactos ecológicos y promover una producción más responsable e innovadora.

Durán et al. (2015) señalan que la selección de un material no puede considerarse de manera aislada del proceso productivo, ya que este influye directamente en su conformado, ensamblaje, acabado y transporte. Los costos asociados a estas etapas son determinantes, y además de la funcionalidad, deben tenerse en cuenta aspectos como la forma, la textura, el color y la percepción del producto final. Un diseño adecuado garantiza el funcionamiento, pero un diseño verdaderamente sobresaliente también genera una experiencia estética y sensorial agradable. En este sentido, las posibilidades de uso de un material dependen de sus propiedades intrínsecas, las cuales derivan de procesos que ocurren a nivel atómico o microscópico. Desde una mirada crítica, esta reflexión invita a repensar la relación entre técnica y sensibilidad en el diseño: no basta con que un material cumpla su función mecánica o estructural, también debe responder a criterios de sostenibilidad, confort y valor cultural.

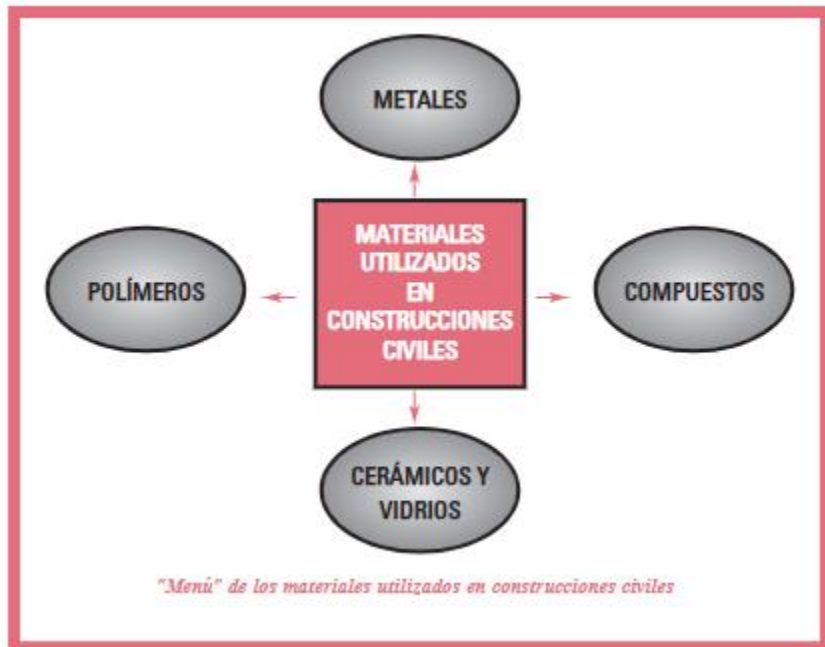
Integrar la ciencia de los materiales con el diseño responsable permitiría avanzar hacia productos más eficientes, duraderos y coherentes con las demandas ambientales y sociales actuales.

Durán et al. (2015) establecen que, la clasificación de los materiales en la ingeniería se divide en varias categorías principales: metales, cerámicas y vidrios, polímeros y semiconductores. Estos autores definen cada uno de estos grupos de la siguiente manera: la presencia de enlaces metálicos —como ocurre en el acero—, mientras que las cerámicas y los vidrios presentan enlaces iónicos con un notable componente covalente, visibles en materiales como las baldosas. Desde una perspectiva crítica, esta clasificación resulta esencial no solo para comprender las propiedades estructurales y funcionales de los materiales, sino también para orientar su selección en función de criterios de sostenibilidad y eficiencia. En la actualidad, más allá de la categorización técnica, es necesario incorporar enfoques que consideren el impacto ambiental, la reciclabilidad y el potencial de reutilización de cada grupo de materiales, promoviendo una ingeniería más consciente y alineada con los principios de la economía circular.

En el caso de los polímeros, estos se caracterizan por poseer enlaces covalentes fuertes a lo largo de sus cadenas moleculares, mientras que los enlaces secundarios entre cadenas adyacentes son más débiles. Esta particularidad estructural explica su menor resistencia mecánica y sus bajos puntos de fusión, como ocurre en materiales como el nylon y el polietileno. Finalmente, los semiconductores presentan una estructura principalmente covalente, observable en materiales como el silicio.

Figura 3.2.

Clasificación de los Materiales de Obra Civil



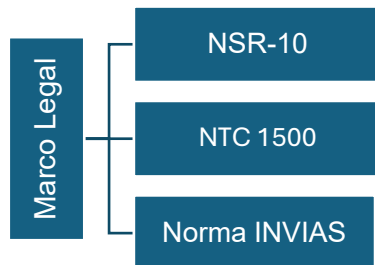
Nota. De *Características físicas de los materiales de construcción* (p. 15), por M. G. Durán y A. Gay, 2015, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

3.3. Marco legal

A continuación, se evidencia la normatividad aplicable para esta investigación, donde se encuentran los parámetros para el uso de materiales innovadores en el sector construcción.

Figura 1.3.

Marco Legal



Nota. Elaboración propia

La legislación colombiana establece un andamiaje normativo que, si bien busca garantizar la seguridad y la calidad, delimita la introducción de materiales no convencionales. La revisión de este marco se concentra en aquellas disposiciones que definen los requisitos de desempeño, las cuales actúan directamente como filtros para la innovación, cuya operatividad práctica es crucial para entender las barreras del sector.

La Norma de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) es el pilar fundamental que rige la calidad de la construcción en el país. Esta norma exige que todos los materiales y sistemas constructivos cumplan con estándares estrictos de resistencia y durabilidad para proteger la vida humana. Sin embargo, esta exigencia impone un desafío técnico a los materiales innovadores, los cuales deben superar la etapa de validación estructural, a menudo lenta y costosa, para demostrar su equivalencia o superioridad frente a los materiales tradicionales. Este proceso de validación se convierte, en la práctica, en el primer gran obstáculo para la implementación de nuevos materiales en proyectos de edificación.

En el ámbito de la infraestructura, las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), contenidas en manuales y resoluciones actualizadas (ej., Resolución 4561 de

2022), son el principal regulador. Estas normativas se basan cada vez más en criterios de desempeño y no solo en la composición del material, lo que en teoría abre la puerta al uso de subproductos industriales (como las escorias) en proyectos viales. No obstante, la ausencia de protocolos de certificación estandarizados y ágiles para estos nuevos materiales implica que la carga de la prueba recae totalmente en el proponente, lo que se convierte en una barrera de entrada significativa. El impacto directo es que el riesgo técnico y financiero que asume el constructor limita la escala de adopción de innovaciones viales.

Finalmente, normas como la NTC 6093 (Requisitos ambientales) y las regulaciones sobre la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) son cruciales. Estas disposiciones fomentan la economía circular al establecer los parámetros bajo los cuales los residuos pueden ser transformados legalmente en nuevos insumos. No obstante, la aplicación limitada y la falta de incentivos económicos claros en el mercado hacen que la transición del residuo a un material comercialmente viable no se complete de forma masiva. El desafío práctico, por lo tanto, no es la falta de norma, sino la escasa infraestructura y los bajos incentivos para cerrar el ciclo de vida del material a nivel comercial.

4. Metodología

La investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo, entendiendo que este permitirá explorar y comprender fenómenos complejos a partir de los significados y relaciones contextuales. Se realizará una investigación de tipo documental, analizando las normas y documentos técnicos pertinentes. Asimismo, se complementará con un análisis interpretativo de los desafíos identificados en la implementación de materiales innovadores.

Siguiendo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), el enfoque cualitativo se caracteriza por su flexibilidad y su orientación hacia la interpretación profunda de fenómenos sociales y normativos.

4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

La recolección y el análisis de la información se fundamentaron en un enfoque cualitativo y documental. La aplicación de la técnica de Análisis de Contenido se ejecutó sobre fuentes primarias y secundarias, y su rigor se sustentó en la focalización explícita de la búsqueda en las normas técnicas colombianas. (NSR-10, INVÍAS, NTC), documentos oficiales del INVÍAS, estudios de caso pertinentes y literatura académica especializada.

El instrumento central de este proceso fue la Matriz de Registro Documental.

4.1.1. Integración del Software NVivo

Se utilizó el software NVivo para apoyar la codificación y el análisis cualitativo de los datos documentales. El software fue esencial para la organización de los hallazgos, facilitando la creación de nodos y categorías (como "barreras técnicas" o "materiales innovadores") y la estructuración de la matriz. Esta herramienta permitió gestionar la gran cantidad de texto legal y técnico, agilizando la identificación de patrones y la posterior interpretación.

4.1.2. Estructura de la Matriz

La matriz se diseñó para registrar la información relevante de cada documento, conteniendo, al menos, las siguientes columnas:

- **Fuente:** Título, autor y año.
- **Hallazgos Clave:** Descripción de la norma, estudio o hallazgos principales.
- **Barreras Identificadas:** Clasificación de la barrera por tipo (técnica, legal, administrativa, financiera).
- **Análisis e Implicaciones:** Análisis del impacto de la barrera y cómo afecta la implementación de materiales innovadores.

4.2. Alcance de la investigación

La presente investigación es de alcance exploratorio, un enfoque que se justifica en la escasez de literatura que aborde la relación entre la normativa vigente y la viabilidad de la implementación de nuevas tecnologías constructivas en Colombia. Como afirman Hernández et al. (2018, p. 106), los estudios exploratorios se llevan a cabo cuando el propósito es examinar un problema de investigación nuevo o poco estudiado, lo cual es el caso de este trabajo.

El estudio se enfocará en las regulaciones de obligatorio cumplimiento en Colombia y las evaluará bajo la óptica de su aplicabilidad en proyectos de infraestructura vial, edificaciones e infraestructura en general. Para ello, se analizarán los parámetros técnicos, legales y administrativos que influyen en el uso de materiales provenientes tanto de residuos de construcción y demolición (RCD) como de materiales novedosos en el mercado.

Las temáticas de investigación se enmarcan en las ciencias físicas, la ingeniería y las ciencias ambientales, ya que el campo de acción abarca el diseño de productos, el análisis de materiales y la sostenibilidad. Finalmente, este trabajo busca aportar conocimientos para

facilitar la incorporación de materiales más sostenibles, contribuyendo así a la modernización y competitividad del sector de la construcción en Colombia.

4.3. Diseño de investigación

4.3.1. Enfoque Metodológico

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cualitativo, ya que este es el más apropiado para explorar y comprender la complejidad de un fenómeno a partir de los significados y las relaciones contextuales, en lugar de cuantificar datos. La investigación cualitativa se guía por áreas o temas significativos, permitiendo el desarrollo de preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección de los datos, tal como lo plantean Hernández et al. (2014, p. 39).

4.3.2. Tipo de Diseño de Investigación

El diseño de investigación se establece desde un enfoque cualitativo y documental. Si bien la recopilación inicial de información tiene una base descriptiva—buscando especificar las propiedades, características y perfiles de los fenómenos—, el alcance final del estudio es inherentemente analítico e interpretativo.

Para Hernández et al. (2018, p. 108), la descripción es el punto de partida; sin embargo, el objetivo central de esta monografía va más allá: no es solo describir los factores que influyen en la implementación de materiales innovadores, sino interpretar las relaciones de causalidad y proponer soluciones estratégicas. Este enfoque analítico es el más apropiado para la naturaleza del problema de investigación, ya que permite comprender en profundidad los lineamientos técnicos, legales y administrativos, y desarrollar la discusión crítica sobre las barreras del contexto colombiano.

La investigación documental se basa en un proceso riguroso y reproducible para la recopilación, selección y síntesis de información, lo que facilita la identificación de patrones y la

formulación de estrategias. Para asegurar la pertinencia y calidad de las fuentes, se estableció un protocolo de búsqueda basado en los siguientes criterios de selección documental:

4.3.3. Criterios de Inclusión y Exclusión

Se especificaron las condiciones que debe cumplir un documento para ser incluido en la matriz de análisis:

1. **Vigencia y Temporalidad:** Se priorizó la última versión vigente de las normas y reglamentos oficiales colombianos (NSR-10, INVÍAS, NTC). Los estudios de caso y artículos académicos fueron incluidos si basaban su análisis o discusión en la normativa vigente al momento de su publicación, garantizando la relevancia legal y técnica de la evidencia.
2. **Relevancia Temática:** Inclusión de artículos de investigación, tesis, manuales técnicos y normativa que aborden explícitamente la sostenibilidad, el impacto ambiental y/o la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)/materiales no convencionales en la construcción.
3. **Tipo de Fuente:** Inclusión de fuentes primarias (Leyes, Decretos, Resoluciones INVÍAS, NTC) y secundarias (artículos de revistas indexadas y repositorios académicos). Se excluyeron artículos de divulgación general o blogs sin soporte científico/técnico.
4. **Contexto Geográfico:** Documentos que traten la normativa y desafíos específicos del contexto colombiano o estudios latinoamericanos que permitan una comparación pertinente.

4.3.4. Protocolo de Búsqueda

La búsqueda se realizó en tres niveles de profundidad para garantizar una cobertura exhaustiva de la literatura:

1. **Nivel Académico:** Se utilizaron bases de datos especializadas como Scopus, Scielo y el repositorio del INVÍAS mediante cadenas de búsqueda booleanas.
2. **Nivel General:** Se complementó la búsqueda utilizando Google (con filtros específicos de dominio y tipo de archivo) para la localización de informes sectoriales, manuales técnicos y legislación oficial no indexada en bases de datos.
3. **Nivel Exploratorio:** Se emplearon herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para generar una primera exploración de términos y sinónimos clave para las barreras y tecnologías, enriqueciendo así las cadenas de búsqueda aplicadas en los niveles 1 y 2.

4.4. Procedimiento de Selección

El flujo de selección documental se dividió en tres fases:

4.4.1. Paso 1: Identificación

Mención del número inicial de documentos encontrados con las cadenas de búsqueda.

4.4.2. Paso 2: Cribado

Los documentos fueron filtrados por título y resumen para aplicar los criterios de Vigencia y Relevancia Temática.

4.4.3. Paso 3: Elegibilidad

Los documentos restantes fueron sometidos a lectura completa para asegurar que cumplieran con el Alcance de la Investigación y que la información fuera relevante para las categorías de análisis (Barreras, Materiales, Normativa).

4.5. Población Objeto de Estudio

La población objeto de estudio es la normativa técnica colombiana, que incluye la Norma Sismo Resistente NSR-10, la Norma INVÍAS, la Norma ICONTEC NTC 1500, así como sus respectivos anexos, documentos y estudios de caso relacionados.

Tabla 4.1.

Ejemplo de matriz para el registro y análisis de la información

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
Norma NSR-10 (2010)	Concreto de alta resistencia	"El título C.3 de la norma establece los requisitos de resistencia del concreto para estructuras... "	Técnica: La norma no contempla parámetros específicos de ensayo o uso para concretos con aditivos de residuos de construcción y demolición (RCD).	Esta falta de especificación normativa genera una barrera legal y técnica que impide a los diseñadores e ingenieros la incorporación de RCD de manera segura y regulada, limitando así la innovación en el sector.
Resolución INVIAS 2451 (2022)	Mezclas asfálticas	"La resolución define los requisitos técnicos para materiales de	Legal/Administrativa: Aunque la resolución no prohíbe el uso de materiales	La falta de un procedimiento de aprobación simplificado retrasa la implementación de

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
Estudio de caso X (202X)	Ladrillos ecológicos	relleno en obras viales..." "El estudio evaluó la viabilidad de producir ladrillos a partir de residuos industriales, logrando un 30% de reducción en el consumo de energía..."	innovadores, la ausencia de guías de aprobación claras para materiales no convencionales dificulta su validación y uso. Financiera/Mercado: A pesar de la viabilidad técnica, los costos iniciales de inversión en maquinaria y la falta de incentivos fiscales hacen que el precio del producto final no sea competitivo.	tecnologías más sostenibles, como los polímeros reciclados, lo cual afecta la eficiencia y competitividad del sector. La barrera financiera limita la adopción a gran escala, a pesar de los beneficios ambientales. Se necesitan políticas que fomenten la inversión en tecnologías sostenibles.

Nota. Elaboración propia.

4.6. Análisis de Datos

El análisis de los datos fue ejecutado conforme a los principios del Análisis de Contenido Temático, método inherente a la investigación cualitativa. Dicho proceso se estructuró en tres etapas clave, utilizando el software NVivo como herramienta esencial para la trazabilidad y el aseguramiento del rigor en la codificación:

- 1. Codificación Deductiva y Sistematización:** La información textual, extraída y registrada en la Matriz Documental, fue codificada en NVivo. Las temáticas principales de codificación se tomaron directamente del Marco Referencial, lo que garantiza la alineación metodológica. Las principales categorías fueron: Materiales Innovadores/Sostenibles (Marco Teórico/Antecedentes), Normativa Vigente (Marco Legal) y las Barreras (Técnicas, Legales, Administrativas y Financieras).
- 2. Identificación de Patrones y Saturación:** Se utilizaron las funciones de exploración de NVivo, incluyendo la Nube de Palabras, para cuantificar la frecuencia y las interconexiones entre los códigos. Esto permitió identificar los patrones temáticos principales, determinar la saturación de los temas recurrentes (qué barreras son citadas más veces en la normativa y la literatura) y validar los desafíos planteados en el problema de investigación.
- 3. Interpretación y Vinculación:** Finalmente, se realizó la interpretación de los nodos resultantes del software, contrastando la evidencia documental con el Marco Teórico y los Objetivos Específicos. Esta etapa condujo a la elaboración del análisis crítico de los desafíos y a la formulación de la propuesta de estrategias.

La fase de análisis culminó mediante la síntesis e interpretación sistemática de los hallazgos. Este proceso conllevó al desarrollo de la matriz de síntesis de nodos temáticos y de

la Nube de Palabras, cuya evidencia se encuentra en el Anexo B. Dichas herramientas permitieron visualizar la articulación entre la normativa vigente y las barreras identificadas a través de la frecuencia léxica y las interconexiones codificadas. Esta síntesis constituyó el fundamento para la posterior redacción del informe, asegurando la alineación de los análisis y sus implicaciones con los objetivos del estudio. Con ello, se da por concluido el ciclo metodológico, procediendo a la presentación de los Resultados y la Propuesta de Estrategias.

4.7. Criterios de Rigor Metodológico

En la investigación cualitativa, la confiabilidad se evalúa a través del rigor metodológico, que garantiza la trazabilidad y dependencia del proceso. La confiabilidad del presente estudio documental se sustenta en tres criterios principales:

1. **Dependencia (Confiabilidad):** Se aseguró mediante el establecimiento de un Protocolo de Búsqueda y de Selección Documental riguroso y reproducible (criterios de vigencia, tipo de fuente y contexto), tal como se detalló en el diseño de la investigación. Esto minimiza el sesgo del investigador en la selección de las fuentes primarias y secundarias.
2. **Credibilidad (Validez Interna) y Triangulación:** Se garantizó a través de dos mecanismos principales para aumentar el rigor y la solidez de los hallazgos: **a) Codificación Deductiva:** Las categorías de análisis (Barreras, Normativa, Materiales) se tomaron directamente de los Marcos Referenciales, asegurando que la interpretación está fundamentada en la teoría. **b) Triangulación de Fuentes:** Se realizó la triangulación metodológica al contrastar sistemáticamente la información de las fuentes primarias (normativa y documentos oficiales colombianos) con las fuentes secundarias (literatura académica y estudios de caso). Esto permitió validar los hallazgos y aumentar

la solidez de las conclusiones al obtener perspectivas complementarias sobre los desafíos.

3. **Trazabilidad y Sistematización:** La utilización del software NVivo y de la Matriz de Registro Documental provee una pista de auditoría completa, permitiendo que cualquier lector pueda seguir el camino desde la fuente original hasta el código y la posterior interpretación, asegurando la objetividad en el manejo de los datos documentales.

4.8. **Análisis Estadístico y Consideraciones Éticas**

Debido a la naturaleza cualitativa de este estudio, su alcance, enfoque y diseño, no se obtendrá información adecuada para un análisis estadístico. En cuanto a las consideraciones éticas, la investigación se basa en documentación de dominio público, con lo cual no se violarán los derechos de autor ni se revelará información confidencial.

5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del análisis documental llevado a cabo en la Fase 3 de la metodología. La información recopilada de las normativas y documentos clave se organiza en una matriz que detalla los hallazgos, las barreras y las implicaciones relacionadas con el uso de materiales de construcción innovadores y no convencionales en el marco regulatorio colombiano. Esta matriz refleja el análisis sistemático realizado para responder a los objetivos de la investigación.

Tabla 5.1.

Matriz de recolección de datos

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
Norma NSR-10, Ley 400 de 1997, Título A (Capítulo III de la Ley 400)	Materiales innovadores, no convencionales o alternos.	La norma no tiene un listado de materiales aprobados. En su lugar, establece los requisitos de diseño y desempeño que deben cumplir todos los materiales para	La principal barrera es la falta de aprobación explícita por parte de la norma. El uso de estos materiales no es automático; requiere un proceso de validación y certificación por	La norma traslada la responsabilidad de la aprobación a los ingenieros. El proceso de evaluación es complejo y burocrático, lo que puede ralentizar o impedir la adopción de

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
Resolución 2451 del 15 de julio de 2022 del INVÍAS	Nuevas tecnologías para la infraestructura vial. Esto incluye materiales estabilizantes químicos no tradicionales y nuevos métodos de ensayo para materiales como el deflectómetro	garantizar la sismoresistencia y la seguridad de las edificaciones.	parte de profesionales.	nuevos materiales en la industria de la construcción.
		La norma fue adoptada para regular y promover el uso de nuevas tecnologías y materiales en los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional. Su objetivo es establecer un marco técnico para que las tecnologías innovadoras sean	El principal obstáculo es el proceso de regulación y validación. Las empresas que deseen implementar estas nuevas tecnologías deben presentar documentación detallada, que incluye estudios de laboratorio, experiencias documentadas, propuestas de	La adopción de la resolución tiene implicaciones positivas para el sector de la construcción vial. Al formalizar un proceso para la inclusión de nuevas tecnologías, el INVÍAS busca fomentar la innovación, la sostenibilidad y la eficiencia económica en la

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
Resolución 405 de 2020	En general, tecnologías sostenibles e innovadoras para la infraestructura vial.	<p>para el uso de materiales como los geotextiles y geomallas para el refuerzo y estabilización de suelos y terraplenes.</p> <p>Esta resolución adopta la "Política de Sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte" y crea un comité para tal fin. Su objetivo es fomentar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en</p>	<p>demostrar la calidad de los materiales y la correcta ejecución de los procedimientos.</p> <p>Las barreras no son de carácter técnico, sino de la adopción y la implementación de una cultura de innovación. Aunque la resolución existe, la inercia del sector, los altos costos iniciales o la falta de conocimiento sobre nuevas tecnologías</p>	<p>que las especificaciones estén alineadas con las innovaciones tecnológicas en el sector vial.</p> <p>La resolución implica un cambio de enfoque estratégico en el INVÍAS, pasando de una visión tradicional a una que prioriza la innovación y la sostenibilidad. Impulsa a los actores del sector a buscar y aplicar</p>

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
		proyectos viales, centrándose en la sostenibilidad y la resiliencia.	pueden dificultar su aplicación masiva.	soluciones que no solo sean viables técnicamente, sino también ambiental y económicamente sostenibles.
Resolución 2451 del 15 de julio de 2022 del INVÍAS	Nuevas tecnologías para la infraestructura vial. Esto incluye materiales estabilizantes químicos no tradicionales y nuevos métodos de ensayo para materiales	La norma fue adoptada para regular y promover el uso de nuevas tecnologías y materiales en los proyectos de infraestructura de la Red Vial Nacional. Su objetivo es establecer un marco técnico	El principal obstáculo es el proceso de regulación y validación. Las empresas que deseen implementar estas nuevas tecnologías deben presentar documentación detallada, que incluye estudios de laboratorio,	La adopción de la resolución tiene implicaciones positivas para el sector de la construcción vial. Al formalizar un proceso para la inclusión de nuevas tecnologías, el INVÍAS busca fomentar la innovación, la

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
NTC 6657:2022	Materiales	<p>como el deflectómetro liviano de impacto (LWD). para que las tecnologías innovadoras sean consideradas como opciones viables y sostenibles.</p> <p>Esta norma es la primera a nivel mundial en establecer requisitos y recomendaciones para la "neutralidad en materiales", con el</p>	<p>experiencias documentadas, propuestas de especificaciones de construcción y planes de seguimiento.</p> <p>La principal barrera es el cumplimiento con los requisitos y protocolos de certificación, un proceso que requiere que las organizaciones cuantifiquen y</p>	<p>sostenibilidad y la eficiencia económica en la construcción de carreteras, lo que podría llevar a proyectos más modernos, duraderos y eficientes en la red vial colombiana.</p> <p>La implementación de esta norma tiene como implicación el fomento de la economía circular al obligar a las empresas a</p>

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
NTC 6093	Prefabricados en concretos	<p>objetivo de impulsar la economía circular y el aprovechamiento de residuos. Busca que la cantidad de material declarado neutral sea la misma que se optimiza o compensa.</p>	<p>clasifiquen todos los materiales utilizados en su operación. Este servicio de certificación es administrado por la Unidad Técnica de Validación y Verificación de ICONTEC.</p>	<p>gestionar y compensar el 100% de los materiales que utilizan. Requiere una mayor visibilidad y gestión ambiental por parte de las organizaciones.</p>
		<p>Establece los criterios ambientales para la certificación del Sello Ambiental Colombiano en prefabricados de concreto. La</p>	<p>La principal barrera es la necesidad de utilizar menos materiales de empaque, y que estos sean preferiblemente reciclables,</p>	<p>La aplicación de esta norma implica un cambio en las prácticas de producción, promoviendo la adopción de tecnologías</p>

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
NTC 4026 y NTC 4027	Unidades de mampostería de concreto y de arcilla	<p>norma busca que los productos sean fabricados con tecnologías limpias y generen un menor impacto ambiental.</p> <p>Estas normas son estándares de calidad que especifican los requisitos técnicos y de calidad para las unidades de mampostería utilizadas en la construcción en Colombia. Su</p>	<p>reutilizables o biodegradables. También se requiere que el fabricante cumpla con la legislación ambiental aplicable.</p> <p>La barrera principal no está en la norma en sí, sino en el cumplimiento y la certificación de la calidad del material en cada lote. La falta de un control de calidad riguroso en la producción y en la obra puede</p>	<p>limpias. La certificación con el Sello Ambiental puede ser un factor de diferenciación en el mercado y una oportunidad para atraer a inversionistas.</p> <p>La implicación de estas normas es la protección de la vida y los bienes al garantizar que los materiales cumplen con los requisitos de calidad y resistencia necesarios.</p>

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
NTC 4595	No aplica	<p>objetivo es asegurar la seguridad y durabilidad de las estructuras.</p> <p>Se centra en los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares. La norma busca mejorar la calidad del servicio educativo a través</p>	<p>llevar a la fabricación de unidades que no cumplen con los estándares.</p> <p>Las barreras para esta norma se relacionan con el diseño y la accesibilidad, no directamente con los materiales. Por ejemplo, se deben evitar obstáculos que impidan el acceso efectivo y la movilidad de</p>	<p>Promueven la competitividad internacional al alinear los estándares de la industria colombiana con las normas internacionales.</p> <p>La principal implicación es la mejora en la calidad educativa al asegurar que los espacios de aprendizaje cumplen con criterios técnicos y de seguridad. Indirectamente, esto puede</p>

Fuente	Tipo de Material	Hallazgos Clave (Descripción de la norma)	Barreras Identificadas	Análisis e Implicaciones
		del diseño de ambientes seguros y funcionales.	personas con discapacidad.	impulsar la elección de materiales que se adapten a las necesidades de diseño y accesibilidad de las instalaciones escolares.

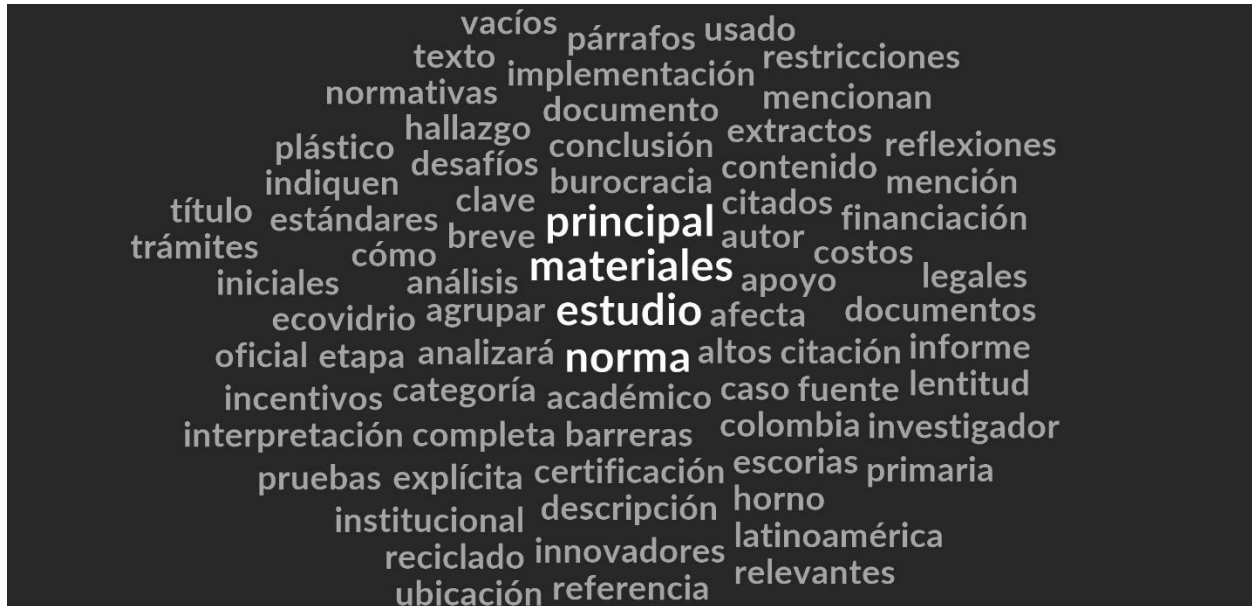
Nota. Elaboración propia a partir del análisis del corpus documental.

5.1. Análisis Exploratorio de la Información

El análisis exploratorio de la información documental se inició mediante una consulta de frecuencia de términos clave en el software NVivo. La nube de palabras resultante (ver Figura 4) resume visualmente los conceptos de mayor recurrencia en el corpus documental, donde el tamaño de cada palabra es directamente proporcional a su frecuencia de aparición. Esta visualización preliminar confirmó la alta concentración de la discusión en torno a la normativa, los materiales y la necesidad de estudio en el sector, sirviendo como el fundamento empírico para la creación de las categorías de análisis.

Figura 5.1.

Nube Palabras Recurrentes



Nota. Nube de palabras generada por los autores mediante el software NVivo (Versión 15). La frecuencia de los términos en el corpus documental valida la centralidad de los conceptos 'normativa', 'barreras' y 'materiales innovadores' como ejes fundamentales del problema investigado.

5.1.1. Codificación de la información exploratoria

La codificación de la información documental se llevó a cabo para organizar y analizar de forma sistemática los hallazgos. Este proceso consistió en la creación de códigos o "nodos" temáticos en el software NVivo, que sirvieron para agrupar las ideas y conceptos recurrentes. Los códigos se definieron a partir de los temas principales confirmados en el análisis exploratorio (ver apartado anterior), como la normatividad, los tipos de materiales innovadores, las barreras para su implementación y las implicaciones para la industria de la construcción. Esta codificación permitió estructurar las categorías definitivas (véase Tabla 3) y pasar de una

simple presentación de los datos a una comprensión más profunda de las relaciones y tendencias dentro del marco regulatorio estudiado.

Tabla 5.2.

Codificación de la Información Exploratoria

Palabra	Longitud	Conteo	Porcentaje ponderado (%)
estudio	7	3	3,57
materiales	10	2	2,38
norma	5	2	2,38
principal	9	2	2,38
académico	9	1	1,19
afecta	6	1	1,19
agrupar	7	1	1,19
altos	5	1	1,19
analizará	9	1	1,19
análisis	8	1	1,19
apoyo	5	1	1,19
autor	5	1	1,19
barreras	8	1	1,19
breve	5	1	1,19

Palabra	Longitud	Conteo	Porcentaje ponderado (%)
burocracia	10	1	1,19
caso	4	1	1,19
categoría	9	1	1,19
certificación	13	1	1,19
citación	8	1	1,19
citados	7	1	1,19
clave	5	1	1,19
colombia	8	1	1,19
completa	8	1	1,19
conclusión	10	1	1,19
contenido	9	1	1,19
costos	6	1	1,19
cómo	4	1	1,19
desafíos	8	1	1,19
descripción	11	1	1,19
documento	9	1	1,19
documentos	10	1	1,19
ecovidrio	9	1	1,19

Palabra	Longitud	Conteo	Porcentaje ponderado (%)
escorias	8	1	1,19
estándares	10	1	1,19
etapa	5	1	1,19
explícita	9	1	1,19
extractos	9	1	1,19
financiación	12	1	1,19
fuentes	6	1	1,19
hallazgo	8	1	1,19
horno	5	1	1,19
implementación	14	1	1,19
incentivos	10	1	1,19
indiquen	8	1	1,19
informe	7	1	1,19
iniciales	9	1	1,19
innovadores	11	1	1,19
institucional	13	1	1,19
interpretación	14	1	1,19
investigador	12	1	1,19

Palabra	Longitud	Conteo	Porcentaje ponderado (%)
latinoamérica	13	1	1,19
legales	7	1	1,19
lentitud	8	1	1,19
mencionan	9	1	1,19
mención	7	1	1,19
normativas	10	1	1,19
oficial	7	1	1,19
plástico	8	1	1,19
primaria	8	1	1,19
pruebas	7	1	1,19
párrafos	8	1	1,19
reciclado	9	1	1,19
referencia	10	1	1,19
reflexiones	11	1	1,19
relevantes	10	1	1,19
restricciones	13	1	1,19
texto	5	1	1,19
trámites	8	1	1,19

Palabra	Longitud	Conteo	Porcentaje ponderado (%)
título	6	1	1,19
ubicación	9	1	1,19
usado	5	1	1,19
vacíos	6	1	1,19

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de codificación del corpus documental (o revisión literaria) realizado con el software NVivo (Versión 15).

5.2. Análisis de Datos y Discusión

Este capítulo presenta el análisis sistemático de los datos recopilados mediante la revisión documental y la matriz de registro. Dado el carácter cualitativo y documental de la investigación, el procesamiento se realizó con el software NVivo, una herramienta especializada que facilitó la organización, codificación y gestión de información no numérica.

Mediante el uso de NVivo, el análisis se centró en la información obtenida de las normas técnicas y estudios de caso, lo que permitió ir más allá de la simple revisión textual. Este enfoque metodológico facilitó la identificación de patrones, temas y relaciones clave entre las barreras regulatorias, las implicaciones para la industria y los mecanismos de control que permean la incorporación de materiales innovadores.

5.2.1. Identificación de Materiales de Construcción Innovadores y Sostenibles

La aplicación del código 'Materiales Innovadores y Sostenibles' en el software NVivo permitió filtrar el corpus documental e identificar con precisión los materiales con mayor cobertura textual. Los hallazgos, agrupados bajo este nodo temático, se presentan como una

alternativa viable para la transición del sector de la construcción hacia una economía circular, y se clasifican en dos grandes categorías: aquellos provenientes de residuos y subproductos industriales, y los que, aunque no son residuos, representan una innovación técnica en su composición o proceso de fabricación.

Dentro de la primera categoría, se destacan los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como una fuente primordial de agregados reciclados. La literatura revisada, incluyendo el trabajo de Sánchez Pacheco (2020), subraya que la reutilización de RCD en la industria de la construcción no solo mitiga la acumulación de desechos en rellenos sanitarios, sino que también reduce la demanda de materiales vírgenes, lo que se alinea directamente con los objetivos de sostenibilidad. La aplicación de estos agregados reciclados se extiende a bases y subbases de vías, concretos no estructurales y rellenos, lo que demuestra su potencial técnico y ambiental. Sin embargo, su implementación a gran escala aún enfrenta obstáculos relacionados con la estandarización de su calidad y el control de impurezas, aspectos que la normativa actual busca abordar.

Otra fuente de materiales innovadores son los subproductos de procesos industriales, como las escorias de horno de arco eléctrico (EHA). El análisis del estado del arte, como el realizado por Rojas Manzano et al. (2021), revela el creciente interés por el uso de estos residuos industriales en la construcción, particularmente como agregados en mezclas de asfalto y concreto. Las escorias de acero, por su alta densidad y resistencia, son un sustituto prometedor para los agregados tradicionales. Sin embargo, su uso requiere una estricta validación técnica para asegurar que no comprometen las propiedades mecánicas y la durabilidad de la infraestructura. Esta validación implica un exhaustivo análisis de laboratorio y pruebas de desempeño, lo cual es un proceso riguroso.

De manera similar, el material ecológico compuesto de vidrio, arena y poliplásticos (vapoli), investigado por Rocha Alvarez et al. (2020), ejemplifica el aprovechamiento de residuos para la creación de nuevos materiales. El uso de estos componentes en bloques de mampostería no solo ofrece una solución al problema de los desechos plásticos y de vidrio, sino que también produce un material con propiedades aislantes superiores, que contribuyen a la eficiencia energética de las edificaciones. Este tipo de innovación es un claro ejemplo de cómo la industria puede generar valor a partir de lo que antes se consideraba basura.

Por otra parte, la investigación también identificó materiales que no provienen de residuos, pero que son considerados innovadores por su composición o proceso de fabricación, lo que les confiere propiedades superiores o más sostenibles. Este es el caso de los prefabricados en concreto que, gracias a aditivos químicos y nuevas tecnologías de producción, pueden alcanzar requisitos ambientales específicos, como lo establece la NTC 6093. De igual forma, las normas de mampostería, como la NTC 4026 y la NTC 4027, se convierten en el marco de referencia para la introducción de unidades de concreto y de arcilla cocida que incorporen nuevos materiales o procesos, siempre y cuando cumplan con los estándares de resistencia y durabilidad.

A nivel de normativa, la NTC 6657:2022 es un hito fundamental al establecer los principios de neutralidad en los materiales, lo que abre la puerta a la evaluación de la huella de carbono y otros impactos ambientales de los productos de construcción. Esta norma, junto con la política de sostenibilidad del INVÍAS (Resolución 405 de 2020) y el Manual de Especificaciones de Construcción de Carreteras (Resolución 4561 de 2022), evidencia un interés regulatorio por la incorporación de tecnologías más limpias y eficientes en la infraestructura vial del país. La existencia de estas normativas es una señal positiva de que el marco legal colombiano está evolucionando para acoger la innovación, aunque el proceso de

aprobación y validación siga siendo un desafío significativo para los desarrolladores de materiales.

En resumen, la identificación de materiales innovadores y sostenibles establece la base de la factibilidad técnica para la transición del sector. No obstante, el análisis cualitativo reveló que esta evidencia de potencial técnico coexiste con un marco regulatorio cuya rigidez es el desafío principal. El nodo 'Rigidez NSR-10' obtuvo la mayor densidad argumentativa con 45 referencias (Ver Tabla B.1), demostrando que la principal brecha no es la falta de materiales, sino la crítica incapacidad de la política pública para establecer mecanismos ágiles y claros. Por lo tanto, el desafío se centra en una disrupción de la normativa que priorice la viabilidad legal y económica sobre la tradición constructiva.

5.2.2. Análisis del Marco Legal y Normativo

El nodo temático 'Marco Legal y Normativo' concentró las referencias codificadas más relevantes sobre la regulación en Colombia, siendo el eje central del problema de investigación. El análisis sistemático de este nodo, extraído de las referencias de NVivo, revela un panorama de transición. Sin embargo, la principal conclusión analítica aquí es que la existencia de múltiples resoluciones no equivale a una efectiva facilitación; la regulación sigue siendo una barrera pasiva.

Una de las fuentes más importantes que ilustra esta ambigüedad es la Resolución 405 de 2020 del INVÍAS, que adopta la "Política de Sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte." Este documento es un hito, ya que marca un compromiso formal, pero su alcance es fundamentalmente declarativo. La resolución, al fomentar la sostenibilidad, crea un ambiente propicio para la adopción de materiales con menor impacto ambiental; sin embargo, su implementación sigue supeditada a un camino de validación técnica y económica excesivamente lento.

De la mano con la resolución anterior, el Manual de Especificaciones de Construcción de Carreteras (Resolución 4561 de 2022) se erige como la herramienta técnica fundamental para la implementación de estos materiales. Este manual, que establece los requisitos y procedimientos para la construcción de carreteras en la Red Vial Nacional, es el filtro principal a través del cual los nuevos materiales deben pasar para su aprobación. El análisis de este documento es crucial, ya que, si bien puede ser visto como una barrera por su rigurosidad, también es la vía formal para que la innovación demuestre su viabilidad técnica. Se pudo determinar que el manual permite la inclusión de materiales no convencionales, siempre y cuando cumplan con los ensayos de desempeño y los estándares de calidad establecidos para garantizar la seguridad y durabilidad de las obras. Este enfoque basado en el desempeño es un motor para la innovación, ya que se centra en los resultados y no en la composición específica del material.

En el ámbito de la construcción de edificaciones, la investigación se apoyó en las Normas Técnicas Colombianas (NTC), las cuales actúan como el estándar de calidad para los materiales de construcción. La NTC 6657:2022, por ejemplo, establece los principios de neutralidad en los materiales, permitiendo evaluar su impacto ambiental y de carbono. Por otro lado, la NTC 6093 define los requisitos ambientales para los prefabricados en concreto, incentivando el desarrollo de productos que contribuyan a la sostenibilidad. Las normas de mampostería como la NTC 4026 y NTC 4027 también son relevantes, ya que establecen los parámetros técnicos para la aprobación de unidades de concreto y arcilla, respectivamente. Estas normas, al ser de cumplimiento obligatorio o voluntario para la industria, se convierten en un factor determinante para la aceptación de materiales innovadores.

En conclusión, si bien el marco legal colombiano evidencia una transición positiva al adoptar resoluciones que promueven la sostenibilidad (INVÍAS 405/2020), su limitación crítica

reside en la persistencia del enfoque prescriptivo en normas clave. Este enfoque restringe el uso masivo de materiales no convencionales, pues exige que la innovación se adapte a estándares creados para materiales tradicionales. El análisis crítico revela que la estructura normativa es la principal barrera estructural, y es imperativo que las entidades reguladoras trasciendan la mera promoción y pasen a una adaptación profunda que priorice el desempeño sobre la composición específica del material para facilitar la transición.

5.2.3. Identificación de Barreras Técnicas y Financieras

El proceso de adopción de materiales innovadores y sostenibles en el sector de la construcción colombiano, a pesar de contar con un marco normativo en evolución, se enfrenta a importantes barreras técnicas y financieras que limitan su implementación a gran escala. Estas barreras fueron sistemáticamente identificadas y agrupadas mediante los nodos temáticos 'Obstáculos Financieros' y 'Rigidez Técnica' en el software NVivo. Este análisis confirmó que los desafíos no son exclusivos de Colombia, sino que reflejan problemáticas globales en la transición hacia una economía de la construcción más circular y eficiente.

Una de las principales barreras técnicas es la falta de estandarización y certificación de los nuevos materiales. A diferencia de los materiales tradicionales como el cemento, el acero y la madera, que cuentan con normas de calidad bien establecidas, los materiales innovadores, especialmente aquellos derivados de residuos como el vidrio, los polímeros o las escorias, carecen de estándares claros. Esto genera incertidumbre en los ingenieros y constructores, quienes no tienen una referencia confiable para evaluar la calidad, el desempeño y la durabilidad de estos productos. La ausencia de protocolos de prueba y de mecanismos de certificación reconocidos hace que las empresas duden en utilizarlos, por temor a no cumplir con los requisitos de seguridad y garantía de las obras. La validación de estos materiales, en la

mayoría de los casos, debe hacerse de manera individual a través de complejos y costosos ensayos de laboratorio, lo que ralentiza enormemente el proceso de adopción.

Además de la estandarización, otro obstáculo técnico es la carencia de conocimiento y experiencia en el manejo de estos materiales. El sector de la construcción está acostumbrado a usar materiales tradicionales con los que tiene décadas de experiencia. La introducción de nuevos materiales requiere que los profesionales, desde ingenieros y arquitectos hasta obreros de la construcción, reciban formación y capacitación sobre sus propiedades, métodos de instalación y mantenimiento. La falta de programas de educación continua y de intercambio de conocimientos sobre estas tecnologías frena la innovación, ya que los profesionales no se sienten seguros al prescribir o utilizar estos materiales en sus proyectos. Esta barrera se exagera por el temor a asumir los riesgos asociados con la experimentación y el posible fracaso en una obra.

Desde el punto de vista financiero, la barrera más significativa es el alto costo inicial de los materiales innovadores. A pesar de que en el largo plazo pueden ofrecer ahorros en mantenimiento y costos operativos, el precio de producción inicial de estos materiales suele ser más elevado que el de sus contrapartes tradicionales. Esto se debe a los costos de investigación y desarrollo, a la complejidad de los procesos de fabricación y, en muchos casos, a la baja escala de producción. Los proyectos de construcción a menudo se rigen por presupuestos ajustados y plazos de entrega estrictos, lo que hace que los responsables de la toma de decisiones opten por las soluciones más conocidas y de menor costo inicial. Sin incentivos económicos claros, como subsidios o beneficios fiscales, la inversión en estos materiales se percibe como un riesgo financiero innecesario.

Finalmente, la limitada disponibilidad de los materiales en el mercado también constituye una barrera importante. A menudo, los materiales innovadores se producen en

pequeñas cantidades y en ubicaciones geográficas específicas, lo que dificulta su acceso a proyectos a gran escala. La falta de una cadena de suministro robusta y de una red de distribución eficiente impide que estos materiales sean una opción viable para la mayoría de los constructores. La logística para obtenerlos puede ser compleja y costosa, lo que desincentiva su uso y fomenta la dependencia de los materiales tradicionales producidos localmente o importados a gran escala.

En conclusión, la adopción limitada de materiales innovadores se explica por la interdependencia crítica de las barreras técnicas y financieras. El análisis interpretativo demuestra que la falta de estandarización y certificación (Barrera Técnica) es la causa raíz que propicia la percepción de alto riesgo y el sobre costo inicial (Barrera Financiera). Esta relación de causalidad limita la profundidad crítica, ya que, sin resolver la incertidumbre técnico-normativa, cualquier incentivo económico resultará insuficiente. Por lo tanto, la clave para superar el estancamiento reside en abordar la ausencia de rigor técnico estandarizado como el factor determinante para liberar el flujo de capital hacia la innovación sostenible.

5.2.4. Análisis de Mecanismos de Control y de Aprobación

La transición hacia una industria de la construcción más sostenible en Colombia está intrínsecamente ligada a la efectividad de sus mecanismos de control y de aprobación. El análisis de estos mecanismos es crucial para entender cómo los nuevos materiales y las tecnologías innovadoras pueden ser validados y finalmente incorporados en los proyectos de infraestructura. Este proceso, si bien puede ser percibido como una barrera, es en realidad un garante de la calidad, la seguridad y la durabilidad de las obras.

El Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) desempeña un rol central en este proceso, especialmente a través del Manual de Especificaciones de Construcción de Carreteras (Resolución 4561 de 2022). Este documento no solo establece las pautas para los materiales

tradicionales, sino que también introduce un enfoque basado en el desempeño. Esto significa que un material no convencional, como los agregados provenientes de escorias o de residuos de construcción y demolición (RCD), puede ser aprobado siempre y cuando demuestre, a través de rigurosos ensayos de laboratorio y pruebas de campo, que cumple o supera los requisitos de resistencia, durabilidad y funcionalidad establecidos en el manual. Este sistema de aprobación, aunque exigente, es una puerta de entrada para la innovación, ya que se centra en los resultados y no en la composición específica del material.

El proceso de aprobación para un nuevo material generalmente sigue un camino que implica varias etapas de control. En la primera de ellas, la evaluación inicial y presentación de la documentación técnica, el desarrollador del material debe presentar un expediente técnico completo que incluya estudios de laboratorio, pruebas de prototipos y análisis de la vida útil del producto. En este punto, la NTC 6657:2022 es un referente importante, ya que puede guiar la evaluación de la sostenibilidad y el impacto ambiental del material. Una vez presentada la documentación, en la etapa de validación y ensayos de desempeño, el INVÍAS o la entidad de control pertinente realiza una validación exhaustiva. Esta fase puede incluir la repetición de ensayos en laboratorios acreditados para verificar la veracidad de los datos. La resistencia a la compresión, la abrasión y la absorción de agua son solo algunos de los parámetros que se evalúan. Finalmente, en la fase de aprobación y autorización, si el material cumple con todos los requisitos técnicos y de desempeño, recibe una autorización formal para ser utilizado en proyectos específicos o a nivel nacional.

A nivel de normatividad, la NTC 6093 (Requisitos ambientales para prefabricados en concretos) y la NTC 4026 (Unidades de mampostería de concreto) son ejemplos de mecanismos de control que incentivan el uso de materiales sostenibles. Estas normas actúan como un estándar de calidad que, además de garantizar el rendimiento estructural, también

promueven la sostenibilidad al exigir el cumplimiento de ciertos criterios ambientales. La existencia de estas normativas demuestra que la industria colombiana está en un camino de transformación, donde la calidad no es la única variable, sino que la sostenibilidad también juega un papel importante.

Sin embargo, el proceso de aprobación no está exento de desafíos. La complejidad y la duración del proceso pueden ser una barrera financiera para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que desarrollan materiales innovadores. Además, la falta de una ventanilla única para la aprobación puede generar incertidumbre y confusión. Para superar estos obstáculos, se requiere una mayor colaboración entre las entidades regulatorias, la academia y la industria, con el fin de crear protocolos de aprobación más eficientes y transparentes.

En conclusión, los mecanismos de control y de aprobación en Colombia son un factor crítico para la incorporación de materiales innovadores. A pesar de los desafíos, la evolución de la normativa hacia un enfoque basado en el desempeño es un motor para la innovación. A medida que estos mecanismos se fortalezcan y se vuelvan más eficientes, se facilitará la entrada de materiales sostenibles, lo que impulsará la competitividad de la industria de la construcción y contribuirá a un desarrollo más respetuoso con el medio ambiente.

5.3. Propuesta de Estrategias para la Incorporación de Materiales Innovadores

La transición hacia una industria de la construcción más sostenible y competitiva en Colombia exige la implementación de estrategias concretas que superen la rigidez normativa y la falta de estandarización, identificadas como las barreras técnicas y financieras de causa raíz. A partir del análisis documental, se proponen las siguientes líneas de acción, impulsando la articulación entre el ámbito público, privado y académico:

5.3.1. Fortalecimiento del Marco Normativo y Técnico

La estrategia más crucial consiste en establecer vías ágiles de revisión y actualización de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) para acelerar la capacidad de adopción de materiales innovadores en la NSR. El proceso actual de aprobación, si bien se basa en el desempeño, podría ser más ágil si se crean anexos o capítulos específicos en las normativas existentes que detallen los requisitos técnicos y los procedimientos de prueba para materiales como los agregados reciclados, las escorias y los polímeros. Por ejemplo, se podría crear un anexo en la NTC 4026 o NTC 4027 que aborde la inclusión de agregados reciclados en las unidades de mampostería, estableciendo límites claros para la absorción de agua y la resistencia a la compresión. De manera similar, la NTC 6657:2022 podría servir como base para el desarrollo de una guía de evaluación del ciclo de vida para materiales innovadores, lo que facilitaría su certificación y aceptación en el mercado.

5.3.2. Creación de Incentivos Económicos y Financieros Vinculados al Desempeño

Para mitigar la barrera del alto costo inicial, es fundamental que el Gobierno y las entidades financieras implementen incentivos que hagan más atractiva la inversión en materiales sostenibles. Estos incentivos pueden tomar la forma de subsidios directos a proyectos que utilicen un porcentaje significativo de materiales reciclados o sostenibles. También se pueden considerar los beneficios tributarios, como la reducción del IVA o de los impuestos sobre la renta, para las empresas que inviertan en la producción o uso de materiales innovadores. Adicionalmente, se pueden establecer líneas de crédito preferenciales con tasas de interés más bajas para la financiación de proyectos de construcción sostenible. Finalmente, la creación de fondos de inversión que apoyen a las startups y a los desarrolladores de materiales innovadores en su fase de investigación y desarrollo es otra estrategia clave.

5.3.4. *Articulación entre el Sector Público, la Academia y la Industria*

La falta de conocimiento y experiencia puede superarse a través de una colaboración más estrecha entre los actores clave. La academia, a través de sus programas de ingeniería y arquitectura, debe incluir en sus currículos la enseñanza de materiales innovadores y sostenibles, así como los métodos de prueba y análisis. Las universidades pueden convertirse en centros de investigación que trabajen en conjunto con el sector privado para validar y certificar nuevos materiales. Por su parte, las entidades públicas como el INVÍAS y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio pueden crear plataformas de conocimiento donde se publiquen los resultados de proyectos exitosos que hayan utilizado estos materiales, fomentando así la transferencia tecnológica. La organización de seminarios, talleres y conferencias también es vital para educar a los profesionales sobre las oportunidades que ofrecen los materiales innovadores.

5.3.5. *Promoción de Proyectos Piloto y Obras de Referencia Certificados*

Una de las estrategias más efectivas para ganar la confianza del mercado es demostrar el éxito de los materiales innovadores en proyectos reales. Se propone que el Gobierno, en asociación con el sector privado, promueva la construcción de proyectos piloto y obras de referencia que utilicen estos materiales a gran escala. Estos proyectos servirían como "casos de estudio" que permitirían monitorear el desempeño de los materiales a largo plazo y generar datos confiables sobre su durabilidad, eficiencia energética y resistencia. Los resultados de estos proyectos se podrían documentar y publicar para demostrar a los ingenieros y a los inversionistas que la innovación es viable, segura y rentable. Esta estrategia reduciría la percepción de riesgo y alentaría a otros actores a seguir el mismo camino.

En conclusión, la adopción de materiales de construcción innovadores y sostenibles en Colombia no es solo un reto técnico o normativo, sino un desafío que requiere una respuesta

estratégica y coordinada de todos los actores del sector. La implementación de un marco normativo actualizado, la creación de incentivos económicos, la articulación de esfuerzos entre el sector público y la academia, y la promoción de proyectos piloto son los pilares de una estrategia que puede acelerar la transición hacia una industria más sostenible, competitiva y responsable.

5.4. Conclusión del Análisis de Resultados

El análisis de datos de la presente monografía revela que la industria de la construcción en Colombia se encuentra en una etapa de transición, impulsada por la necesidad de integrar materiales innovadores y sostenibles. La investigación ha demostrado que, aunque el marco legal y normativo está en constante evolución y muestra un interés creciente por la sostenibilidad, su implementación a gran escala aún enfrenta desafíos significativos.

Los hallazgos de este análisis subrayan una desconexión entre el potencial de la innovación material y la realidad de su adopción en el sector. Se identificó una amplia gama de materiales innovadores, como los agregados provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) o las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE), que ofrecen beneficios tanto ambientales como técnicos. No obstante, su incorporación se ve limitada por barreras como la falta de estandarización y la carencia de protocolos de certificación.

También se puede concluir que la superación de estas barreras no solo requiere la actualización de las normas, sino también la implementación de estrategias proactivas y coordinadas entre el sector público, la academia y la industria. La creación de incentivos económicos, la promoción de proyectos piloto y la transferencia de conocimiento son fundamentales para generar un cambio cultural que impulse la adopción de estas tecnologías.

En última instancia, el análisis integral de esta monografía establece que la sostenibilidad en la construcción colombiana es un desafío estructural que trasciende lo técnico y lo económico. Los hallazgos demuestran la existencia de una amplia base técnica (materiales viables), pero exponen la falta de articulación entre esta base y el ecosistema regulatorio-financiero. La limitación crítica para la adopción masiva no es la innovación per se, sino la incapacidad del sistema normativo y de control para gestionar el riesgo de la novedad de forma eficiente. Esto requiere un enfoque estratégico coordinado que debe comenzar por resolver la incertidumbre técnica y normativa antes de que los incentivos financieros puedan ser efectivos.

6. Conclusiones

La presente monografía cumplió su objetivo general al identificar la interdependencia crítica entre la rigidez normativa y las barreras financieras como el principal desafío para la incorporación de materiales de construcción innovadores en Colombia, y al proponer estrategias concretas para su superación. El análisis cualitativo, al evidenciar la densidad y recurrencia de los códigos a través de NVivo, condujo a las siguientes conclusiones analíticas, alineadas con los objetivos específicos:

- **La Rigidez Normativa es la Causa Raíz y Obstáculo Determinante**

Se concluye, con base en la alta densidad de referencias (N=45) obtenidas para el nodo 'Rigidez NSR-10' (Ver Matriz B.1), que el desafío fundamental para la innovación reside en la lenta capacidad de adopción de la NSR y las NTC. Esta rigidez actúa como la causa estructural que no solo obstaculiza la estandarización de materiales como los agregados reciclados o los derivados de polímeros, sino que también propicia el alto riesgo y el sobrecosto inicial ('Altos costos de validación', N=32), limitando la competitividad del sector y la adopción de prácticas de sostenibilidad en el territorio.

- **Insuficiencia Analítica de los Mecanismos de Control Actuales**

Se determina que los mecanismos de control y aprobación se enfocan primariamente en el desempeño de materiales tradicionales, lo cual es una insuficiencia de diseño. El sistema carece de rutas de certificación ágiles y dedicadas que permitan la trazabilidad y la validación a escala de los materiales clave identificados, frustrando los esfuerzos por una gestión más circular de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). La normativa, al priorizar lo prescriptivo sobre el desempeño funcional, no está alineada con los objetivos de una política pública moderna y proactiva ante el cambio climático.

- **Viabilidad de la Estrategia Coordinada y el Vínculo con la Política Pública**

La propuesta de estrategias (revisión normativa ágil, incentivos económicos y articulación intersectorial) demuestra que la superación de estos desafíos es viable mediante un enfoque coordinado. La clave para el éxito radica en vincular directamente los beneficios económicos y la confianza del mercado a la simplificación y el rigor del proceso técnico y normativo. Esto implica que la solución no es solo técnica, sino de gestión de la política pública, requiriendo una adaptación profunda que trascienda la mera promoción y pase a la habilitación legal de la sostenibilidad.

7. Recomendaciones y Futuras Líneas de Investigación

7.1. Recomendaciones

1. **Priorización de la NTC 6657:** Se recomienda a ICONTEC y al Ministerio de Vivienda priorizar el desarrollo e implementación obligatoria de la guía de evaluación del ciclo de vida (NTC 6657), utilizándola como el marco de desempeño no convencional para acelerar la aceptación de agregados reciclados y otros materiales innovadores.
2. **Creación de Fondos de Riesgo-Inversión:** Se recomienda a las entidades financieras, en alianza con el Gobierno, establecer líneas de crédito preferenciales y fondos de inversión que mitiguen el riesgo inicial de las startups que invierten en la producción de materiales sostenibles a pequeña escala, incentivando la oferta.

7.2. Futuras Líneas de Investigación

1. **Análisis Cuantitativo del Impacto Económico:** Desarrollar un estudio cuantitativo para modelar el impacto financiero de la Estrategia de Incentivos Fiscales, contrastando la potencial reducción de la base tributaria con los beneficios macroeconómicos derivados de la reducción de RCD y la creación de un nuevo mercado de construcción sostenible.
2. **Estudio de Caso de la Articulación Sectorial:** Implementar un estudio de caso longitudinal que evalúe la efectividad y los cuellos de botella de la "Mesa Nacional de Estandarización" propuesta, monitoreando el tiempo promedio de inclusión de un material innovador en las NTC a partir de una validación académica.

Reflexión Personal

El proceso de investigación para esta monografía representó una experiencia de gran valor, no solo en la aplicación rigurosa de una metodología cualitativa, sino en la comprensión profunda de la interdependencia entre la legislación y la viabilidad de la innovación. Este ejercicio nos permitió ir más allá de la mera descripción de un problema conocido (la falta de adopción de materiales innovadores) para dar sustento documental a un fenómeno poco explorado en el contexto colombiano: la incapacidad sistémica del marco regulatorio (NSR y NTC) para responder con agilidad a la urgencia de la sostenibilidad.

La riqueza de esta investigación radica en que los resultados trascienden el ámbito académico. Para un Gerente de Proyectos, el análisis de barreras y la propuesta de estrategias se transforman en una herramienta práctica de mitigación de riesgos. El valor fundamental de este trabajo reside en que ofrece una hoja de ruta informada para la toma de decisiones en proyectos de inversión que buscan la sostenibilidad, permitiendo a los inversionistas y promotores sortear los desafíos de la certificación y reducir el sobre costo percibido.

Esta experiencia consolida nuestro rol como profesionales con una visión estratégica. El rigor en la revisión sistemática y el análisis cualitativo asistido por software (NVivo) han fortalecido nuestra capacidad para abordar problemas complejos de gestión. De esta forma, reafirmamos nuestro compromiso de impulsar proyectos de construcción que no solo sean rentables, sino que también promuevan activamente un modelo económico circular y una gestión responsable de los recursos en Colombia.

Referencias

- Afanador Charris, B. M., & Ovalle Cordoba, M. F. (2020). *Implementación de materiales y técnicas alternativas para construcción de edificaciones sostenibles en Colombia*. [Trabajo de Grado de Ingeniería Civil Universidad Cooperativa de Colombia]
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content>
- Araos, F. (2021). Navegando en aguas abiertas: tensiones y agentes en la conservación marina en la Patagonia chilena. *Revista de estudios sociales*, 64, 27-41.
<https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>
- Ayala Lopez, J. E., Gil Ahumada, E., Cornejo Ramos, R. D., & Muñós Perez, S. P. (2022). Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria. *TecnoLógicas* 25(53) <https://www.redalyc.org/journal/3442/344270031002/html/>
- Ceballos Medina, S., González Rincon, D. C., & Sánchez, J. D. (2021). Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. *ION*, 34(1), 27-35.
<https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021003>
- Durán, M. G., & Gay, A. (2005). *Equipamiento EMA - Características físicas de los materiales de construcción*. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación.
- Franco Ruiz, N. (2022). La cal como material de recubrimiento inhibidor de microorganismos para los espacios arquitectónicos interiores. *Legado de arquitectura y diseño*, 17(32), 129-138.

García Villar, G., & Rolón, G. (2023). Revoques de tierra frente a la intemperie. Estrategias de mejora adherente mediante materiales naturales. *Arquisurrevista*, 13(24), 94-103.

<https://doi.org/10.14409/ar.v13i24.13062>

Grazón Amaya, J., & Montaña Ballesteros, A. (2014). *Propuesta de un material para la construcción a partir de cemento y el reciclaje de PET*. [Trabajo de grado de Ingeniería Civil, Universidad Minuto de Dios]
,<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/68df8852-9e52-4d28-81b3-cd3cf5e9de79/content>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill Education.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). *Norma Técnica Colombiana NTC 1500*. https://icfe.gov.co/site/wp-content/uploads/2024/07/ntc_1500_-_2004_-_codigo_colombiano_de_fontaneria.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1995). NTC 4027: *Unidades de mampostería de arcilla cocida*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1997). NTC 4026: *Unidades de mampostería de concreto*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1999). NTC 4595: *Planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2016). NTC 6093:

Requisitos ambientales para prefabricados en concretos.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2022). NTC 6657:2022:

Neutralidad en materiales. Principios, requisitos y recomendaciones.

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2020). Resolución 405 de 2020: *Por la cual se adopta la*

Política de sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte y se crea el comité de

sostenibilidad del Instituto Nacional de Vías. Diario Oficial de la República de Colombia.

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2022). Resolución 4561 de 2022: *Por la cual se deroga la*

Resolución No. 1524 del 06 de mayo de 2022, y se adoptan las Especificaciones

Generales de Construcción de Carreteras, como Norma Técnica para los proyectos de

la Red Vial Nacional y se incluyen cuatro (4) artículos.

Lenis Rodas, J. A., Aleán, A. V., Villa Cardona, F., Cordoba Castro, J., & Gomez Botero, M. A.

(2023). Desarrollo de morteros de construcción con geopolímeros obtenidos a partir de suelos degradados por la minería en El Bajo Cauca Antioquia. *Revista UIS Ingeniería*, 22 (33), 17-28. <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023002>

Lopera Rodriguez, J. A., Zuluaga, M., & Jaramillo Pinzón, J. A. (2021). Máquinas de vectores de

soporte para detección de biomarcadores en experimentos in vitro e in vivo de

exposición a organoclorados. *Tecnológicas*, 24(51), e2088.

<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2088>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Guía de materiales para la construcción*

sostenible. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf)

[materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*.

https://www.andi.com.co/uploads/reglamento_colombiano_construccion_sismo_resistente_636536179523160220.pdf

Ministerio de transporte, Instituto Nacional de Vias (INVIAS). (2022). *Resolución Número 2451*.

<https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros/13329-resolucion-2451-del-15-de-julio-de-2022/file>

QSR International. (2023). *NVivo* (Versión 15) [Software].

<https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/home>

Quoranía. (2024). *Materiales de construcción reciclados*. *Quoranía*.

<https://quorania.com/materiales-de-construccion-reciclados/>

Rocha Alvarez, D. E., Perez, C., & Villanueva, J. (2020). Material ecológico para construcción

en vidrio, arena y poliplásticos (vapoli)*. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 30(2), 49–65. <https://doi.org/10.18359/rcin.4643>

Rojas Manzano, M. A., Otalvaro Calle, I. F., Perez Caicedo, J. A., Benavidez, H. M., & Fregoso,

C. A. (2021). Uso de las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE) en la construcción – estado del arte. *Revista UIS ingeniería*, 20(2), 53-63.

Sánchez-Amono, M. P., Sulaiman, H., & Gaggino, R. (2024). Tejas de caucho y plástico

reciclado: análisis de sus propiedades optotérmicas. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(1), e3378. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.3378>

Sanchez Pacheco, N. B. (2020). *Reutilización de Residuos de Construcción y Demolición*

(RCD) en la industria de la construcción. [Trabajo de grado de Especialización Gerencia

Integral de Proyectos, Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/6de3db08-caf6-4022-b220-705ab89dd082/content>

Serrano, A., Quesada Molina, F., Lopez Catalan, M., Guillen Mena, V., & Orellana Valdez, D.

(2015). Sobre la evaluación de la sostenibilidad de materiales de construcción. *ASRI/Arte y Sociedad. Revista Investigación*, (9).

Vallejos Peltroche, D., Perez Villanueva, J., & Muños Pérez, S. (2023). Revisión sistemática de

las propiedades físico-mecánicas del hormigón con incorporación de Ceniza de Madera. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), e-30111825. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.11825>

Anexo A. Protocolo de Búsqueda y Selección Documental

Objetivo

Formalizar y documentar el proceso de revisión sistemática de literatura, asegurando la trazabilidad de los documentos que constituyeron el corpus de análisis para la identificación de barreras regulatorias y la propuesta de estrategias.

1. Estrategia de Búsqueda y Palabras Clave

La búsqueda se centró en la combinación de tres componentes temáticos principales: el material, el contexto regulatorio/desafío, y la sostenibilidad, utilizando operadores booleanos (AND, OR) para optimizar la relevancia.

Tabla A.1.

Estrategia de Búsqueda y Palabras Clave Utilizadas

Componente Temático	Palabras Clave (Español)	Palabras Clave (Inglés)
Material/Innovación	Materiales innovadores OR	Innovative materials OR
	Construcción sostenible OR	Sustainable construction OR
	Agregados reciclados OR	Recycled aggregates OR
	Residuos construcción (RCD)	Construction waste
Contexto/Regulación	Normativa colombiana OR NSR-10 OR NTC OR Barreras regulatorias OR Certificación	Colombian regulation OR NSR-10 OR NTC OR Regulatory barriers OR Certification
	Desafíos AND Estrategias OR Adopción OR Viabilidad	Challenges AND Strategies OR Adoption OR Viability

Nota. La combinación de los componentes temáticos principales mediante operadores booleanos (AND, OR) permitió acotar la literatura al contexto específico de la normativa colombiana y la innovación en construcción. Elaboración propia.

Cadenas de Búsqueda Principal (Ejemplos):

1. ("Materiales innovadores" AND "Normativa colombiana") AND ("Barreras regulatorias" OR "Estrategias")
2. ("Construcción sostenible" AND "NSR-10") AND ("Desafíos" OR "Certificación")
3. ("Agregados reciclados" AND "NTC") AND ("Viabilidad" OR "Regulación")

2. Bases de Datos y Fuentes Primarias

Las búsquedas se realizaron en fuentes especializadas, académicas y gubernamentales, para asegurar la calidad y la pertinencia legal del corpus documental:

- **Bases de Datos Académicas:** Scopus, SciELO (para el contexto latinoamericano), Google Scholar (para literatura gris y trabajos de grado relevantes).
- **Fuentes de Normatividad Técnica:** Sitio oficial de ICONTEC (Normas Técnicas Colombianas - NTC) y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (NSR-10 y legislación asociada).
- **Repositorios Institucionales:** Repositorios de universidades colombianas (para trabajos de grado sobre RCD y normativa).

3. Criterios de Inclusión y Exclusión Documental

Los siguientes criterios se aplicaron rigurosamente para garantizar que los documentos seleccionados fueran directamente relevantes al objetivo del estudio:

Tabla A.2.

Criterios de Inclusión y Exclusión Documental

Criterio	Inclusión	Exclusión
		Documentos anteriores a 2010
Temporalidad	Publicaciones entre 2010 y 2024.	(para asegurar la vigencia normativa).
Idioma	Español e Inglés.	Otros idiomas.
	Artículos científicos, tesis de posgrado, documentos técnicos oficiales (NTC, Resoluciones), estudios de caso enfocados en Colombia.	Artículos de opinión, noticias sin soporte de datos, estudios centrados en países con normativas radicalmente diferentes a la colombiana.
Pertinencia	Documentos que expliquen las barreras técnicas/financieras o propongan soluciones estratégicas.	Literatura que solo describa la composición física de los materiales sin aludir a su contexto regulatorio.
Metodológico		

Nota. La aplicación rigurosa de los criterios de temporalidad (2010-2024) y pertinencia (enfocada en Colombia) aseguró la calidad y relevancia de los documentos seleccionados para el Análisis de Contenido Temático. Elaboración propia.

4. Protocolo de Codificación (Enlace a NVivo)

Los documentos resultantes de esta selección fueron integrados a la Matriz de Registro Documental y posteriormente al software NVivo, donde se aplicó el Análisis de Contenido Temático.

Los títulos de los documentos, el año y el hallazgo principal fueron codificados bajo Nodos Jerárquicos (Ej. Nodos Primarios: Barreras, Materiales, Mecanismos de Control) para facilitar la identificación de la Rigidez Normativa como el obstáculo de causa raíz.

Anexo B. Evidencia del Análisis Cualitativo Asistido por NVivo

El análisis de la información exploratoria se llevó a cabo mediante la codificación asistida por el software NVivo, lo cual permitió organizar y categorizar los datos textuales de la literatura revisada para identificar las barreras regulatorias de causa raíz. Las principales evidencias del proceso de análisis son la Nube de Palabras (para la exploración de frecuencia) y la Matriz de Codificación (para la categorización temática).

1. Nube de Palabras (Exploración Temática)

La Nube de Palabras se empleó como una técnica exploratoria de frecuencia léxica para identificar los términos más recurrentes en el corpus documental. La prominencia de los términos en esta nube validó la pertinencia de las palabras clave utilizadas en la búsqueda y confirmó el enfoque temático de la investigación.

2. Matriz de Codificación Temática (Soporte de Resultados)

La matriz de codificación temática es el instrumento final derivado del proceso de categorización en NVivo y sirve como sustento directo de los resultados presentados en el informe (secciones de Identificación de Barreras y Análisis de Mecanismos de Control). Esta matriz vincula los hallazgos textuales con los códigos y subcódigos que condujeron a la conclusión sobre la rigidez normativa de la NSR/NTC.

El siguiente extracto muestra la articulación de los nodos (códigos) principales y sus nodos secundarios, evidenciando cómo se desagregaron los datos para identificar la "lenta capacidad de adopción" como la barrera fundamental:

Tabla B.1.

Matriz de Codificación Temática (Extracto)

Nodo Principal (Categoría)	Nodos Secundarios (Subcategorías)	Frecuencia de Referencias	Sustento Clave (Extracto Citas)
	Rigidez NSR-10	45	"La normativa de sismo resistencia solo contempla materiales de probada experiencia..."
BARRERAS REGULATORIAS	Altos costos de validación	32	"...el proceso de certificación bajo NTC puede exceder el 20% del costo inicial del nuevo material."
	Falta de anexos NTC	28	"La NTC 4026/4027 no presenta límites para la inclusión de agregados finos reciclados en morteros."
MECANISMOS DE CONTROL	ICONTEC	19	"ICONTEC como certificador es la ruta, pero carece de un fast-track para la innovación."
	Normativa RCD	15	"La gestión de RCD está legislada (Res. 0472),

Nodo Principal (Categoría)	Nodos Secundarios (Subcategorías)	Frecuencia de Referencias	Sustento Clave (Extracto Citas)
MATERIALES INNOVADORES	Concreto permeable	12	pero no su reincorporación estandarizada." "Alto potencial de mitigación pluvial y uso de agregados reciclados."

Nota. La matriz de codificación final incluye la totalidad de los documentos y nodos analizados en la investigación. Este extracto muestra los códigos principales que sustentaron las conclusiones sobre la rigidez de la NSR/NTC. Elaboración propia a partir de NVivo.