

**Analítica de datos para la gestión predial: diseño de un sistema de soporte a la decisión  
para la viabilidad jurídica y económica de servidumbres de energía en el nororiente de  
Caldas**

Maria Fernanda Cuervo Aristizabal

Asesor

Camilo Enrique Romero Parra

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2026

## **Nota de Aceptación**

---

Camilo Enrique Romero Parra

---

Julio Eduardo Mejia Manzano

### **Dedicatoria**

A Dios, por brindarme la fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa; a mi familia, por su apoyo incondicional y motivación constante; a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, a sus docentes y especialmente a mi asesor, Camilo Enrique Romero Parra, por su orientación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo; y finalmente, a todas las personas y a la organización que hicieron posible esta investigación mediante su apoyo, confianza y aporte profesional.

## Resumen

La presente investigación desarrolla un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) diseñado para optimizar la gestión predial en proyectos de infraestructura energética en el departamento de Caldas. Ante la complejidad técnica y jurídica que supone la legalización de servidumbres para la interconexión de la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH), este estudio ejecuta una transición desde modelos de gestión tradicionales hacia una gobernanza de datos basada en la metodología CRISP-DM. A partir de un universo de 345 predios ubicados en los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná, se integraron fuentes heterogéneas que abarcan estudios de títulos, levantamientos topográficos y avalúos comerciales bajo la normativa vigente. El modelo, fundamentado en una arquitectura de reglas de negocio, permitió clasificar la salud jurídica del corredor de manera masiva, identificando rutas de gestión diferenciadas según el nivel de riesgo registral y la viabilidad técnica. El hallazgo principal del estudio es la validación de la desafección técnica como estrategia de eficiencia operativa; mediante esta lógica de decisión prescriptiva, el sistema identifica nodos de ineficiencia administrativa donde el esfuerzo de formalización no se traduce en un beneficio proporcional para el proyecto, permitiendo una optimización estratégica de los recursos de la organización. Finalmente, la implementación de un tablero de control dinámico dota a la gerencia de una herramienta de supervisión, facilitando la certeza legal del suelo y aportando a la confiabilidad del servicio eléctrico regional. Los resultados demuestran que la ciencia de datos aplicada a sectores regulados reduce significativamente la incertidumbre jurídica y se posiciona como un motor de rentabilidad y transparencia en la ejecución de infraestructuras lineales

**Palabras clave:** Servidumbres, Predios, Analítica, CRISP-DM, Eficiencia.

## Abstract

This research develops a Decision Support System (DSS) designed to optimize land management in energy infrastructure projects within the Department of Caldas. Given the technical and legal complexity involved in the legalization of easements for the interconnection of the Small Hydroelectric Power Plant (PCH), this study executes a transition from traditional management models toward data governance based on the CRISP-DM methodology. Based on a universe of 345 properties located in the municipalities of Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria, and Samaná, heterogeneous sources were integrated, including title studies, topographic surveys, and commercial appraisals under current regulations. The model, grounded in a business rules architecture, enabled the mass classification of the corridor's legal health, identifying differentiated management routes based on the level of registration risk and technical feasibility. The study's primary finding is the validation of technical de-affectation as an operational efficiency strategy; through this prescriptive decision logic, the system identifies administrative inefficiency nodes where formalization efforts do not translate into a proportional benefit for the project, allowing for a strategic optimization of organizational resources. Finally, the implementation of a dynamic dashboard provides management with a supervision tool, facilitating legal land certainty and contributing to the reliability of the regional electrical service. The results demonstrate that data science applied to regulated sectors significantly reduces legal uncertainty and positions itself as a driver of profitability and transparency in the execution of linear infrastructures.

**Keywords:** Easements, Properties, Analytics, CRISP-DM, Efficiency.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	12
Descripción del Problema .....	13
Planteamiento del Problema .....	14
Formulación del Problema (Pregunta) .....	15
Hipótesis .....	17
Ruta de Negociación Directa .....	17
Ruta de Imposición Judicial (Limitaciones Jurídicas).....	18
Ruta de Saneamiento Técnico-Jurídico .....	18
Ruta de Desafección Técnica (Eficiencia Económica).....	19
Justificación .....	20
Objetivos .....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos .....	22
Marco de Referencia .....	23
Estado del Arte .....	23
Marco Contextual.....	23
Marco Teórico.....	25
Marco Conceptual.....	26
Marco Normativo.....	27
Metodología .....	29
Método .....	29
<i>Ciclo de Vida CRISP-DM Aplicado.....</i>	<i>29</i>

Comprensión del Negocio y Definición de Reglas.....	30
Comprensión y Preparación de Datos.....	30
Modelado y Arquitectura de Lógica de Negocio.....	31
Disponibilidad Jurídica.....	32
Restricciones Civiles .....	32
Eficiencia Operativa (Umbral de Rentabilidad) .....	32
Evaluación y Validación.....	33
Tipo de Estudio.....	33
Alcance Descriptivo.....	34
Alcance Prescriptivo (Gobernanza de Decisiones).....	34
Recolección de Datos .....	34
Dimensión Técnica y Geográfica .....	35
Dimensión Jurídica y Registral.....	35
Dimensión Económica y Operativa .....	35
Nota de Autorización y Tratamiento de Información.....	36
Resultados .....	37
Primer Resultado .....	37
Estandarización de la Salud Jurídica y Diagnóstico Masivo del Corredor.....	37
Segundo Resultado .....	37
Gobierno de Datos y Optimización del Gasto Administrativo.....	37
Tercer Resultado.....	38
Despliegue del Tablero de Control para la Supervisión en Tiempo Real.....	38
Conclusiones.....	40

Recomendaciones .....	42
Referencias Bibliográficas .....	44
Apéndices.....	46

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Segmentación Estratégica del Corredor de Infraestructura según la Lógica del Modelo</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Distribución y Estado de Madurez de los Insumos Técnicos en la Muestra de Estudio</i>	30
<b>Tabla 3</b> <i>Matriz de Variables Críticas y Reglas de Negocio para la Clasificación de Rutas de Gestión</i> .....	31

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Distribución Geográfica del Corredor Predial</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Arquitectura del Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) bajo la Metodología CRISP-DM para la Gestión de Servidumbres</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Interfaz del Tablero de Control Analítico para la Supervisión y Soporte a la Decisión Predial</i> .....	39

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Diccionario de Datos</i> .....	46
<b>Apéndice B</b> <i>Clasificación de Rutas de Gestión</i> .....	49
<b>Apéndice C</b> <i>Enfoque Metodológico y Estratégico</i> .....	51

## Introducción

El fortalecimiento de la infraestructura energética constituye el pilar estratégico que sostiene la competitividad y el desarrollo regional. En el departamento de Caldas, específicamente en su zona nororiente, se adelanta actualmente la modernización del sistema de distribución de energía en media tensión. Este esfuerzo, liderado por el área técnica, busca elevar los estándares de calidad del servicio, garantizando que la red soporte la demanda creciente de los usuarios mediante una infraestructura robusta y estable.

Sin embargo, la actualización de estas redes enfrenta un desafío crítico: la gestión del territorio. El saneamiento de activos para infraestructura eléctrica es un proceso de alta complejidad que requiere una visión integrada de variables técnicas, legales y económicas. Históricamente, la fragmentación de esta información ha generado retrasos operativos que impactan la ejecución de las obras, elevando los costos por la dificultad de alcanzar la viabilidad jurídica de los terrenos de manera ágil.

Esta necesidad de eficiencia es imperativa ante proyectos de interconexión de terceros, como la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) vinculada a este estudio. La conexión de nuevas fuentes de generación exige una administración de tierras con precisión y agilidad. Cualquier demora en la obtención de la seguridad legal de los predios no solo compromete la inversión, sino que posterga la inyección de energía al sistema, afectando la confiabilidad del suministro que la región demanda.

A esta complejidad se suma un factor de eficiencia económica identificado en la fase de diagnóstico. Se ha detectado que, en múltiples casos, el costo administrativo de formalizar un derecho de paso supera significativamente el valor de la compensación misma del activo. Sin un análisis fundamentado en datos, la organización incurre en un desgaste financiero innecesario al

gestionar registros de bajo impacto, en lugar de concentrar sus esfuerzos en los nodos críticos de la infraestructura.

En este contexto, la analítica de datos se presenta como el motor de transformación de los procesos tradicionales. Esta investigación desarrolla un sistema de soporte a la decisión (DSS) basado en la metodología CRISP-DM, diseñado para procesar variables multidimensionales de proyectos reales. Al integrar datos técnicos, legales y financieros mediante una arquitectura de reglas de negocio, el modelo permite migrar de una administración documental aislada a una gestión estratégica basada en evidencia. Esto facilita una toma de decisiones proactiva que asegura procesos transparentes y garantiza que la repotenciación se traduzca en una red eléctrica más confiable, eficiente y técnicamente sólida.

### **Descripción del Problema**

La modernización del sistema de distribución de energía en el departamento de Caldas es un requisito técnico indispensable para asegurar la estabilidad del suministro y permitir la interconexión de nuevos activos de generación, como la central hidroeléctrica vinculada a este estudio. No obstante, la ejecución de estas obras depende de la seguridad legal sobre las fajas de terreno, proceso gestionado mediante la formalización de servidumbres de utilidad pública.

Actualmente, este proceso presenta una fragmentación en la administración de la información. Existe una desconexión operativa entre los datos de ingeniería de redes y la realidad jurídica y económica de los activos afectados. Esta falta de integración impide una gestión proactiva, transformando el saneamiento predial en un obstáculo operativo que solo se evidencia cuando la ejecución física de la infraestructura ya está comprometida. Esta reactividad genera sobrecostos operativos y retrasa la entrada en servicio de redes diseñadas para mejorar los índices de calidad regional.

En este contexto, se han detectado casuísticas técnicas y administrativas complejas que dificultan la toma de decisiones estratégica. Por un lado, la existencia de registros antiguos, ausencia de Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) o inconsistencias cartográficas imposibilita la anotación inmediata en el Certificado de Tradición y Libertad, forzando procesos de Saneamiento Técnico-Jurídico o imposiciones judiciales que podrían preverse con antelación.

Por otro lado, surge una problemática de eficiencia financiera: el diagnóstico inicial revela unidades donde el costo administrativo de la gestión supera significativamente el valor de la compensación económica de la tierra. Sin una herramienta fundamentada en una arquitectura de reglas de negocio que centralice estas variables y estandarice los criterios de la Ley 56 de 1981, la organización carece de una base lógica para identificar casos de Desafección Técnica, resultando en un desgaste innecesario de recursos humanos y financieros en activos de bajo impacto.

Esta carencia de una visión unificada de los datos impide realizar una clasificación técnica ágil entre la negociación directa, la vía judicial o la desafección por ineficiencia económica, comprometiendo finalmente la viabilidad jurídica y operativa del sistema energético regional.

### **Planteamiento del Problema**

A pesar de disponer de un volumen sustancial de datos recolectados en campo, la organización no cuenta con un modelo estructurado para transformar dicha información en una lógica de decisión prescriptiva. El seguimiento manual actual y la dispersión de las fuentes de información limitan la visibilidad sobre la ruta crítica del proyecto, lo que resulta en una respuesta ineficiente ante los cronogramas de expansión y los requerimientos de interconexión externa, como los exigidos por la central hidroeléctrica objeto de estudio.

Esta brecha entre la capacidad técnica de repotenciación y la administración del suelo genera una parálisis operativa. Sin la implementación de un mecanismo que segmente los registros según su viabilidad jurídica (identificando la ausencia de Folio de Matrícula Inmobiliaria) y su pertinencia económica (identificando activos con balance costo-beneficio negativo), la toma de decisiones seguirá siendo reactiva y dependiente del criterio manual.

La problemática se sintetiza en la imposibilidad de discriminar automáticamente aquellos predios que, por su bajo valor de compensación frente al alto costo de formalización, deberían ser candidatos a la Desafección Técnica para optimizar el recurso financiero. En consecuencia, la incertidumbre en la disponibilidad del suelo continuará afectando el cumplimiento de los planes de inversión en el departamento de Caldas y la confiabilidad del servicio de energía.

### **Formulación del Problema (Pregunta)**

¿De qué manera un sistema de soporte a la decisión (DSS) basado en la metodología CRISP-DM y en una arquitectura de reglas de negocio permite optimizar la viabilidad jurídica y la eficiencia económica en el saneamiento de activos para la repotenciación del sistema eléctrico en los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná?

### **Sistematización del Problema**

Para dar respuesta a la problemática planteada, se formulan las siguientes preguntas de investigación subordinadas:

¿Cuáles son las variables críticas de carácter jurídico, técnico y económico que permiten segmentar el saneamiento de activos en el área de estudio?

¿Cómo impacta la ausencia de viabilidad jurídica (predios sin folio de matrícula, registros antiguos o limitaciones civiles) en el cumplimiento de los cronogramas de obra y la interconexión de la infraestructura proyectada?

¿Bajo qué reglas de negocio se pueden identificar y clasificar aquellos activos cuya gestión representa una ineficiencia financiera para la organización?

¿De qué manera el diseño de un sistema de soporte a la decisión (DSS) bajo la metodología CRISP-DM facilita la transición de una administración reactiva a una toma de decisiones estratégica basada en evidencia?

## **Hipótesis**

La implementación de un sistema de soporte a la decisión (DSS), fundamentado en la metodología CRISP-DM y en una arquitectura de reglas de negocio, permitirá clasificar de manera masiva los activos inmobiliarios del área de estudio a partir de variables jurídicas, técnicas y económicas, optimizando la priorización de las rutas de gestión y el uso eficiente de los recursos institucionales. Se espera que esta lógica de decisión contribuya a reducir la incertidumbre en la gestión predial, fortalecer la seguridad jurídica del corredor y mejorar la eficiencia operativa en los proyectos de infraestructura energética.

Se valida que la aplicación de reglas de negocio orientadas a la Desafección Técnica permite identificar nodos de ineficiencia administrativa, determinando la exclusión de aquellos registros donde el costo de formalización supera el beneficio operativo para la organización. De este modo, la lógica de decisión implementada facilita la transición desde modelos de gestión tradicionales hacia una gobernanza de datos que fortalece la seguridad jurídica y la continuidad en los proyectos de infraestructura energética.

### **Ruta de Negociación Directa**

Esta categoría agrupa a los activos que presentan una certeza legal consolidada, caracterizada por contar con un Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) actualizado, titularidad definida y ausencia de limitaciones al dominio. En estos registros, el sistema ejecuta una validación de coherencia entre los insumos del avalúo comercial y el área de afectación técnica determinada por la topografía. Esta lógica de segmentación permite priorizar procesos de concertación ágil, reduciendo los tiempos de formalización administrativa y mitigando riesgos de retraso en el cronograma de infraestructura.

### **Ruta de Imposición Judicial (Limitaciones Jurídicas)**

Esta ruta se activa cuando la seguridad legal del activo se ve comprometida por limitaciones insuperables en el corto plazo, como embargos, sucesiones ilíquidas o la falta de acuerdo económico. En estos escenarios, el motor de reglas detecta automáticamente las alertas jurídicas y prescribe el inicio del trámite de servidumbre bajo el marco de la Ley 56 de 1981. Al automatizar esta detección, el sistema garantiza que la organización prepare expedientes judiciales con una base técnica sólida, evitando parálisis en el cronograma de obra y asegurando la continuidad del proyecto mediante el uso de la vía legal correspondiente.

### **Ruta de Saneamiento Técnico-Jurídico**

En la gestión de tierras, la realidad del campo no siempre coincide con lo que dicen los papeles. Esta ruta agrupa aquellos casos donde existe una brecha entre la información física del terreno y la historia registrada en las oficinas de instrumentos públicos o catastro. Son situaciones comunes, pero delicadas: linderos que no coinciden con las cercas actuales, folios antiguos que nunca se actualizaron o problemas de identificación que nos impiden actuar con certeza.

Aquí, el motor de reglas de negocio actúa como un filtro de calidad. En lugar de avanzar a ciegas hacia una negociación que podría fracasar por errores de registro, el sistema prescribe una intervención técnica previa. El objetivo es "sanear" el activo, corrigiendo las inconsistencias cartográficas o jurídicas antes de sentarnos a firmar. Al gestionar estos casos de manera preventiva, no solo protegemos el derecho de paso de la red eléctrica, sino que entregamos una solución definitiva que garantiza la seguridad legal tanto para la empresa como para el territorio.

### **Ruta de Desafección Técnica (Eficiencia Económica)**

Esta ruta representa el corazón de la inteligencia del sistema y es donde la gestión predial se encuentra con la eficiencia estratégica. Aquí es donde dejamos de gestionar por inercia y empezamos a gestionar con propósito. El motor de reglas de negocio analiza cada registro bajo una lógica de costo-beneficio: si los gastos administrativos para legalizar formalmente una servidumbre (notariado, registro y honorarios) terminan siendo más altos que el valor real del terreno según el avalúo comercial, el sistema emite una alerta de ineficiencia.

En lugar de desgastar al equipo humano y financiero en procesos burocráticos donde el trámite cuesta más que el activo, el sistema prescribe la exclusión estratégica de esos puntos. Esto no significa abandonar la obra, sino priorizar el esfuerzo en los nodos críticos que realmente garantizan la interconexión y la estabilidad del servicio. Al adoptar la Desafección Técnica, la organización evoluciona hacia una administración más madura y responsable, asegurando que cada peso invertido en la gestión del suelo se traduzca en un beneficio real para la infraestructura energética de la región.

## Justificación

La modernización de la gestión predial en el sector energético no es solo un avance tecnológico; es una necesidad urgente para alinear la infraestructura eléctrica con los estándares actuales de transformación digital. En el departamento de Caldas, la repotenciación del sistema constituye una decisión estratégica para elevar la confiabilidad del servicio, asegurando que la red responda a la demanda creciente y minimice las fallas que afectan la productividad de la región.

El modelo tradicional de legalización de servidumbres ha operado históricamente bajo una fragmentación de información que genera altos costos y una incertidumbre considerable sobre la seguridad legal de los activos. Esta desconexión entre los datos técnicos, legales y económicos actúa como un obstáculo operativo que ralentiza las obras y desgasta la relación con la comunidad debido a la falta de criterios de negociación estandarizados.

A esta problemática se suma un imperativo de responsabilidad financiera. El diagnóstico actual revela que gestionar predios con avalúos mínimos genera un balance costo-beneficio negativo, donde el gasto administrativo supera significativamente el valor de la compensación. En este escenario, la implementación de un sistema de soporte a la decisión (DSS) surge como una herramienta de ética profesional. Mediante una arquitectura de reglas de negocio, el sistema permite identificar automáticamente los casos de Desafección Técnica, asegurando procesos ágiles, transparentes y financieramente responsables.

Esta urgencia operativa se acentúa con la integración de nuevos proyectos, como la interconexión de la central hidroeléctrica objeto de este estudio. La seguridad legal de esta red depende de una administración de tierras de alta precisión. Cualquier retraso en la obtención de

los derechos de paso posterga la inyección de energía al sistema, limitando la robustez de la red local y comprometiendo los indicadores de calidad del suministro que la región demanda.

Desde la perspectiva de la ciencia de datos, este trabajo aplica el marco metodológico CRISP-DM para resolver un problema real de ingeniería de tierras. La capacidad de transformar la complejidad del territorio en modelos estratégicos permite que la toma de decisiones sea proactiva y fundamentada en evidencia. Al reducir los tiempos de saneamiento y minimizar el riesgo de litigios, la analítica se posiciona como el motor de una infraestructura moderna, garantizando un desarrollo técnico en armonía con la realidad del suelo en los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un sistema de soporte a la decisión fundamentado en ciencia de datos para clasificar activos inmobiliarios según su condición jurídica y económica, facilitando la gestión de derechos de paso requeridos para el fortalecimiento del sistema eléctrico en el departamento de Caldas.

### Objetivos Específicos

Diagnosticar la calidad y consistencia de la información técnica, jurídica y económica del proyecto, con énfasis en las limitaciones registrales que dificultan la seguridad legal del suelo.

Validar los criterios de segmentación mediante el contraste de datos de campo, literatura sobre valoración rural y el marco normativo vigente, para sustentar la lógica de clasificación entre la vía voluntaria y la judicial.

Diseñar un tablero de control analítico que permita automatizar la categorización de los registros, apoyando la supervisión estratégica y la interconexión de nuevos activos de infraestructura.

Evaluar el desempeño operativo del modelo mediante la estimación de su aporte a la eficiencia administrativa y a la mitigación de riesgos, en relación con los cronogramas de ejecución de la obra.

## **Marco de Referencia**

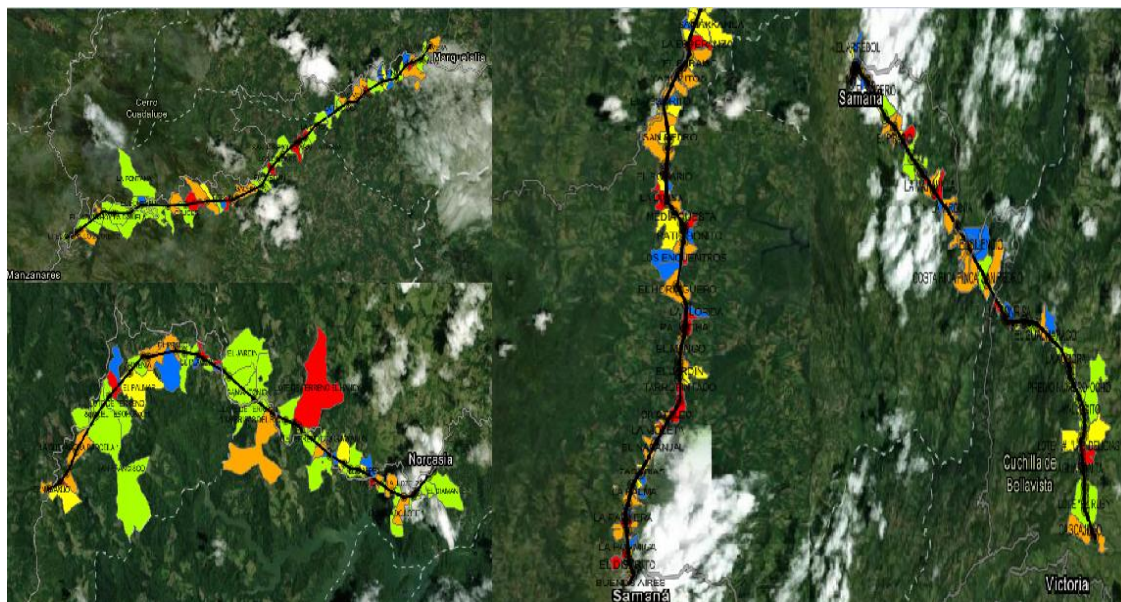
### **Estado del Arte**

La gestión de infraestructuras energéticas ha evolucionado de un modelo puramente documental a uno basado en la gobernanza de datos. Autores como Pérez y Ramírez (2021) destacan que la optimización de activos en el sector eléctrico colombiano depende de la integración temprana de variables geográficas y jurídicas. Investigaciones recientes sugieren que la implementación de tableros de control reduce los tiempos de legalización al estandarizar los criterios de valoración, una premisa fundamental para el presente estudio desarrollado en el departamento de Caldas.

Este enfoque se alinea con las tendencias globales en sistemas de soporte a la decisión descritas por Davenport y Harris (2017), donde el éxito de los proyectos de infraestructura no reside solo en la ejecución técnica, sino en la capacidad de transformar volúmenes sustanciales de datos en lógicas de decisión basadas en reglas. Estas herramientas permiten minimizar los tiempos de respuesta ante obstáculos administrativos, facilitando una gestión predial proactiva y transparente en sectores altamente regulados.

### **Marco Contextual**

El proyecto se desarrolla en el nororiente del departamento de Caldas, una zona caracterizada por una topografía compleja y una estructura de propiedad con índices considerables de informalidad. La modernización del sistema de energía en esta región no solo busca optimizar el servicio local, sino que constituye el soporte técnico indispensable para la interconexión de terceros, específicamente la central hidroeléctrica vinculada al estudio.

**Figura 1***Distribución Geográfica del Corredor Predial*

*Nota.* La ilustración presenta la distribución espacial del corredor de infraestructura entre los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná. Se identifican los puntos de intervención donde el sistema aplica las reglas de negocio, permitiendo visualizar la densidad de afectación y los nodos críticos para la interconexión de la central hidroeléctrica.

La realidad del territorio evidencia una dispersión de datos donde coexisten activos con títulos sólidos y otros con registros antiguos o ausencia de Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI). Esta fragmentación informativa suele inducir a sesgos en la administración manual, lo que según Bazerman y Moore (2013) genera parálisis operativa. Por tanto, las condiciones regionales exigen una segmentación basada en reglas de negocio que permita priorizar la inversión y fortalecer la estabilidad del sistema eléctrico frente a los retos de la expansión energética en la zona de influencia.

**Tabla 1**

*Segmentación Estratégica del Corredor de Infraestructura según la Lógica del Modelo*

Escenario de Gestión	Cantidad de Predios	Acción Recomendada por el DSS	Objetivo Estratégico
Certeza Legal Alta	185	Firma inmediata de escritura pública.	Asegurar la faja de servidumbre en el menor tiempo posible.
Complejidad Jurídica	98	Inicio de proceso de imposición judicial (Ley 56/81).	Mitigar el riesgo de retraso en el cronograma de obra de la PCH.
Inconsistencia Técnica	42	Saneamiento administrativo o actualización de linderos.	Regularizar la información catastral frente a registros públicos.
Eficiencia Operativa	20	Desafección Técnica	Evitar gastos administrativos en activos de bajo impacto técnico.
Total General	345	Gestión Integral del Corredor	Garantizar la confiabilidad del servicio de energía.

*Nota.* Esta segmentación es el resultado de aplicar la arquitectura de reglas de negocio sobre el universo de estudio. El modelo permite una gobernanza de datos eficiente, asegurando que cada decisión en el departamento de Caldas esté respaldada por evidencia técnica y económica.

### **Marco Teórico**

Esta investigación se fundamenta en la ciencia de datos aplicada a la gestión de activos, bajo un enfoque de lógica prescriptiva diseñado para optimizar la toma de decisiones estratégicas. Para ello, se emplea la metodología CRISP-DM (Chapman et al., 2000), la cual

permite iterar de manera sistemática entre la comprensión profunda del negocio —en este caso, el saneamiento de servidumbres— y el modelado técnico de la información recopilada en campo.

Bajo la perspectiva de Provost y Fawcett (2013), se asume que la analítica no debe limitarse a la descripción de eventos pasados, sino a identificar patrones críticos que reduzcan la incertidumbre operativa. En este sentido, el modelo integra el concepto de Eficiencia Administrativa: se postula que la formalización de un derecho de paso es inviable cuando el costo operativo de su legalización supera significativamente el beneficio económico derivado del avalúo comercial. Esta desproporción financiera justifica la necesidad de un sistema que discrimine automáticamente los registros que no aportan valor real al proyecto.

Esta visión se complementa con los principios de Davenport y Harris (2017), quienes sostienen que la ventaja competitiva en sectores regulados proviene de la capacidad de transformar datos técnicos y jurídicos en activos de decisión. Así, el uso de un sistema de soporte a la decisión (DSS) permite mitigar los sesgos cognitivos propios del seguimiento manual de expedientes, alineándose con las teorías de juicio y decisión bajo incertidumbre de Bazerman y Moore (2013). Al sistematizar la clasificación en rutas de negociación, vía judicial o desafección, la arquitectura de reglas de negocio se posiciona como el motor de una infraestructura moderna, transparente y financieramente responsable.

### **Marco Conceptual**

Para la correcta interpretación del modelo y las rutas de decisión analizadas en este estudio, se establecen las siguientes definiciones:

#### ***Viabilidad Jurídica***

Es la condición técnica y legal que determina si un predio es apto para la formalización de la servidumbre según la normativa vigente. En el contexto del DSS, esta viabilidad se

establece mediante la validación del Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) y la verificación de la libertad del activo frente a limitaciones al dominio, asegurando que la gestión avance sobre una base legal sólida.

### ***Confiabilidad del Servicio***

Es la capacidad del sistema para suministrar energía de manera continua y con los estándares de calidad exigidos. Siguiendo los principios de la IEEE (2022), esta confiabilidad depende en gran medida de la seguridad jurídica de la infraestructura; sin la disponibilidad legal del suelo, la estabilidad operativa de la red se ve comprometida.

### ***Desafección Técnica***

Constituye una decisión estratégica y una regla de negocio central del modelo. Consiste en determinar la exclusión de un activo del proceso de legalización formal cuando el análisis demuestra que el impacto del proyecto es nulo o la relación costo-beneficio es negativa para la organización, específicamente cuando el costo administrativo de la gestión supera el valor de la compensación económica del predio.

### ***Certeza Legal***

Es el estado de seguridad documental y administrativa que permite a la organización la ocupación, mantenimiento y operación de la infraestructura sin riesgos de litigios o procesos de restitución. Lograr esta certeza garantiza que la red eléctrica funcione sin parálisis operativas derivadas de reclamaciones de terceros, brindando estabilidad a largo plazo.

### **Marco Normativo**

El pilar normativo de esta investigación es la Ley 56 de 1981, la cual regula las servidumbres de utilidad pública para proyectos energéticos y establece el procedimiento para la obtención de derechos de paso. Sin embargo, su aplicación dentro del sistema de soporte a la

decisión (DSS) se articula con la Resolución CREG 015 de 2018, normativa que exige criterios estrictos de eficiencia técnica y económica en la remuneración y expansión de las redes de distribución. Es precisamente este mandato de eficiencia el que justifica la lógica de desafección técnica del modelo.

Bajo esta premisa, el sistema integra los requisitos de la Superintendencia de Notariado y Registro (2023) y los procedimientos de saneamiento dictados por el IGAC (2022) para clasificar los activos. De esta manera, el motor de reglas identifica los registros que carecen de folio de matrícula inmobiliaria o presentan vicios de falsa tradición, derivándolos hacia la ruta de imposición judicial. Por el contrario, los predios que cumplen con el estándar de seguridad documental se mantienen en la ruta de negociación directa, optimizando los tiempos de cierre.

Esta segmentación basada en normas garantiza el debido proceso y alinea la administración del suelo con el Plan de Expansión de la UPME (2020). Al asegurar que la infraestructura en los municipios de estudio cumpla con los estándares de confiabilidad exigidos, el sistema se posiciona como una herramienta clave para la interconexión de nuevos proyectos de generación en el departamento de Caldas.

## Metodología

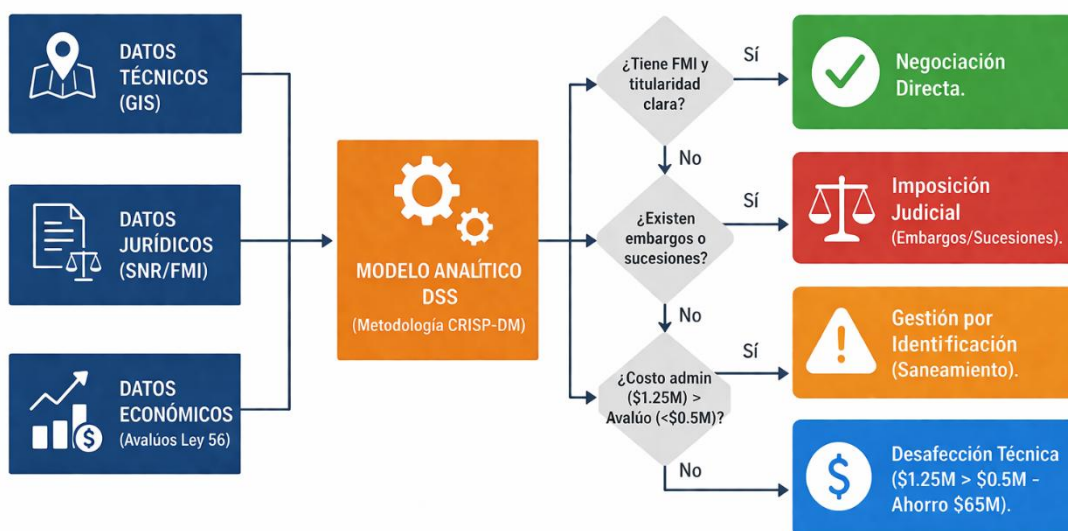
### Método

#### *Ciclo de Vida CRISP-DM Aplicado*

La investigación implementa la metodología CRISP-DM, desglosada en fases técnicas adaptadas específicamente a la complejidad del entorno predial y la normativa eléctrica colombiana.

### Figura 2

*Arquitectura del Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) bajo la Metodología CRISP-DM para la Gestión de Servidumbres*



*Nota.* El gráfico describe el flujo de datos desde la ingesta de variables técnicas y jurídicas hasta la prescripción de rutas de decisión. Esta arquitectura garantiza que la gestión en el departamento de Caldas se fundamente en la transparencia y el cumplimiento estricto de los estándares de eficiencia operativa.

### ***Comprensión del Negocio y Definición de Reglas***

En esta etapa se identificaron los obstáculos operativos en la legalización de servidumbres para la infraestructura objeto de estudio. Se definieron los objetivos del análisis: clasificar los activos según su riesgo legal y optimizar el gasto mediante la detección temprana de ineficiencias económicas.

### ***Comprensión y Preparación de Datos***

Esta fase fue crítica debido a la naturaleza heterogénea de las fuentes. Se realizó una limpieza de datos para unificar la información de ingeniería con los registros de la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR) y el IGAC. Se gestionaron los vacíos de información en los folios de matrícula y se estandarizaron los formatos de avalúos para permitir una comparación lógica y coherente entre registros.

**Tabla 2**

*Distribución y Estado de Madurez de los Insumos Técnicos en la Muestra de Estudio*

Componente Técnico	Estado: Disponible	Estado: En Trámite / Pendiente	Fuente de Información
Estudios de Títulos	100%	0%	Consultoría Jurídica Externa / SNR
Levantamientos Topográficos	92%	8%	Comisión de Topografía de Campo
Avalúos Comerciales (Ley 56)	85%	15%	Peritos Avaluadores Contratados
Certidumbre Cartográfica	78%	22%	Cruce IGAC - Catastro Departamental

Componente Técnico	Estado: Disponible	Estado: En Trámite / Pendiente	Fuente de Información
Información de Contacto	95%	5%	Gestión Social y Trabajo de Campo

*Nota.* La tabla resume el inventario de datos consolidados para el departamento de Caldas. Los porcentajes pendientes corresponden a activos en proceso de actualización catastral o con limitaciones de acceso derivadas de la complejidad geográfica y social del territorio.

### ***Modelado y Arquitectura de Lógica de Negocio***

A diferencia de los enfoques estadísticos tradicionales, esta investigación desarrolla un modelo de clasificación basado estrictamente en reglas de negocio. Al tratarse de un entorno regulado por la Ley 56 de 1981, el sistema opera mediante un motor de lógica de decisión prescriptiva que evalúa cada registro bajo tres dimensiones fundamentales

### **Tabla 3**

#### *Matriz de Variables Críticas y Reglas de Negocio para la Clasificación de Rutas de Gestión*

Dimensión	Variable Crítica	Criterio de Clasificación	Ruta Asignada	Impacto en el Proyecto
Jurídica	Certeza Dominial	Existencia de Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) y titularidad única saneada.	Negociación Directa	Celeridad en el cierre administrativo y seguridad en la firma de escrituras. Mitigación de riesgos legales y aseguramiento del suelo bajo la Ley 56 de 1981.
Jurídica	Limitaciones al Dominio	Presencia de embargos, sucesiones ilíquidas o títulos con falsa tradición.	Imposición Judicial	

Dimensión	Variable Crítica	Criterio de Clasificación	Ruta Asignada	Impacto en el Proyecto
Técnica	Consistencia Registral	Ausencia de antecedentes en el registro, folios antiguos o linderos no coincidentes.	Gestión de Saneamiento	Reducción de la incertidumbre cartográfica mediante intervención técnica previa. Optimización estratégica del presupuesto y concentración de recursos en activos críticos.
Económica	Eficiencia en la Inversión	Casos donde el costo administrativo de formalización supera el valor de compensación.	Desafección Técnica	Garantía de confiabilidad del servicio y cumplimiento de cronogramas de obra.
Operativa	Continuidad de Red (PCH)	Activos ubicados en nodos estratégicos de interconexión para terceros.	Prioridad Alta	

*Nota.* La tabla detalla los umbrales lógicos y criterios normativos utilizados por el sistema de soporte a la decisión (DSS) para la segmentación de la gestión predial en el departamento de Caldas.

### ***Disponibilidad Jurídica***

Validación de la certeza legal del suelo mediante el estudio de títulos.

### ***Restricciones Civiles***

Identificación de limitaciones al dominio que afecten la formalización de la servidumbre.

### ***Eficiencia Operativa (Umbral de Rentabilidad)***

Evaluación de la viabilidad económica comparando los costos proyectados de gestión frente al monto de compensación del activo.

Este enfoque de reglas condicionales garantiza la seguridad jurídica y la trazabilidad total en la administración de los 345 predios, eliminando la incertidumbre propia de los modelos basados en probabilidades y asegurando el cumplimiento normativo.

### ***Evaluación y Validación***

Se contrastaron los resultados del modelo con el histórico de gestión manual en los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná. El objetivo fue medir la precisión en la detección de activos inviables, confirmando que el sistema identifica con éxito los casos candidatos a Desafección Técnica, permitiendo una toma de decisiones informada y financieramente responsable.

### **Tipo de Estudio**

La presente investigación se define como un estudio de carácter descriptivo-prescriptivo con un enfoque aplicado. Esta arquitectura metodológica responde a la necesidad de transformar la gestión predial tradicional en una estrategia de gobernanza de datos que equilibre la seguridad jurídica con la sostenibilidad operativa del proyecto.

Es descriptivo porque analiza y documenta detalladamente la situación técnica y legal de los 345 registros que componen el corredor de infraestructura en los municipios de estudio. Al mismo tiempo, posee un carácter prescriptivo, ya que el sistema no se limita a exponer los problemas, sino que, mediante una arquitectura de reglas de negocio, sugiere la ruta de gestión más eficiente (Negociación, Saneamiento, Imposición o Desafección) para cada activo. El enfoque es aplicado, pues los resultados y el tablero de control diseñado tienen una utilidad directa y práctica en la toma de decisiones estratégicas para la interconexión de la central hidroeléctrica y la repotenciación del sistema regional.

### *Alcance Descriptivo*

En su fase inicial, el estudio se centra en caracterizar la salud técnica y registral de la faja de servidumbre en su totalidad. Esto implica un análisis exhaustivo de la heterogeneidad de los predios en los municipios de estudio, donde coexisten títulos sólidos con situaciones de informalidad y registros precarios. Aquí, la analítica actúa como una herramienta de diagnóstico que revela la magnitud del riesgo real y los desafíos técnicos que enfrenta la infraestructura para garantizar la interconexión de la central hidroeléctrica.

### *Alcance Prescriptivo (Gobernanza de Decisiones)*

Lo que eleva este trabajo al nivel de ciencia de datos aplicada es su capacidad para sugerir acciones basadas en evidencia. A diferencia de un estudio meramente estadístico, este modelo diseña una lógica que determina la ruta de gestión más coherente. El sistema no se limita a reportar el estado de un predio; la arquitectura de reglas prescribe si un activo debe seguir una vía de negociación directa, una intervención de saneamiento técnico-jurídico o una optimización por criterios de eficiencia económica.

Este enfoque aplicado busca cerrar la brecha entre la normativa legal y la urgencia operativa en campo. Al centrarse en la lógica prescriptiva, el estudio deja de ser un documento de consulta pasiva para convertirse en un motor de decisión estratégica. El objetivo final es fortalecer la certeza legal del corredor de energía y asegurar que los recursos de la organización se asignen de manera inteligente, cumpliendo con los estándares de calidad y eficiencia que demanda el sistema energético nacional.

### **Recolección de Datos**

La fase de obtención de información se estructuró bajo criterios de interoperabilidad y escalabilidad, reconociendo que la gestión de tierras en el departamento de Caldas padece

históricamente de una fragmentación informativa. Dada la magnitud del desafío, que abarca un universo de 345 registros, mi labor no se limitó a una recopilación de archivos; consistió en un proceso riguroso de curaduría y normalización de fuentes heterogéneas para asegurar la integridad de la arquitectura de reglas de negocio.

Para alimentar el sistema de soporte a la decisión (DSS), las fuentes se organizaron en tres dimensiones estratégicas que permiten una visión integral del corredor:

### ***Dimensión Técnica y Geográfica***

Se integraron capas de información geoespacial y registros técnicos del trazado de la infraestructura. Estos datos fueron fundamentales para delimitar el área de influencia directa sobre los predios y realizar el cruce masivo con los polígonos catastrales, identificando con precisión las áreas de afectación y los requerimientos técnicos para la interconexión.

### ***Dimensión Jurídica y Registral***

Se llevó a cabo una consulta sistemática de la realidad registral a través de la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR). Este insumo fue el eje central para nutrir el modelo con datos de titularidad y vigencia de los folios de matrícula inmobiliaria, permitiendo que el sistema detectara automáticamente alertas como embargos, sucesiones o la condición de propietarios indeterminados. Estos factores son los que definen si un activo cuenta con certeza legal o requiere una imposición judicial.

### ***Dimensión Económica y Operativa***

Se consolidaron tablas de valores de referencia, avalúos comerciales y los costos administrativos proyectados para la gestión de expedientes. Al centralizar esta información financiera, el modelo pudo ejecutar la lógica de decisión necesaria para priorizar la inversión y garantizar que los recursos se asignen de manera inteligente en los puntos críticos de la red.

Para garantizar la calidad de los resultados, apliqué un protocolo de limpieza de datos (Data Cleaning), eliminando duplicidades e inconsistencias entre los reportes de ingeniería y los registros públicos. Este rigor metodológico permitió que el análisis posterior no fuera una interpretación subjetiva, sino una recomendación respaldada por evidencia técnica y la normativa vigente en los municipios de Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná.

### ***Nota de Autorización y Tratamiento de Información***

Se deja constancia de que el desarrollo de esta monografía cuenta con la autorización expresa de la organización para el uso académico de la base de datos vinculada al proyecto. Los registros de los 345 predios analizados integran insumos técnicos de alto nivel, producto de la gestión con firmas consultoras y expertos externos, que abarcan desde estudios de títulos detallados hasta levantamientos topográficos y avalúos comerciales bajo normativa vigente.

Todo el procesamiento, normalización y análisis de esta información se ha realizado bajo estrictos criterios de confidencialidad, anonimización de datos sensibles y reserva profesional. El uso de estos activos de información tiene como único propósito el desarrollo de un modelo que fortalezca la eficiencia operativa, la transparencia y la seguridad jurídica en la infraestructura eléctrica del departamento de Caldas.

## **Resultados**

### **Primer Resultado**

#### ***Estandarización de la Salud Jurídica y Diagnóstico Masivo del Corredor***

El hito fundamental de este trabajo fue la conversión de un volumen crítico de datos dispersos en una herramienta de gestión estructurada. Al procesar el universo de 345 registros del corredor en Caldas, el sistema de soporte a la decisión (DSS) permitió obtener una radiografía inmediata de la situación registral. Este avance significa pasar de una administración basada en la reacción manual a una supervisión proactiva, donde la información ya no está fragmentada en expedientes aislados, sino integrada en un modelo coherente.

Más allá de organizar la información, la arquitectura de reglas de negocio permitió identificar patrones de riesgo jurídico con una anticipación que antes era imposible. Mediante el cruce de los levantamientos topográficos con los estudios de títulos, el sistema asignó cada expediente a su ruta de gestión correspondiente. Este filtro inteligente permitió que el equipo jurídico optimizara su talento: en lugar de dedicar horas a la revisión de trámites sencillos y estandarizados, los especialistas pudieron concentrar su capacidad analítica en los casos de alta complejidad, como predios con falsa tradición o propietarios indeterminados. Como resultado directo, la gestión predial dejó de ser un foco de incertidumbre para convertirse en un facilitador estratégico que asegura la continuidad de las obras de interconexión.

### **Segundo Resultado**

#### ***Gobierno de Datos y Optimización del Gasto Administrativo***

Este resultado pone de manifiesto cómo el uso inteligente de la información protege la sostenibilidad financiera del proyecto. Al centralizar y normalizar los datos de los 345 predios, el modelo permitió identificar ineficiencias administrativas que, en la gestión cotidiana y manual,

solían pasar inadvertidas. La lógica de decisión implementada facilitó una depuración estratégica basada en la realidad económica, permitiendo que la organización dejara de invertir recursos de forma automática para empezar a hacerlo de manera consciente y justificada.

Esta visión integral validó la Desafección Técnica como una de las herramientas más innovadoras de la gestión. Al detectar aquellos activos donde el costo humano y administrativo de la formalización superaba con creces el beneficio operativo para la red, el sistema brindó el respaldo necesario para tomar decisiones gerenciales fundamentadas en evidencia. Este enfoque de gobernanza asegura que cada recurso asignado al corredor de energía esté técnicamente justificado, blindando a la organización ante posibles hallazgos por ineficiencia y garantizando que la infraestructura regional avance sobre una base financiera sólida y responsable.

### **Tercer Resultado**

#### ***Despliegue del Tablero de Control para la Supervisión en Tiempo Real***

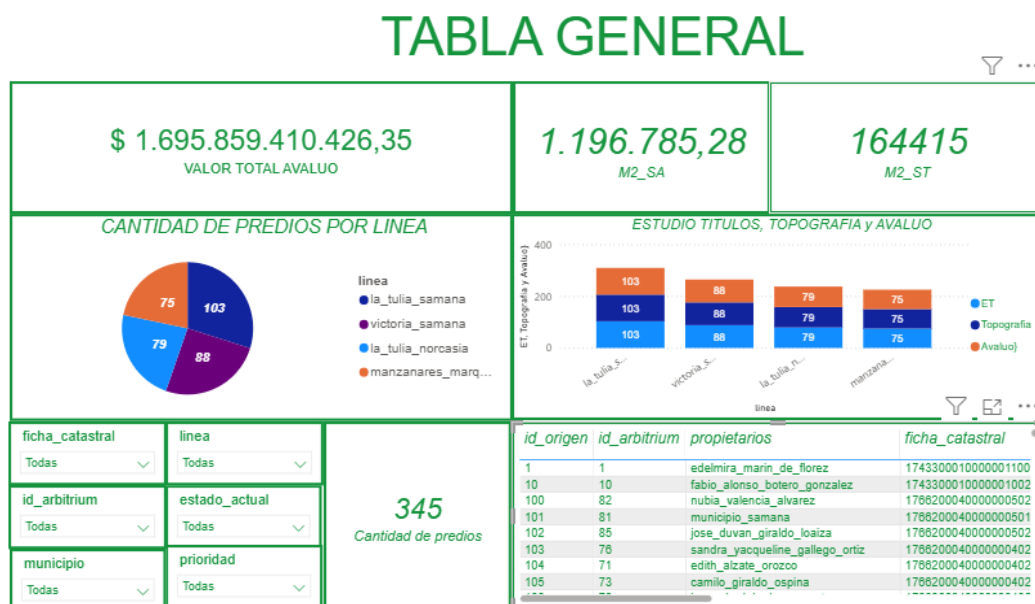
Como cierre del ciclo de ciencia de datos, se consolidó un tablero de control dinámico que actúa como la interfaz estratégica para la toma de decisiones. Esta herramienta permite visualizar el estado real del proyecto, identificando geográficamente los puntos donde la gestión de tierras requiere una intervención prioritaria. Al integrar la cartografía con el estado jurídico de los 345 predios, el sistema ofrece una visión clara y unificada que antes se encontraba dispersa en múltiples reportes.

Este resultado representa una evolución en la cultura organizacional: hemos transitado de informes estáticos y manuales hacia una plataforma interactiva que permite prever riesgos con mayor precisión. El tablero dota a la gerencia de una capacidad de respuesta ágil, elevando el nivel de profesionalismo en la ejecución de las obras de infraestructura. Con esta implementación, se demuestra que la administración del corredor en el departamento de Caldas

ahora se fundamenta en evidencia técnica y datos saneados, eliminando la incertidumbre en la toma de decisiones y garantizando una supervisión eficiente del patrimonio inmobiliario de la organización.

**Figura 3**

*Interfaz del Tablero de Control Analítico para la Supervisión y Soporte a la Decisión Predial*



*Nota.* La interfaz del tablero de control integra las dimensiones jurídica, técnica y económica del corredor. El sistema permite monitorear el avance de los contratistas y, mediante la lógica prescriptiva, identificar los activos candidatos a la ruta de Desafección Técnica, optimizando la ejecución presupuestal del proyecto en el departamento de Caldas.

## Conclusiones

De la teoría a la práctica con CRISP-DM Se concluye que el mayor valor de esta investigación no fue solo la aplicación técnica de la metodología, sino el uso de la ciencia de datos como el puente para resolver problemas legales y operativos históricamente estancados. Al adoptar este ciclo de trabajo, logramos que la gestión predial en el departamento de Caldas dejara de ser un proceso reactivo para convertirse en una estrategia que anticipa los obstáculos administrativos antes de que afecten el desarrollo de la infraestructura.

La lógica de datos como garante de la viabilidad: El desarrollo del sistema de soporte a la decisión (DSS) confirmó que la viabilidad jurídica es un activo procesable y no solo un concepto documental. Al sistematizar la lectura de la realidad registral frente a las bases de la SNR, el modelo eliminó la incertidumbre que suele frenar proyectos de interconexión, demostrando que una supervisión basada en reglas de negocio brinda mayor seguridad y transparencia que el seguimiento manual tradicional.

Eficiencia económica y responsabilidad administrativa: La validación de la Desafección Técnica surge como uno de los hallazgos más significativos. Al cruzar variables financieras con las jurídicas, el sistema permitió identificar casos donde el costo de formalización superaba drásticamente el valor económico del activo y su impacto real en la red. Esta conclusión es un llamado a la eficiencia operativa: la analítica permite identificar nodos de ineficiencia, permitiendo que la organización concentre el talento humano y los recursos financieros donde realmente se garantiza la confiabilidad del servicio de energía.

Seguridad y Confiabilidad para el territorio: Se concluye que la certeza legal obtenida mediante el DSS impacta directamente en la estabilidad regional. Al garantizar que la infraestructura esté debidamente saneada bajo el marco de la Ley 56 de 1981, aseguramos que la

organización pueda operar y mantener las redes sin riesgos de litigios, cumpliendo con los estándares de calidad que los municipios de estudio demandan para su desarrollo energético.

Un cambio de paradigma profesional: Finalmente, este proyecto demuestra que la gestión predial moderna requiere de especialistas capaces de liderar a través de la evidencia. La transición de una administración basada en archivos a una gobernanza de datos en tiempo real no solo optimiza el cumplimiento de las metas corporativas, sino que eleva el estándar de la ingeniería de tierras hacia un nivel de precisión científica y alta responsabilidad financiera.

## Recomendaciones

Tras el desarrollo de este sistema de soporte a la decisión (DSS) y el análisis de la gestión predial en el departamento de Caldas, se proponen las siguientes acciones para garantizar la sostenibilidad del modelo y la eficiencia operativa de la organización

Institucionalizar la lógica prescriptiva. Se recomienda a las gerencias técnica y jurídica adoptar formalmente los criterios de Desafección Técnica establecidos en este estudio. El desistimiento de procesos con una valoración económica inferior a \$500.000 COP no debe interpretarse como una pérdida de gestión, sino como una ganancia en eficiencia administrativa que libera recursos críticos para asegurar la interconexión de la infraestructura eléctrica.

Sanearamiento preventivo de la información. Es vital establecer procesos de limpieza de datos en las bases prediales de manera anticipada a la ejecución de las obras. La prioridad debe ser la detección temprana de predios sin folio de matrícula inmobiliaria o con falsa tradición, utilizando las alertas del DSS para evitar que la incertidumbre jurídica detenga el avance físico en el territorio.

Capacitación en cultura de datos. Se sugiere fortalecer las competencias de los gestores de campo y abogados en el uso del tablero de control. El éxito del modelo depende de que la información recolectada en territorio se integre con agilidad, permitiendo que el sistema clasifique las rutas de gestión de manera dinámica y proactiva.

Escalamiento del modelo. Dada la efectividad del ahorro identificado y la mejora en los tiempos de respuesta, se recomienda replicar esta metodología en otros proyectos de infraestructura lineal de la organización. La estandarización de reglas de negocio basadas en la metodología CRISP-DM permite que el éxito obtenido en Caldas se convierta en un estándar de operación de alcance nacional.

Fortalecimiento de la Interlocución Institucional. Se sugiere utilizar los reportes de viabilidad jurídica del DSS para agilizar trámites ante la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR) y el IGAC. Presentar informes basados en datos estructurados brinda una mayor certeza técnica ante estas entidades, facilitando la resolución de conflictos en predios con propietarios indeterminados o inconsistencias catastrales.

### Referencias Bibliográficas

- Asociación de Ingeniería Eléctrica y Electrónica [IEEE]. (2022). *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices* (Standard 1366-2022). IEEE Standard Association.  
<https://standards.ieee.org/ieee/1366/>
- Bazerman, M. H., y Moore, D. A. (2013). *Judgment in Managerial Decision Making* (8va ed.). Wiley.
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., y Wirth, R. (2000). *CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide*. SPSS.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2018). *Resolución 015 de 2018: Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional*. Diario Oficial de Colombia.
- Congreso de la República de Colombia. (1981, 15 de diciembre). *Ley 56 de 1981: Por la cual se dictan normas sobre obras públicas de generación eléctrica, y se regulan las servidumbres y expropiaciones*. Diario Oficial No. 35.902.
- Davenport, T. H., y Harris, J. G. (2017). *Competing on Analytics: The New Science of Winning*. Harvard Business Review Press.
- Few, S. (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O'Reilly Media.
- González, M. (2019). Valoración de afectaciones prediales por servidumbres de energía: un enfoque desde la equidad. *Revista de Derecho Privado*, (37), 115-142.  
<https://doi.org/10.18601/01234366.n37.05>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2022). *Resolución Conjunta SNR 1101 - IGAC 1134: Procedimientos para el saneamiento de la propiedad y actualización catastral*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Pérez, J., y Ramírez, L. (2021). *Modelos de decisión para la optimización de infraestructura lineal en el sector energético colombiano*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Provost, F., y Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What You Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking*. O'Reilly Media.
- Superintendencia de Notariado y Registro [SNR]. (2023). *Instrucción Administrativa No. 12 sobre el registro de servidumbres de utilidad pública y saneamiento de folios de matrícula*. Grupo de Divulgación SNR.
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2020). *Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2020-2034*. Ministerio de Minas y Energía.  
<https://www1.upme.gov.co/>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Diccionario de Datos*

El diccionario de datos constituye el pilar estructural sobre el cual se edificó el Gobierno de Datos del proyecto. Su función principal es homologar las variables técnicas, jurídicas y económicas provenientes de fuentes heterogéneas (Superintendencia de Notariado y Registro e Instituto Geográfico Agustín Codazzi), eliminando la dispersión informativa sobre el corredor predial.

ID\_ORIGEN (Tipo. Cadena / Alfanumérico). Descripción. Identificador único e inequívoco asignado a cada registro dentro de la base de datos maestra. Regla de negocio. Actúa como la llave primaria (Primary Key) indispensable para el seguimiento del expediente, la auditoría del proceso y la trazabilidad de la decisión analítica.

MATRICULA\_INMOBILIARIA (Tipo. Cadena). Descripción. Número correspondiente al Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) expedido de forma oficial por la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR). Regla de negocio. Variable mandatoria y eje central del sistema para validar la certeza legal del suelo y la libertad de disposición del inmueble.

MUNICIPIO (Tipo. Categoría / Texto). Descripción. Jurisdicción político-administrativa en la que se localiza geográficamente el predio afectado. Regla de negocio. Restringido de forma estricta a los cinco municipios que componen el corredor de estudio en el nororiente de Caldas: Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná.

ESTADO\_JURIDICO (Tipo. Categoría / Texto). Descripción. Categorización técnica de la seguridad legal del activo, inferida a partir del análisis y estudio de títulos históricos. Regla de negocio. Si el predio posee FMI vigente y estudio favorable, se clasifica como Viable. Si el

predio presenta inconsistencias de registro o títulos de falsa tradición, el sistema lo conmuta a Saneamiento.

RUTA\_GESTION (Tipo. Categoría / Entero). Descripción. Clasificación prescriptiva final emitida por el sistema para determinar la estrategia de intervención operativa en campo. Regla de negocio. Basado en una taxonomía unificada y mutuamente excluyente de cuatro salidas lógicas:

1. Negociación Directa, 2. Imposición Judicial, 3. Saneamiento Técnico-Jurídico o 4.

Desafección Técnica.

VALOR\_TOTAL\_AVALUO (Tipo. Decimal / Moneda). Descripción. Monto económico total fijado como propuesta de indemnización económica para el propietario del suelo. Regla de negocio. Calculado bajo los estrictos criterios comerciales y periciales corporativos en el marco de la Ley 56 de 1981. Funciona como el dividendo del umbral de eficiencia operativa.

COSTO\_FORMALIZACION (Tipo. Decimal / Moneda). Descripción. Estimación proyectada de los egresos administrativos requeridos para lograr la legalización total del activo. Regla de negocio. Consolida de forma algorítmica la sumatoria estimada de honorarios profesionales, derechos notariales, aranceles de registro ante la SNR y costos operativos de gestoría en territorio.

DECISION\_DSS (Tipo. Booleano / Lógico). Descripción. Salida binaria del motor de optimización del sistema de soporte a la decisión. Regla de negocio. Si el costo proyectado de formalización supera al valor comercial total del avalúo, el sistema prescribe automáticamente la bandera de desafección técnica para congelar el gasto.

PRIORIDAD (Tipo. Categoría / Texto). Descripción. Nivel de urgencia constructiva ponderado según los requerimientos físicos de la infraestructura lineal. Regla de negocio. Clasificación tripartita indexada: Alta para predios ubicados sobre nodos críticos o apoyos de red; Media para

activos con avalúos en revisión; y Baja para procesos litigiosos de larga duración que no bloquean el trazado.

INSUMOS\_TECNICOS (Tipo. Booleano). Descripción. Vector lógico que comprueba la existencia simultánea de la topografía, el estudio de títulos y el avalúo. Regla de negocio.

Campos de validación binaria (Verdadero/Falso) que alimentan de forma dinámica el embudo de madurez informativa del proyecto de interconexión.

Representación del Esquema en Formato de Intercambio de Datos (JSON): Para efectos de interoperabilidad y conexión con el tablero de control de Power BI y los scripts de procesamiento en Python, el diccionario de datos fue mapeado bajo una estructura de notación de objetos de JavaScript (JSON Schema). Este enfoque garantiza que el modelo pueda integrarse directamente a arquitecturas de almacenamiento modernas o microservicios corporativos:

```
{
  "$schema": "https://json-schema.org/draft/2020-12/schema",
  "title": "EsquemaGestionPredialCaldas",
  "type": "object",
  "properties": {
    "ID_ORIGEN": { "type": "string", "description": "Llave primaria del predio" },
    "MATRICULA_INMOBILIARIA": { "type": "string", "description": "Folio FMI ante la
SNR" },
    "MUNICIPIO": { "type": "string", "enum": ["Manzanares", "Marquetalia", "Norcasia",
"Victoria", "Samaná"] },
    "ESTADO_JURIDICO": { "type": "string", "enum": ["Viable", "Saneamiento"] },
```

```

"RUTA_GESTION": { "type": "string", "enum": ["Negociación Directa", "Imposición
Judicial", "Saneamiento", "Desafección"] },
"VALOR_TOTAL_AVALUO": { "type": "number", "minimum": 0 },
"COSTO_FORMALIZACION": { "type": "number", "minimum": 0 },
"DECISION_DSS": { "type": "boolean" },
"PRIORIDAD": { "type": "string", "enum": ["Alta", "Media", "Baja"] },
"INSUMOS_TECNICOS": { "type": "boolean" }
},
"required": ["ID_ORIGEN", "MATRICULA_INMOBILIARIA", "MUNICIPIO",
"RUTA_GESTION"]
}

```

## Apéndice B

### *Clasificación de Rutas de Gestión*

El sistema de soporte a la decisión (DSS) fundamenta su capacidad prescriptiva en la traducción del marco regulatorio e inmobiliario de la Ley 56 de 1981 en un árbol de decisión automatizado. Con el fin de erradicar la visualización tradicional en tablas matriciales y adoptar un estándar formal de ingeniería del conocimiento, a continuación se detallan las estructuras lógicas condicionales que gobiernan la asignación de rutas operativas para los 345 activos del corredor de infraestructura energética en Caldas. Especificación Formal del Motor de Reglas (Lógica Condicional)

Regla 1. Viabilidad Inmediata: Condición de entrada. Si la variable Viabilidad se evalúa como Viable Y la variable Limitaciones\_Dominio se reporta como Ninguna. Ruta prescriptiva (Salida).

Negociación Directa. Sustento operativo. Esta ruta optimiza la gestión al focalizar recursos en activos con certeza legal absoluta, agilizando los acuerdos voluntarios con los propietarios.

Regla 2. Intervención Judicial:Condición de entrada. Si la variable Viabilidad se evalúa como No Viable O la variable Embargos se encuentra en estado Presentes. Ruta prescriptiva (Salida).

Imposición de Servidumbre (Vía Judicial/Administrativa). Sustento operativo. El sistema activa automáticamente esta ruta ante limitaciones legales insuperables a corto plazo, prescribiendo la preparación sólida del expediente para garantizar la continuidad del cronograma de obra mediante el debido proceso legal.

Regla 3. Saneamiento de la Propiedad: Condición de entrada Si la variable Folio de Matrícula Inmobiliaria (FMI) se reporta como No Existe Y la variable Posesión es clasificada como Demostrada. Ruta prescriptiva (Salida). Saneamiento Técnico-Jurídico. Sustento operativo.

Identifica nodos críticos con títulos de falsa tradición o informalidad registral histórica, prescribiendo rutas de regularización previas a la formalización definitiva de la servidumbre.

Regla 4. Optimización Avanzada (Desafección): Condición de entrada.Si el valor numérico en la variable Valor\_Avaluo es estrictamente inferior al indicador proyectado en

Costo\_Gestion\_Admin Y el Impacto\_Tecnico en el trazado de la red se determina como Nulo.

Ruta prescriptiva (Salida). Desafección Técnica. Sustento operativo. Actúa como la regla de oro para la eficiencia financiera. El sistema congela la dispersión de recursos administrativos en activos donde el costo de formalización no se traduce en un beneficio proporcional para el

proyecto. Abstracción Lógica del Algoritmo del DSS

Para la integración e implementación del árbol de decisión dentro del entorno analítico en Python y su posterior visualización ejecutiva, el motor de inferencia fue estructurado bajo la siguiente rutina algorítmica de control condicional iterativo.

Arquitectura de priorización operativa. Como valor agregado al análisis de rutas, el modelo integra la disponibilidad jurídica con la urgencia técnica de la infraestructura, estableciendo un orden de intervención que optimiza los tiempos de ejecución en el departamento de Caldas.

Prioridad alta (Ruta crítica). Activos clasificados en negociación directa que se encuentran ubicados en nodos estratégicos o puntos de apoyo de red fundamentales. La gestión sobre estos predios es inmediata, ya que representan el camino más ágil para garantizar la continuidad física de la obra.

Prioridad media. (Gestión administrativa). Activos que cuentan con viabilidad jurídica confirmada, pero cuyos avalúos comerciales se encuentran en fase de revisión o actualización. Estos casos requieren un seguimiento administrativo constante para evitar que el trámite financiero retrase la firma del acuerdo.

Prioridad baja (Gestión a largo plazo). Activos candidatos a desafección técnica o aquellos vinculados a procesos judiciales de larga duración que, por su ubicación, no comprometen el trazado principal de la red. Esta clasificación permite que la organización no disperse sus esfuerzos en trámites que no impactan el cronograma crítico de interconexión.

## **Apéndice C**

### *Enfoque Metodológico y Estratégico*

Este apartado describe el diseño técnico, el modelo de datos y la utilidad del tablero de control desarrollado en la plataforma Power BI. Esta herramienta trasciende la función de una simple representación gráfica de indicadores para constituirse en el centro de mando unificado del proyecto. Su propósito fundamental es centralizar la realidad técnica, jurídica y económica de

los 345 predios en el departamento de Caldas, integrando en un solo entorno dinámico lo que antes se encontraba disperso en múltiples expedientes y archivos independientes.

El objetivo estratégico de este sistema es transformar la cultura organizacional, permitiendo que la gerencia y los equipos de gestión predial dejen de depender de reportes estáticos en papel o matrices aisladas, optimizando la toma de decisiones con base en la evidencia fáctica y actual del territorio. Al ofrecer una visión unificada, interactiva y robusta, el tablero facilita la detección temprana de obstáculos registrales, permite monitorear el desempeño de las firmas contratistas en campo y asegura que cada hito hacia la interconexión de la infraestructura eléctrica esté respaldado por datos saneados, confiables y con total certeza legal.

Arquitectura y Modelado de Datos de la Solución. Para garantizar la eficiencia informática, la velocidad de cómputo y la escalabilidad del sistema ante actualizaciones del corredor de infraestructura lineal, la estructura subyacente se diseñó bajo los siguientes parámetros de ingeniería de datos:

- Modelo de almacenamiento: Esquema en Estrella (Star Schema), compuesto por una tabla de hechos central (Fact\_Gestion\_Predial) que consolida los atributos operativos de los 345 inmuebles, interconectada de forma relacional mediante llaves foráneas con tablas de dimensiones específicas (Dim\_Municipio, Dim\_Rutas y Dim\_Prioridad).
- Origen e interoperabilidad: Consumo directo de los conjuntos de datos optimizados y exportados desde el pipeline de limpieza y curaduría de datos ejecutado en Python.

Jerarquía Visual y Experiencia de Usuario (UI/UX)

En concordancia con los principios de diseño de interfaces de información y comunicación efectiva expuestos por Stephen Few (2006), el entorno del tablero de control se estructuró bajo

una distribución jerárquica de tres niveles analíticos para mitigar la carga cognitiva de los tomadores de decisiones:

1. Nivel directivo (Indicadores de Alto Impacto): Bloques visuales dedicados a KPIs macros que muestran de forma inmediata la tasa global de certeza legal del suelo, el porcentaje de avance documental y las métricas de eficiencia económica derivadas de los ahorros por desafección técnica.
2. Nivel táctico (Inteligencia territorial): Componente cartográfico y mapas de calor que georreferencian los predios en los municipios del estudio (Manzanares, Marquetalia, Norcasia, Victoria y Samaná), codificándolos visualmente mediante colores corporativos mutuamente excluyentes según la ruta prescriptiva asignada por el motor de reglas.
3. Nivel operativo (Auditoría detallada): Tablas cruzadas interactivas que permiten a la organización realizar filtros granulares por folio de matrícula inmobiliaria (FMI), linderos, contratistas asignados y estado de madurez de los insumos técnicos (topografía, títulos y avalúos). Lógica de Consulta y Expresiones DAX

Para soportar los filtros cruzados dinámicos y habilitar el cálculo de variables compuestas en tiempo de ejecución, el motor analítico del tablero implementa expresiones lógicas avanzadas en lenguaje DAX (Data Analysis Expressions). Como evidencia del rigor técnico implementado, a continuación se detalla la sintaxis matemática utilizada para calcular el volumen de activos críticos que demandan atención inmediata en la ruta de negociación.

Predios\_Criticos\_Alta\_Prioridad :=

CALCULATE(

COUNTROWS('Fact\_Gestion\_Predial'),

'Dim\_Rutas'[RUTA\_GESTION] = "Negociación Directa",

```
'Dim_Prioridad'[PRIORIDAD] = "Alta"
```

```
)
```