Modelo de Escenarios Físico-Espaciales para el Plan de Ordenamiento Territorial.

MEFE-POT

Documento de alcance funcional, requerimientos técnicos de la solución y responsabilidades de las partes involucradas.

28 de julio de 2026.

Tabla de Contenido

1. Introducción **3**
2. Objetivos **3**
3. Alcance. **4**
3.1 Arquitectura de MEFE-POT. 6
3.2. Capacidades Analíticas. 6
3.3. Integración de Datos (ETL) 7
3.4. Exclusiones del Alcance 8
4. Supuestos del proyecto. **8**
5. Restricciones **9**
6. Premisas Metodológicas **10**
6.1. Unidad de Análisis. 11
6.2. Paradigmas de Modelado. 11
6.3. Condicionantes metodológicos derivados de los datos. 12
6.4. Auditabilidad y Reproducibilidad. 12
6.5. Consideraciones de Temporalidad en el Modelo 12
7. Metodología de ejecución del proyecto **14**
8. Stack Tecnológico **15**
8.1. Infraestructura y Datos 15
8.2. Tecnologías y Lenguajes Base 16
8.3. Gestión de Código 16
9. Responsabilidades y compromisos del DAP **16**
9.1. Gobernanza y Equipo de Trabajo 16
9.2. Infraestructura y despliegue. 17
9.3. Datos de Entrada y Condiciones de Calidad. 17
10. Entregables **19**
10.1 Productos analíticos y tecnológicos 19
10.2. Documentación técnica y de validación 19
10.3. Transferencia de conocimiento 20
11. Criterios de aceptación de los entregables. **20**
11.1 Criterios de Aceptación Funcional y Analítica 20
11.2. Criterios de aceptación documental y de transferencia 21
11.3. Formalización de la Entrega 21
12. Glosario de Referencia **21**

Modelo de Escenarios Físico-Espaciales para el Plan de Ordenamiento Territorial.

1. Introducción

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT), adoptado mediante el Acuerdo 48 de 2014, constituye el principal instrumento para orientar el desarrollo físico, ambiental, social y económico del Distrito de Medellín. Su implementación requiere herramientas que permitan evaluar el grado de consolidación del modelo de ocupación territorial, identificar brechas entre las condiciones actuales y las metas definidas por el Plan, y apoyar la priorización de intervenciones estratégicas.

MEFE-POT es la denominación propuesta para el *Modelo de Escenarios Físico-Espaciales para el Plan de Ordenamiento Territorial*, concebido como una plataforma analítica para la simulación de escenarios, el análisis territorial y el apoyo a la toma de decisiones durante los procesos de seguimiento y evaluación del POT. En este contexto, el presente documento define el alcance funcional, metodológico y técnico para su diseño y desarrollo. El modelo integra información territorial proveniente de fuentes oficiales del Distrito, la organiza bajo criterios de gobernanza y calidad de datos, y la procesa mediante metodologías reproducibles, trazables y auditables para generar escenarios de análisis que respalden la toma de decisiones.

Es importante precisar que MEFE-POT no reemplaza los mecanismos oficiales de seguimiento del POT ni modifica las metodologías de medición de sus indicadores. Su propósito es complementar dichos instrumentos mediante la integración de información territorial, el análisis espacial y la simulación de escenarios.

Las disposiciones contenidas en este documento establecen el marco funcional, metodológico y contractual para el desarrollo de MEFE-POT, delimitando el alcance del proyecto, los componentes incluidos, los entregables comprometidos, los supuestos, las restricciones, las responsabilidades de las partes y los criterios de aceptación que regirán su ejecución.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

El propósito central del proyecto es desarrollar un modelo de escenarios físico-espaciales que apoye los procesos de seguimiento y evaluación del plan de ordenamiento territorial (POT). El modelo permitirá estimar el grado de consolidación del modelo de ocupación territorial, identificar brechas y oportunidades territoriales, y generar información para apoyar la priorización de intervenciones estratégicas orientadas al cumplimiento de las apuestas definidas por el POT.

2.2. Objetivos Específicos

Para materializar el objetivo general, el proyecto contempla el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar e implementar el modelo de escenarios físico-espaciales para el POT, integrando metodológicamente indicadores, variables territoriales y escenarios prospectivos para habilitar la simulación y análisis de escenarios territoriales a partir de la información suministrada por el Distrito.

- Estimar el grado de consolidación del modelo de ocupación territorial para identificar brechas, desequilibrios y oportunidades territoriales mediante el análisis comparado entre las condiciones del territorio (según la información oficial suministrada), las metas del modelo de ocupación y las apuestas definidas en el POT y sus instrumentos asociados.

- Diseñar e implementar tableros de consulta, visualización y análisis de resultados, conectados al lago de datos del Distrito, que permitan explorar los indicadores, escenarios, brechas, oportunidades y prioridades territoriales identificadas por MEFE-POT.

- Documentar la arquitectura funcional de MEFE-POT, las fuentes de información, los supuestos metodológicos, los indicadores, las rutinas de procesamiento y las reglas de operación, garantizando la reproducibilidad, trazabilidad y auditabilidad de los resultados.

- Desarrollar un plan de transferencia de conocimiento al equipo técnico de Ruta N y del Departamento Administrativo de Planeación (DAP), con el fin de facilitar la apropiación funcional, operación, actualización, interpretación y evolución futura por parte del Distrito.

3. Alcance.

El modelo de escenarios físico-espaciales para el POT utilizará información territorial relevante derivada de los procesos de seguimiento y evaluación del modelo de ocupación territorial (MO), articulando indicadores, variables espaciales, restricciones territoriales, condiciones de factibilidad, oportunidades de intervención y escenarios prospectivos. El propósito es estimar en los escenarios simulados el grado de consolidación territorial frente a las apuestas definidas en el plan de ordenamiento territorial y sus instrumentos asociados.

En consecuencia, MEFE-POT no se limita a representar o consolidar información existente; adicionalmente, genera análisis territoriales comparativos, reproducibles y trazables que permitan identificar brechas, desequilibrios, prioridades y oportunidades de gestión pública, privada o mixta.

MEFE-POT se ancla en el modelo de ocupación porque su objeto medido es el estado físico del territorio. El programa de ejecución (PE) entra como señal de oportunidad: el hecho de que una zona esté programada o en ejecución dentro del PE es un atributo del territorio que el modelo incorpora para calificar dónde una intervención es más viable o está en curso. Los objetivos estratégicos (OE) entran como marco de lectura: las brechas que MEFE-POT identifica frente al modelo de ocupación pueden asociarse a los objetivos estratégicos a través del encadenamiento entre indicadores, componentes y objetivos que la taxonomía del POT establece.

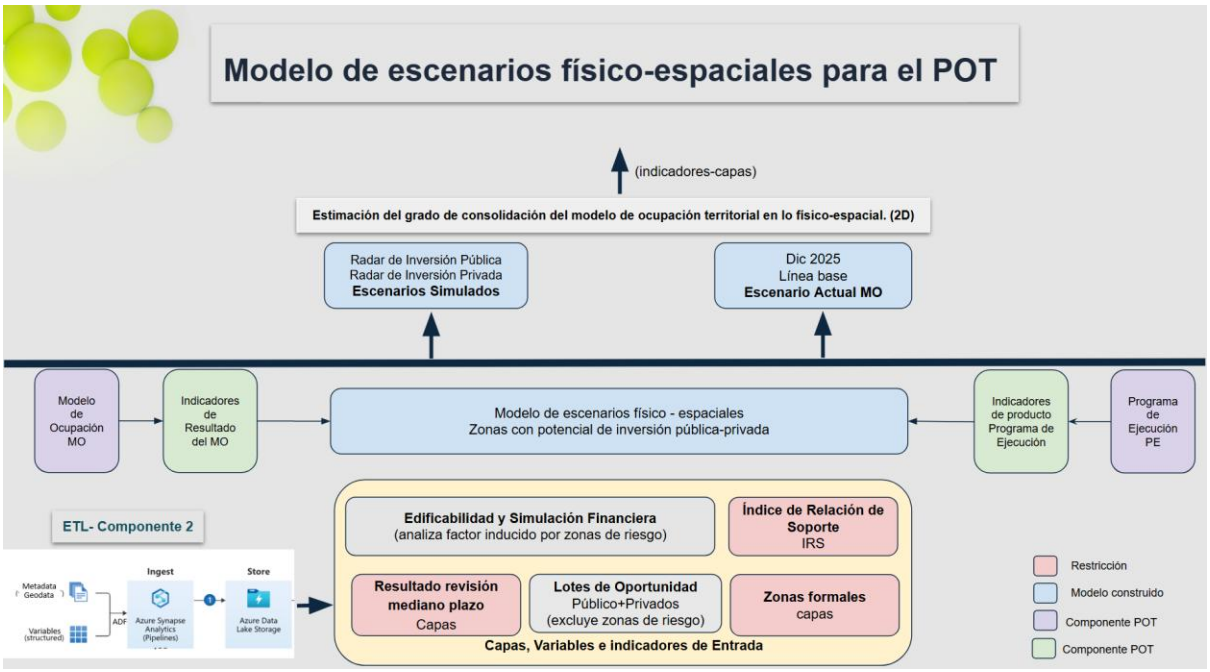


Figura 1. Modelo de escenarios físico-espaciales para el POT (MEFE-POT)

Esta asociación es una lectura trazable —qué brechas se vinculan a qué objetivo, expresada como conteo, superficie o listado de brechas etiquetadas—, no una operación aritmética que produzca un porcentaje de avance del objetivo. Cuando una brecha se vincula a más de un objetivo, se reporta con marca de multiplicidad, de modo que la lectura por objetivo no incurra en doble conteo.

El catálogo del modelo de escenarios físico-espaciales para el POT conservará los vínculos entre variables, indicadores y componentes para garantizar el principio de extensibilidad por diseño. Esto habilita estructuralmente qué lecturas más complejas orientadas al programa de ejecución y objetivos estratégicos puedan activarse en el futuro, aunque su desarrollo completo no forme parte de esta fase.

3.1 Arquitectura de MEFE-POT.

MEFE-POT integra dos partes en un solo sistema. La primera es el seguimiento: establecer, en el espacio, el estado del territorio frente al modelo de ocupación, las brechas que lo separan de sus metas y las fuerzas que lo transforman (la dinámica de la ocupación). La segunda es la simulación de escenarios: proyectar, sobre esas brechas, el efecto de intervenciones públicas o privadas para orientar la priorización. Para lograrlo, MEFE-POT se organiza en cuatro módulos funcionales:

- **Módulo de estado:** Establece la condición actual del territorio frente al modelo de ocupación. MEFE-POT desciende de cada indicador a las variables que lo componen y reconstruye sus fuentes para construir una línea base del estado con mayor cobertura y trazabilidad. La reconstrucción de variables-fuentes es una propuesta técnica del consultor que el DAP deberá aprobar mediante acta. En ningún caso esta reconstrucción redefine los indicadores oficiales del MO.

- **Módulo de dinámica:** Lee las fuerzas que transforman la ocupación del territorio, mediante índices compuestos auditables por componente: atracción para el desarrollo formal, presión de desarrollo informal y activación pública. Esta capa no mide el estado, sino las presiones y potencialidades que actúan sobre él.

- **Módulo de integración y brecha:** Cruza el módulo de estado contra las metas del MO para cuantificar la brecha, y la combina con las lecturas de dinámica y con la condición de oportunidad (ej. pertenencia al PE) para producir el ranking de manzanas y la clasificación de zonas accionables. Es la salida integradora de MEFE-POT.

- **Módulo de escenarios:** Proyecta trayectorias de cambio del estado de las manzanas en un horizonte de cinco a diez años, mediante un módulo de transición, permitiendo simular el efecto de intervenciones públicas y la activación de instrumentos de gestión.

3.2. Capacidades Analíticas.

MEFE-POT responde: Dónde se localiza la brecha frente al modelo de ocupación y con qué magnitud; dónde conviene priorizar la intervención según brecha, factibilidad y oportunidad; y qué efecto tendría sobre el territorio una intervención determinada.

MEFE-POT NO responde: Cuánto avanzó un objetivo estratégico como consecuencia de una obra (esta pregunta contradice el régimen de medición de los OE). MEFE no reemplaza la batería de indicadores del SSEPOT ni la medición oficial del avance del plan, y no constituye un pronóstico de mercado infalible.

A partir de la información disponible, MEFE permitirá generar salidas descriptivas y analíticas como:

- **Zonas con alta brecha frente al MO y baja factibilidad de intervención**, asociadas a condiciones que demandan grandes inversiones, gestión predial compleja, reasentamientos, mitigación del riesgo, provisión de infraestructura o coordinación interinstitucional, y que por tanto suponen una gestión de largo plazo.

- **Zonas con alta brecha frente al MO y alta oportunidad de gestión**, en particular aquellas que coinciden con intervenciones, proyectos o apuestas contempladas en el Programa de Ejecución, el programa de gobierno, los instrumentos de planificación complementaria o las prioridades estratégicas del Distrito, y que en consecuencia deberían priorizarse.

- **Zonas con potencial de activación privada que requieren intervenciones públicas habilitantes**, como mejoras en movilidad, espacio público, equipamientos, redes de servicios, condiciones normativas, gestión del suelo o proyectos estructurantes que orienten y cualifiquen la transformación territorial.

- **Zonas con restricciones ambientales, patrimoniales, rurales o de gestión del riesgo**, en las cuales MEFE deberá contribuir a diferenciar entre áreas de protección, áreas de control territorial, zonas de intervención condicionada y sectores donde se requiere limitar, orientar o monitorear los procesos de ocupación.

- **Zonas con capacidad de generar obligaciones urbanísticas, cargas o aprovechamientos**, que puedan contribuir a la financiación de espacio público, movilidad, equipamientos, vivienda, infraestructura verde u otras intervenciones necesarias para avanzar en la consolidación del MO.

- **Zonas con déficit acumulado de soportes territoriales**, donde la consolidación del modelo exige priorizar intervenciones públicas para corregir desequilibrios en accesibilidad, espacio público, equipamientos, servicios urbanos, conectividad ecológica o condiciones de habitabilidad.

3.3. Integración de Datos (ETL)

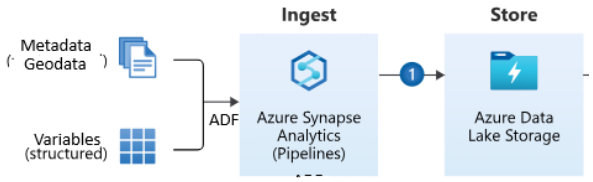


Figura 2. Esquema de carga de datos mediante ETL.

MEFE-POT se conectará con los mecanismos de ETL (Extract, Transform, Load) habilitados en el componente 2 del contrato, los cuales permiten la carga automatizada de información de variables, indicadores y capas al *Data Lake* del Distrito sobre la plataforma Azure.

Para alimentar MEFE-POT, se reutilizarán estos ETL existentes, ajustando y configurando los procesos de validación estrictamente necesarios para cumplir con los requerimientos de entrada del nuevo modelo, garantizando que la información quede disponible en la "zona oro" lista para su consumo.

3.4. Exclusiones del Alcance

Con el fin de delimitar claramente las obligaciones derivadas del presente alcance, se establece que las siguientes actividades, productos y responsabilidades no hacen parte del objeto del proyecto ni de los entregables comprometidos. Cualquier incorporación de estos elementos requerirá el trámite correspondiente de gestión de cambios o la modificación contractual que resulte aplicable.

- **Modelos preexistentes:** La construcción, modificación o validación del Índice de Relación de Soporte (IRS) y del motor financiero o de edificabilidad. Estos modelos se reciben operativos y listos para su uso; el consultor únicamente consume sus KPIs de salida sobre los lotes de oportunidad.
- **Información primaria y cartográfica:** El levantamiento primario de información cartográfica, la construcción o actualización de información primaria, la depuración histórica de bases de datos institucionales y la generación de información no disponible en las fuentes oficiales del Distrito.
- **Lotes de oportunidad:** La definición, actualización, validación o priorización de la lista de lotes de oportunidad, responsabilidad exclusiva del DAP.
- **Indicadores del POT:** La creación, modificación, homologación o redefinición técnica, conceptual o metodológica de los indicadores oficiales del POT.
- **Operación futura:** La operación recurrente y el mantenimiento del modelo tras su entrega y transferencia de conocimiento.

4. Supuestos del proyecto.

El cumplimiento del alcance, los entregables y el cronograma del proyecto están estrictamente condicionados a la materialización de los siguientes supuestos operativos e institucionales:

- **Calidad y entrega de datos:** Toda la información y fuentes de datos entregadas por el DAP corresponden a versiones aprobadas y validadas por la entidad. Se asume que el DAP suministrará

esta información y aprobará las actas de reconstrucción de variables en los tiempos establecidos en el cronograma de trabajo; cualquier retraso impactará directamente las fechas de entrega.

- **Gobernanza técnica:** El DAP dispondrá y asignará de manera permanente a un *Product Owner* con la capacidad, disponibilidad y autoridad necesaria para tomar decisiones técnicas, resolver bloqueos y aprobar metodologías sin dilaciones.

- **Infraestructura tecnológica:** El Distrito garantizará el aprovisionamiento, los permisos y el acceso oportuno a la infraestructura tecnológica necesaria (entorno Azure y Data Lake) para el desarrollo, pruebas y despliegue del modelo.

- **Disponibilidad de dependencias:** Los modelos preexistentes de los cuales depende este proyecto (el motor IRS y el motor de edificabilidad) se encuentran completamente desarrollados, operativos, estabilizados algorítmicamente y disponibles para su consumo automatizado desde el inicio de la etapa de modelamiento.

5. Restricciones

MEFE-POT se fundamenta en las siguientes reglas de negocio espaciales y operativas inmodificables:

- **Ámbito territorial:** La información del ámbito urbano es la base exclusiva para esta fase del modelo.

- **Línea base temporal:** Las capas suministradas y el estado de los indicadores de producto del Programa de Ejecución (PE) tendrán como línea base temporal diciembre de 2025.

- **Horizonte prospectivo y retrospectivo:** Las proyecciones de escenarios se restringirán a un horizonte de 5 a 10 años, y las comparaciones históricas requerirán homologación de variables normativas, tal como se detalla metodológicamente en la **Sección 6.5**.

- **Geolocalización colaborativa:** Los indicadores suministrados requieren de un trabajo conjunto y permanente con personal del DAP para lograr que estén debidamente geolocalizados y de esta manera permitir su cruce espacial.

Para la construcción del modelo se reconoce que no todas las fuentes nacen a escala de manzana ni bajo los mismos criterios de captura, delimitación y vigencia. En consecuencia, aplican las siguientes restricciones espaciales:

- **Escala de procesamiento (Manzana y EDA):** Todas las capas geográficas y datos de entrada se

procesarán, preferentemente, a nivel de manzana (utilizando el código CBML). La llevada de una variable a este nivel —por intersección, predominancia por área, ponderación o proximidad— se aplicará según la naturaleza del dato y se documentará; no se asume que toda fuente pueda agregarse a manzana sin pérdida de precisión. Sin embargo, si durante la fase exploratoria (EDA) se determina que la desagregación de una variable hacia la escala de manzana genera un margen de error estadísticamente inaceptable o desvirtúa la naturaleza del fenómeno, el consultor acordará con la mesa técnica su integración y evaluación en un nivel de agregación superior (ej. polígono normativo, barrio o comuna), o en su defecto, su exclusión del módulo espacial.

- **Tamiz físico-espacial:** Cada indicador seleccionado se debe someter a un tamiz físico-espacial de cinco criterios de naturaleza del fenómeno: (1) Espacialización de sus variables, (2) Unidad espacial alcanzable, (3) Sensibilidad al modelo de ocupación, y (4) Temporalidad de la fuente. (5) Según el resultado se clasifica como (i) físico-espacial directo, (ii) físico-espacial derivable (requiere un *proxy* espacial), (iii) geolocalización no estructural (mapeable pero indiferente a la ocupación), o (iv) no espacial (queda en seguimiento estadístico, fuera del módulo).

- **Vacíos de información:** Los vacíos de información (datos nulos) se distinguen explícitamente del valor cero, para no generar brechas territoriales falsas.

- **Trazabilidad:** Toda regla de decisión, supuesto y limitación queda documentada, de modo que las salidas sean trazables y auditables.

6. Premisas Metodológicas

Las decisiones consignadas en esta sección constituyen la línea base contractual y metodológica del modelo. Sin embargo, su aplicación definitiva está condicionada a los hallazgos en la fase inicial de análisis exploratorio de datos (EDA). Si durante dicha fase se identifican limitaciones de calidad, volumen o consistencia histórica que imposibiliten técnica o estadísticamente sostener estas premisas, el consultor documentará la restricción y propondrá alternativas a la mesa técnica para su respectiva aprobación.

6.1. Unidad de Análisis.

La unidad de análisis primaria del modelo es la manzana catastral. Los KPIs del motor financiero y de edificabilidad se reciben a nivel de lote sobre el subconjunto de lotes de oportunidad. Estos KPIs se agregan a nivel de manzana mediante el código CBML aplicando reglas estadísticas de agregación (promedios ponderados, medianas o sumatorias) que serán documentadas en la etapa de modelamiento. Los módulos

de presión de desarrollo informal y activación pública se calculan preferiblemente a este mismo nivel.

La capa de integración operará sobre manzanas para producir las salidas finales de MEFE-POT, siempre y cuando la resolución de los datos de entrada lo soporte rigurosamente. En los casos donde la granularidad espacial de las fuentes impida llegar a la manzana sin inducir sesgos sistemáticos, el modelo podrá operar de manera multi-escala, entregando resultados en la unidad espacial mínima viable (ej. polígonos de tratamiento o barrios), previa validación metodológica con la mesa técnica.

6.2. Paradigmas de Modelado.

Como hipótesis de partida, se asume que MEFE-POT se construye bajo un paradigma híbrido que combina dos componentes:

- **Análisis Multicriterio (MCDA) por componente:** Los módulos de atracción para desarrollo formal y activación pública se formulan como índices compuestos auditables, con variables, fuentes, pesos y umbrales explícitos. La capacidad de soporte opera como restricción a través del IRS preexistente. La capa de integración aplica reglas de combinación documentadas para producir el ranking de manzanas y los mapas temáticos.

- **Módulo de simulación de transiciones de uso del suelo:** Basado en la familia *Land Use and Cover Change (LUCC)*. Sobre el ranking estático, el modelo incorpora un módulo que proyecta trayectorias de cambio entre estados de manzana en un horizonte de cinco a diez años, utilizando matrices de transición calibradas con información histórica del Distrito. En caso de que la información histórica no cuente con la calidad o volumen suficiente para un entrenamiento algorítmico, las probabilidades de transición se calibrarán de manera heurística (ej. Proceso de Análisis Jerárquico - AHP) o mediante reglas espaciales determinísticas validadas con la Mesa Técnica.

El módulo de simulación permite ejecutar escenarios sobre intervenciones públicas y medir su efecto sobre la probabilidad de transición de manzanas hacia estados objetivo (formal denso, mixto, informal regularizable, entre otros).

6.3. Condicionantes metodológicos derivados de los datos.

La selección técnica concreta del método —ya sean enfoques algorítmicos consolidados (CA-Markov, regresión logística espacial, CLUE-S) o alternativas heurísticas (AHP)— dependerá estrictamente de la

completitud y calidad de las matrices históricas entregadas por el Distrito.

Si el análisis exploratorio de datos (EDA) revela que la incertidumbre, consistencia temporal o volumen de la información histórica invalidan la proyección algorítmica de trayectorias, el paradigma de modelado se ajustará hacia enfoques heurísticos, estáticos o basados exclusivamente en análisis multicriterio (MCDA).

En cualquier escenario, la técnica seleccionada queda sujeta a garantizar que las reglas de transición sean trazables, que el módulo no se ejecute como una caja negra paralela, y que privilegie tres atributos en orden: auditabilidad institucional, capacidad de simulación de intervenciones y mantenibilidad. Se descarta explícitamente, para esta fase, el desarrollo de un modelo basado en agentes (ABM) como núcleo del modelo, sin perjuicio de que una fase posterior pueda extender el módulo dinámico hacia microsimulación de hogares.

6.4. Auditabilidad y Reproducibilidad.

Toda salida del MEFE-POT debe ser reproducible a partir del código y los datos entregados. Cada componente de cada índice debe ser explicable en términos de variables, fuentes, pesos y umbrales. Para cualquier manzana, el modelo debe permitir la descomposición del puntaje hasta el nivel de variables fuente. La trazabilidad ya presente en el motor financiero y de edificabilidad —fórmulas con identificador único, descripción y condiciones de activación— debe preservarse y extenderse hacia el resto de los componentes del modelo.

6.5. Consideraciones de Temporalidad en el Modelo

El tratamiento del tiempo en el Modelo de Escenarios Físico-Espaciales (MEFE-POT) opera en dos dimensiones complementarias: la proyección prospectiva (simulación hacia el futuro) y la comparación retrospectiva (análisis histórico de cortes transversales). A continuación, se detallan los principios que rigen ambas dimensiones:

El horizonte de proyección de escenarios (5 a 10 años)

El horizonte de cinco a diez años en el análisis prospectivo no es un número arbitrario, sino una restricción metodológica y conceptual establecida expresamente en el documento de alcance del proyecto. Esta decisión responde a tres razones fundamentales relacionadas con la naturaleza del urbanismo y la técnica de modelación:

- ***El tiempo real de las transformaciones físicas (Razones metodológicas):*** El módulo de escenarios proyecta trayectorias de cambio utilizando modelos de transición de uso y cobertura del suelo

(familia LUCC) o matrices de transición calibradas. En el mundo real, los cambios físicos de una ciudad (como la densificación de un barrio, la transición de un asentamiento informal a uno regularizado, o la consolidación de un corredor comercial tras la construcción de un tranvía) no ocurren de un año para otro. El modelo necesita una ventana de mediano y largo plazo (5 a 10 años) para que los algoritmos puedan calcular de forma realista cómo esas fuerzas transforman el estado de las manzanas.

- *Alineación con los tiempos del POT (Razones normativas):* El Plan de Ordenamiento Territorial es un instrumento diseñado con una visión a largo plazo, donde sus proyectos estructurales están concebidos para transformar el territorio en el mediano y largo plazo (8 y 12 años). Evaluar una obra estructural en un horizonte menor (ej. 2 o 3 años) mostraría impactos nulos o invisibles en el mapa, lo cual desvirtúa el propósito del modelo.

- *Maduración de las intervenciones (Razones de gestión):* Cuando el analista simula en la interfaz la llegada de un proyecto del Programa de Ejecución o la activación de un instrumento de gestión pública, el efecto de esa intervención tarda años en detonar la inversión privada o consolidar el espacio público. El horizonte de 5 a 10 años permite ver la "fotografía" de la ciudad una vez que la intervención ya ha madurado y ha generado su impacto real sobre la brecha del Modelo de Ocupación.

En resumen, se utiliza este marco temporal porque es el tiempo mínimo viable para que una simulación físico-espacial arroje resultados estadísticamente significativos, creíbles y alineados con los plazos reales del ordenamiento territorial.

Análisis retrospectivo y comparación temporal entre cortes normativos

Además de la proyección futura, el modelo está diseñado estructuralmente para permitir comparaciones retrospectivas, evaluando cortes transversales en el tiempo (por ejemplo, comparar el estado del territorio en el sexto año de vigencia de un POT con el segundo año del POT que lo reemplaza). Para garantizar la validez técnica de estos análisis históricos, el modelo debe operar bajo los siguientes lineamientos:

- *Trazabilidad espacial mediante el código CBML:* Para comparar con precisión la evolución física de una misma porción de territorio a lo largo de décadas, el modelo exige y mantiene una tabla de correspondencias del código CBML (Comuna, Barrio, Manzana, Lote). Esta llave primaria histórica resuelve las modificaciones geométricas (divisiones o fusiones de manzanas) ocurridas entre los diferentes cortes temporales, garantizando la comparabilidad espacial.

- *Diferenciación analítica entre "Estado Físico" y "Brecha Normativa":* El modelo distingue rigurosamente dos tipos de análisis temporal. Comparar el *estado físico bruto* (ej. metros cuadrados construidos, hectáreas de espacio público o densidad habitacional) permite una lectura directa y continua de la evolución física de la ciudad. Sin embargo, comparar la *brecha territorial* exige considerar que el denominador (la meta del Modelo de Ocupación) cambia al transitar de un POT

a otro. El sistema evalúa cómo se acerca o aleja el territorio frente a la meta que se encontraba vigente en cada respectivo corte.

- *Homologación de variables y categorías:* Toda vez que un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial puede establecer variaciones en su taxonomía, polígonos normativos, tratamientos y parámetros de medición, la comparación visual y analítica entre vigencias diferentes requiere que los datos almacenados en la zona oro del *Data Lake* cuenten con un proceso previo de homologación. Esto asegura la continuidad temática de las variables y evita sesgos analíticos al contrastar mapas de diferentes épocas normativas.

- *Calibración del módulo de transición:* Estas comparaciones históricas no solo tienen un valor descriptivo en el modo de *Integración y Brecha*, sino que constituyen el insumo fundamental para el modo de *Escenarios*. Observar rigurosamente cuánto tiempo le tomó a una zona específica cambiar de estado bajo las reglas normativas de años anteriores, es lo que permite entrenar y calibrar las *matrices de transición históricas* utilizadas por los algoritmos algorítmicos prospectivos.

7. Metodología de ejecución del proyecto

El desarrollo e implementación del modelo de escenarios físico-espaciales para el POT se ejecutará bajo un *enfoque iterativo e incremental*, fundamentado en ciclos de construcción, entregas progresivas de valor y validación continua. El avance del proyecto y la aprobación de sus incrementos requieren obligatoriamente la participación activa del *Product Owner* para la validación de entregables intermedios, y de la *Mesa Técnica* para la resolución ágil de impedimentos.

La ejecución se estructura en las siguientes etapas principales, cuyas actividades pueden retroalimentarse de manera cíclica:

- **Fase 1. Entendimiento y análisis exploratorio de datos (EDA):** Constituye el cimiento del modelo. Comprende la recepción, inventario y validación de calidad de las fuentes de información entregadas por el DAP. En esta fase, el *Product Owner* debe certificar formalmente la versión oficial de los datos a utilizar, y la Mesa Técnica debe aprobar o ajustar las premisas metodológicas basándose en los hallazgos del análisis exploratorio.

- **Fase 2. Diseño y modelamiento iterativo:** A partir de los datos validados y las reglas aprobadas, se procede con la construcción matemática y algorítmica de los cuatro módulos del sistema. Esta etapa se desarrolla mediante ciclos incrementales (iteraciones), lo que permite que el *Product Owner* participe de manera recurrente en la validación funcional de modelos preliminares, retroalimentando los resultados tempranos para asegurar su coherencia territorial antes del empaquetado final.

- **Fase 3. Integración y despliegue tecnológico:** A medida que los módulos se estabilizan, se integran progresivamente con los mecanismos ETL preexistentes y se automatizan en el entorno Azure del Distrito para alimentar los tableros de visualización. El ritmo de este despliegue incremental depende de que el Distrito garantice la infraestructura, los accesos y el desbloqueo oportuno de barreras tecnológicas.

- **Fase 4. Documentación y transferencia:** Cierre del ciclo mediante la consolidación final del código versionado, los manuales técnicos y la ejecución de las capacitaciones. El *Product Owner* y la mesa técnica validan el cumplimiento de los criterios de aceptación sobre el incremento final entregado para oficializar la recepción a satisfacción.

8. Stack Tecnológico

El desarrollo, ejecución y despliegue de MEFE-POT se realizará bajo los siguientes parámetros tecnológicos, los cuales delimitan el alcance técnico del proyecto:

8.1. Infraestructura y Datos

- **Entorno de despliegue:** El modelo se desplegará exclusivamente en la plataforma Azure proporcionada por el Distrito.

- **Consumo de datos:** La ejecución del modelo se realizará con conexión directa a las fuentes de datos que lo alimentan. Los datos de entrada serán consumidos desde el *Data Lake* del Distrito, aprovechando los ETL periódicos y automatizados habilitados en el componente 2 del proyecto.

- **Almacenamiento de resultados:** Las salidas del modelo se almacenarán en la "zona oro" del *Data Lake* del Distrito. Adicionalmente, se habilitará el almacenamiento de una copia de estas salidas en la geodatabase corporativa, siguiendo estrictamente las directrices técnicas documentadas y entregadas por el Distrito al inicio del proyecto.

8.2. Tecnologías y Lenguajes Base

- **Motor analítico:** Los lenguajes y motores base para la construcción algorítmica y espacial serán Python y PostGIS.

- **Validación espacial:** Se utilizará QGIS como entorno de validación cartográfica de los resultados.

- **Visualización:** La visualización de los resultados finales se consultará mediante tableros de visualización o interfaces web conectadas a la zona oro del *Data Lake*.

8.3. Gestión de Código

- **Control de versiones:** El código fuente se entregará bajo estricto control de versiones utilizando Git, alojado en el repositorio oficial designado por Ruta N.

9. Responsabilidades y compromisos del DAP

El éxito del proyecto, el cumplimiento del cronograma y la calidad de los entregables dependen de la participación activa y el cumplimiento de las obligaciones por parte del Departamento Administrativo de Planeación (DAP). Se establecen los siguientes compromisos:

9.1. Gobernanza y Equipo de Trabajo

- **Product Owner:** Definir un *Product Owner* que se integre al equipo de desarrollo desde el inicio. Deberá asistir a las reuniones semanales del proyecto y su labor principal será aprobar las versiones oficiales de los datos a utilizar y dar respuesta técnica a los bloqueos, garantizando no generar retrasos en el trabajo del equipo de desarrollo.

- **Bitácora de bloqueos:** El equipo de desarrollo mantendrá una bitácora de bloqueos e impedimentos que será revisada al inicio de cada reunión semanal con el *Product Owner*. Los tiempos asociados a bloqueos sin resolución por parte del Distrito serán registrados para efectos de control, seguimiento y justificación de ajustes al cronograma del proyecto.

- **Mesa técnica del proyecto:** Para garantizar la resolución ágil de impedimentos que superen el alcance del *Product Owner*, el DAP y Ruta N deberán consolidar una Mesa Técnica desde el inicio del proyecto. Sus funciones principales serán:

    - *Resolución de escalamientos:* Dirimir y decidir sobre los bloqueos técnicos, metodológicos o de acceso a información reportados en la bitácora semanal que no puedan resolverse individualmente.

    - *Validación de metodologías:* Aprobar los resultados del Análisis Exploratorio de Datos (EDA) y avalar heurísticas, supuestos técnicos, descartes de variables o ajustes a los paradigmas de modelado y unidades de análisis.

    - *Gestión interinstitucional:* Facilitar la articulación con otras dependencias del Distrito (ej. Catastro, ISVIMED) cuando el modelo requiera insumos que escapen a la competencia directa del equipo del DAP.

    - *Decisiones expertas:* Tomar decisiones técnicas que requieran de la experticia oficial en

planeación urbana.

9.2. Infraestructura y despliegue.

- **Responsable de despliegue:** Definir un responsable de despliegue por parte del DAP desde el inicio del desarrollo que tenga la autoridad para tomar decisiones de arquitectura.
- **Entorno productivo:** Disponer de la plataforma tecnológica de despliegue en producción operativa, con los accesos y permisos necesarios, al menos tres (3) meses antes de finalizar el contrato.

9.3. Datos de Entrada y Condiciones de Calidad.

A continuación, se enumeran los *datasets* de entrada requeridos para el modelo, los cuales deben ser entregados acorde a las premisas establecidas y suministrados en su totalidad por el DAP:

Insumo	Dueño	Uso en el modelo
Indicadores del Modelo de Ocupación (y sus variables, líneas base y geolocalización)	DAP	Capa de estado; construcción de la brecha
Indicadores del Programa de Ejecución(variables, líneas base y geolocalización)	DAP	Señal de oportunidad; etiquetado de salidas
KPI de salida del motor financiero y de edificabilidad (por lote)	DAP/ preexistente	Insumo del módulo de atracción para el desarrollo formal
Índice de Relación de Soporte (por dimensión de capacidad)	DAP/ preexistente	Restricción territorial de la capa de dinámica
Listado de lotes de oportunidad para desarrollo privado formal	DAP	Perímetro de cálculo de los KPI del motor; módulo de atracción para el desarrollo formal
Capa de lotes de catastro base	DAP	Geometría y llave CBML de lotes; base de espacialización

Inventario de bienes públicos y fiscales, instrumentos de financiación y banco de proyectos	DAP	Módulo de activación pública
Prioridades estratégicas del Distrito (oficializadas)	DAP	Criterio de clasificación de zonas de la Sección 3.4
Capas de la revisión de mediano plazo del POT	DAP	Línea base y restricciones espaciales
Variables del catálogo de indicadores por módulo	DAP	Según ficha de cada indicador; por remisión al catálogo

Lograr los objetivos definidos en este documento está estrictamente condicionado a la calidad y completitud de la información suministrada por el Distrito. Específicamente, el éxito de estos análisis depende de los siguientes factores críticos:

- La correcta alineación y homologación entre las metas e indicadores del Modelo de Ocupación, el Programa de Ejecución y los planes de desarrollo.
- La correcta alineación entre las metas del Modelo de Ocupación y los indicadores que suministran los estudios preexistentes que alimentan el modelo.
- El nivel de granularidad, actualización y precisión en la geolocalización de los datos entregados.
- Contar con una línea base de toda la información con la misma fecha de corte y al nivel de detalle requerido para el análisis espacial.

Dado que esta información está en permanente evolución, se definirá una fecha de corte oficial para proceder a construir el modelo a entregar. La versión, la fecha de corte y el criterio de calidad de cada dato de entrada se consignarán en el catálogo de datos del proyecto, no en este documento. El nivel de análisis que el modelo puede alcanzar depende exclusivamente de la disponibilidad y calidad de estos insumos.

10. Entregables

10.1 Productos analíticos y tecnológicos

- *Modelo de escenarios físico-espaciales:* Entregado funcional a nivel de usuarios, reproducible sobre los datasets de entrada, y con capacidad para simular escenarios.
- *Visualizador o interfaz de usuario:* Construida y conectada directamente al lago de datos del Distrito, y desplegados en el entorno productivo.
- *Capas geográficas:* Generadas como salidas o resultados consumibles del modelo.
- *ETL de carga de datos para el modelo***.** Los ETL garantizan la carga periódica de variables, indicadores y capas requeridas por el modelo.
- *Bases de datos depuradas y estructuradas,* con procesos de calidad aplicados, incluyendo el diccionario de datos para toda la información de entrada del modelo.
- *Código fuente y configuración:* Entrega formal del código fuente, los datos derivados y los artefactos de configuración, todo bajo estricto control de versiones utilizando Git.

10.2. Documentación técnica y de validación

- *Documentación del proceso de automatización y transformación***:** Documento que detalle el modelo y sus rutinas de operación, garantizando que el resultado sea auditable y trazable a sus fuentes.
- *Catálogo de datos:* Entrega del respectivo catálogo de datos actualizado.
- *Manual de usuario:* Instructivo claro para la operación de los tableros o modelos definidos.
- *Documento de implementación del Modelo analítico.* Detallando calibración y parametrización para la simulación de escenarios, de acuerdo con las entradas de datos definidas y suministradas. Este documento incluye el reporte de validación cuantitativa: el análisis de sensibilidad de pesos, el reporte de incertidumbre por unidad espacial y el contraste exclusivamente frente a la línea base y la información histórica oficial suministrada por el Distrito .
- *Manual técnico de los procesos ETL* para la integración y actualización de toda la información: capas, variables, indicadores y resultados de estudios requeridos por el Modelo Analítico del Sistema de Ocupación con enfoque urbano.

- *Manuales técnicos* (arquitectura, instalación, configuración, actualización, recuperación de fallas, administración y mantenimiento de la solución).

10.3. Transferencia de conocimiento

- *Informe con desarrollo del plan de Transferencia técnica:* El informe detalla las sesiones de transferencia dirigidas al equipo técnico de Ruta N y del Departamento Administrativo de Planeación (DAP) para asegurar la operación, actualización y evolución futura del Modelo.

11. Criterios de aceptación de los entregables.

De conformidad con las obligaciones estipuladas en el Contrato N° 202500136 y la propuesta técnica, el producto final ("modelo de escenarios físico-espaciales") sólo se considerará recibido a satisfacción cuando la supervisión valide el cumplimiento íntegro de los siguientes criterios:

11.1 Criterios de Aceptación Funcional y Analítica

- *Operatividad:* El modelo debe ser entregado funcional a nivel de usuarios y debe ser completamente reproducible sobre los datasets de entrada definidos. Los resultados de las simulaciones serán almacenadas en la zona oro del data lake del Distrito y se podrán consumir desde la geodatabase del Distrito.

- *Validación cuantitativa***:** El modelo debe superar un análisis de sensibilidad de pesos y entregar un reporte de incertidumbre por unidad espacial. Su contraste se realizará exclusivamente frente a la línea base y la información histórica oficial suministrada por el Distrito para el desarrollo del proyecto.

- *Despliegue técnico:* El tablero y/o modelo predictivo debe estar funcional, automatizado y desplegado correctamente en el entorno productivo del lago de datos del Distrito.

- *Consumo:* Las salidas del modelo deben entregarse mediante capas geográficas y tableros descriptivos.

11.2. Criterios de aceptación documental y de transferencia

- *Código fuente:* Se debe realizar la entrega formal del código fuente, los datos derivados y los artefactos de configuración bajo control de versiones (Git).

- *Manuales y catálogos:* Se debe entregar al usuario final la documentación técnica y funcional, el respectivo catálogo de datos actualizado, los manuales de usuario de los tableros o modelos

definidos, y el plan de transferencia de conocimiento, en coherencia con los entregables pactados contractualmente.

- *Validación de criterios (Hallazgos)*: En caso de identificarse, durante las pruebas de despliegue, algún hallazgo que no cumpla con los criterios funcionales o no funcionales establecidos explícitamente en el presente documento de alcance, el contratista estará obligado a realizar las correcciones necesarias antes de la aprobación.

11.3. Formalización de la Entrega

- Una vez superadas las pruebas de validación y la socialización con los actores involucrados, se deberá suscribir el Acta de aceptación de tableros o modelos aprobados en el formato oficial proporcionado por la Alcaldía, firmada por las partes que intervienen.

12. Glosario de Referencia

Para efectos de la interpretación técnica y metodológica del presente documento, los siguientes términos se entenderán exclusivamente bajo las definiciones aquí establecidas:

- **Brecha:** Diferencia espacial o cuantitativa entre el estado observado del territorio y la meta correspondiente establecida en el modelo de ocupación.
- **CBML (Comuna, Barrio, Manzana, Lote):** Código oficial de identificación catastral que servirá como unidad espacial y llave primaria de cruce para la agregación de los datos en el modelo.
- **Consolidación:** Grado en que el estado físico y normativo del territorio se aproxima al modelo de ocupación previsto.
- **Simulación:** Ejecución del módulo de transición algorítmica para estimar trayectorias de cambio de estado de las manzanas bajo un escenario determinado.
- **Escenario:** Simulación reproducible obtenida al modificar uno o varios parámetros de entrada del modelo (variables, restricciones, inversiones, políticas o supuestos), con el propósito de estimar el efecto potencial sobre los indicadores territoriales. Es una proyección condicionada del estado del territorio bajo un conjunto explícito de supuestos de intervención; no designa un ejercicio contable de agregación de metas financieras.
- **Oportunidad:** Este término se emplea en tres sentidos distintos dentro del modelo, los cuales no deben confundirse:

1. *Oportunidad de gestión:* Condición del territorio que favorece o viabiliza una intervención (ej. pertenecer al Programa de Ejecución).
2. *Índice de oportunidad:* Calificación de atractividad calculada por el módulo de desarrollo formal.
3. *Lotes de oportunidad:* Insumo preexistente (listado de lotes) suministrado por el DAP.