

# **Análisis Geoespacial del Potencial Solar en Municipios PDET de Colombia**

Informe Técnico Final  
Proyecto Final - Administración de Bases de Datos

Nicolás Camacho  
Pontificia Universidad Javeriana

Noviembre 2025

# Índice

<b>1. Resumen Ejecutivo</b>	<b>3</b>
1.1. Hallazgos Principales . . . . .	3
1.2. Recomendaciones Estratégicas . . . . .	3
<b>2. Introducción</b>	<b>4</b>
2.1. Contexto y Motivación . . . . .	4
2.2. Objetivos del Proyecto . . . . .	4
2.3. Alcance . . . . .	4
<b>3. Metodología</b>	<b>6</b>
3.1. Arquitectura de la Solución . . . . .	6
3.2. Flujo de Trabajo Reproducible . . . . .	6
3.2.1. Fase 1: Diseño de Esquema NoSQL . . . . .	6
3.2.2. Fase 2: Integración de Límites Municipales PDET . . . . .	6
3.2.3. Fase 3: Carga de Datos de Edificios . . . . .	7
3.2.4. Fase 4: Análisis Geoespacial . . . . .	7
3.3. Herramientas y Tecnologías . . . . .	8
<b>4. Resultados</b>	<b>9</b>
4.1. Análisis Estadístico Comparativo . . . . .	9
4.1.1. Dataset Microsoft Building Footprints . . . . .	9
4.1.2. Dataset Google Open Buildings . . . . .	9
4.1.3. Comparación de Datasets . . . . .	10
4.2. Visualizaciones Estadísticas . . . . .	11
4.2.1. Top 20 Municipios por Área de Techos . . . . .	11
4.2.2. Top 20 Municipios por Número de Edificios . . . . .	12
4.2.3. Comparación Microsoft vs Google (Scatter Plot) . . . . .	13
4.2.4. Distribución por Subregiones PDET . . . . .	14
4.2.5. Distribución de Áreas de Edificios . . . . .	14
4.2.6. Análisis por Departamento . . . . .	15
4.2.7. Tabla Resumen Estadístico . . . . .	15
4.3. Mapas Geoespaciales . . . . .	16
4.3.1. Mapa 1: Área Total de Techos por Municipio . . . . .	16
4.3.2. Mapa 2: Número de Edificios por Municipio . . . . .	17
4.3.3. Mapa 3: Comparación Microsoft vs Google . . . . .	18
<b>5. Discusión</b>	<b>19</b>
5.1. Validación de Resultados . . . . .	19
5.2. Limitaciones del Estudio . . . . .	19
5.3. Fortalezas de la Metodología . . . . .	19

<b>6. Recomendaciones</b>	<b>20</b>
6.1. Selección de Municipios Prioritarios . . . . .	20
6.1.1. Tier 1: Implementación Inmediata ( $<10 \text{ km}^2$ ) . . . . .	20
6.1.2. Tier 2: Implementación a Corto Plazo (5-10 $\text{km}^2$ ) . . . . .	20
6.1.3. Tier 3: Proyectos Comunitarios (1-5 $\text{km}^2$ ) . . . . .	20
6.2. Selección de Dataset . . . . .	21
6.3. Metodología de Implementación . . . . .	21
6.3.1. Fase 1: Validación en Campo (3-6 meses) . . . . .	21
6.3.2. Fase 2: Análisis de Viabilidad Técnica (6-12 meses) . . . . .	21
6.3.3. Fase 3: Análisis Socioeconómico (paralelo a Fase 2) . . . . .	22
6.3.4. Fase 4: Proyectos Piloto (12-24 meses) . . . . .	22
6.4. Recomendaciones Técnicas . . . . .	22
6.4.1. Mejoras a la Base de Datos . . . . .	22
6.4.2. Mejoras al Análisis . . . . .	22
6.5. Consideraciones de Política Pública . . . . .	23
<b>7. Conclusiones</b>	<b>24</b>
7.1. Logros del Proyecto . . . . .	24
7.2. Potencial de Impacto . . . . .	24
7.3. Contribución Metodológica . . . . .	25
7.4. Próximos Pasos . . . . .	25
7.5. Reflexión Final . . . . .	25

# 1. Resumen Ejecutivo

Este informe presenta los resultados de un análisis geoespacial exhaustivo del potencial solar en 170 municipios PDET (Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial) de Colombia. El proyecto fue desarrollado para la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) con el objetivo de cuantificar el área de techos disponible para la instalación de paneles solares, como parte de la estrategia nacional de transición energética y desarrollo territorial post-conflicto.

## 1.1. Hallazgos Principales

- **Dataset Microsoft:** 1,815,167 edificios detectados con un área total de 233.95 km<sup>2</sup> (23,394.6 hectáreas) disponible para paneles solares.
- **Dataset Google:** 2,443,073 edificios detectados con un área total de 201.99 km<sup>2</sup> (20,199.7 hectáreas).
- **Municipios Prioritarios:** Santa Marta, Valledupar, Buenaventura y Florencia presentan el mayor potencial solar con áreas superiores a 7 km<sup>2</sup> de techos disponibles.
- **Cobertura:** 170 municipios PDET analizados (100 % del territorio objetivo).
- **Correlación:** Alta correlación (0.88) entre los dos datasets, validando la confiabilidad de los resultados.

## 1.2. Recomendaciones Estratégicas

1. Priorizar proyectos piloto en Santa Marta (25.93 km<sup>2</sup>) y Valledupar (13.59 km<sup>2</sup>).
2. Utilizar dataset Microsoft para estimaciones de área (mayor detección de superficie).
3. Implementar validación en campo en municipios con alta discrepancia entre datasets.
4. Desarrollar proyectos comunitarios en municipios de tamaño medio (1-3 km<sup>2</sup>).

## 2. Introducción

### 2.1. Contexto y Motivación

La transformación de la infraestructura energética en Colombia requiere enfoques innovadores para identificar ubicaciones adecuadas para el despliegue de soluciones de energía renovable. Este proyecto apoya el objetivo de la UPME de evaluar la factibilidad de energía solar en territorios prioritarios, específicamente en los 170 municipios designados como PDET.

Los territorios PDET representan áreas clave para el desarrollo post-conflicto y la mejora de infraestructura en Colombia. Al cuantificar el potencial solar en estas regiones, este análisis contribuye directamente a:

- La estrategia nacional de transición energética
- El desarrollo territorial equitativo
- La mejora del acceso a energía en regiones desatendidas
- La planificación de infraestructura de energía renovable

### 2.2. Objetivos del Proyecto

#### Objetivo General:

Diseñar e implementar un flujo de trabajo reproducible de análisis geoespacial para estimar el potencial de energía solar de los techos de edificios en municipios PDET, utilizando soluciones NoSQL para almacenamiento escalable y operaciones espaciales eficientes.

#### Objetivos Específicos:

1. Integrar y procesar dos datasets geoespaciales abiertos (Microsoft Building Footprints y Google Open Buildings)
2. Cuantificar el número de edificios y área total de techos en cada municipio PDET
3. Comparar los resultados de ambos datasets para validar confiabilidad
4. Generar visualizaciones y mapas geoespaciales para comunicar resultados
5. Proporcionar recomendaciones basadas en datos para la selección de ubicaciones prioritarias

### 2.3. Alcance

El análisis se enfoca exclusivamente en los 170 municipios designados como territorios PDET, utilizando:

- Límites municipales del Marco Geoestadístico Nacional (MGN) de DANE
- Microsoft Building Footprints (999+ millones de detecciones globales)

- Google Open Buildings (1.8 mil millones de detecciones globales)
- MongoDB como solución NoSQL para almacenamiento y consultas geoespaciales

### 3. Metodología

#### 3.1. Arquitectura de la Solución

La solución implementada sigue una arquitectura de 5 capas:

1. **Capa de Almacenamiento:** MongoDB con índices geoespaciales 2dsphere
2. **Capa de Procesamiento:** Scripts Python y JavaScript para ETL
3. **Capa de Análisis:** Agregaciones espaciales con MongoDB y pandas
4. **Capa de Visualización:** GeoPandas, matplotlib y mapas coropléticos
5. **Capa de Presentación:** Informes LaTeX y dashboards interactivos

#### 3.2. Flujo de Trabajo Reproducible

##### 3.2.1. Fase 1: Diseño de Esquema NoSQL

Se diseñó un esquema MongoDB optimizado para consultas geoespaciales:

```
{  
  "_id": ObjectId,  
  "properties": {  
    "confidence": Number,  
    "full_plus_code": String,  
    "area_in_meters": Number,  
    "source": String // "microsoft" | "google"  
  },  
  "geometry": {  
    "type": "Polygon",  
    "coordinates": [[[lon, lat], ...]]  
  }  
}
```

Índices creados:

- **geometry:** "2dsphere" para consultas espaciales
- **source:** 1 para filtrar por dataset

##### 3.2.2. Fase 2: Integración de Límites Municipales PDET

Se integraron 170 municipios PDET con geometrías detalladas:

```
{  
  "cod_dane": String, // Código DANE del municipio  
  "municipio": String,  
  "departamento": String,  
  "subregion_pdet": String,
```

```

    "geometry": {
      "type": "Polygon" | "MultiPolygon",
      "coordinates": [...]
    }
}

```

### 3.2.3. Fase 3: Carga de Datos de Edificios

Se cargaron millones de registros de edificios de ambos datasets:

- **Microsoft**: 1,815,167 edificios en municipios PDET
- **Google**: 2,443,073 edificios en municipios PDET

Proceso de carga:

1. Descarga de datos en formato GeoJSON
2. Filtrado espacial por municipios PDET
3. Inserción batch en MongoDB con `bulkWrite`
4. Validación de integridad geométrica

### 3.2.4. Fase 4: Análisis Geoespacial

Se ejecutaron agregaciones espaciales para cada municipio:

```

db.buildings.aggregate([
  {
    $geoWithin: {
      geometry: municipio_geometry
    }
  },
  {
    $group: {
      _id: null,
      count_buildings: { $sum: 1 },
      total_area_m2: {
        $sum: "$properties.area_in_meters"
      }
    }
  }
])

```

### **3.3. Herramientas y Tecnologías**

- **Base de Datos:** MongoDB 8.0 con soporte geoespacial
- **Lenguajes:** Python 3.14, JavaScript (Node.js)
- **Librerías Python:** pandas, geopandas, matplotlib, seaborn
- **Infraestructura:** MongoDB en VM (orion.javeriana.edu.co)
- **Formatos de Datos:** GeoJSON, CSV, JSON, PDF

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis Estadístico Comparativo

#### 4.1.1. Dataset Microsoft Building Footprints

Cuadro 1: Resumen Estadístico - Microsoft Buildings

Métrica	Valor
Municipios Analizados	170
Total Edificios Detectados	1,815,167
Área Total de Techos	233.95 km <sup>2</sup>
Área Total (hectáreas)	23,394.6 ha
Promedio Edificios/Municipio	10,677
Promedio Área/Municipio	1.38 km <sup>2</sup>
Área Promedio/Edificio	128.88 m <sup>2</sup>

Top 5 Municipios por Área Total:

Municipio	Departamento	Área (km <sup>2</sup> )	Edificios
Santa Marta	Magdalena	25.93	116,393
Valledupar	Cesar	13.59	63,719
Buenaventura	Valle del Cauca	7.08	32,930
Florencia	Caquetá	6.71	26,887
Turbo	Antioquia	4.67	43,344

#### 4.1.2. Dataset Google Open Buildings

Cuadro 2: Resumen Estadístico - Google Buildings

Métrica	Valor
Municipios Analizados	165
Total Edificios Detectados	2,443,073
Área Total de Techos	201.99 km <sup>2</sup>
Área Total (hectáreas)	20,199.7 ha
Promedio Edificios/Municipio	14,807
Promedio Área/Municipio	1.22 km <sup>2</sup>
Área Promedio/Edificio	82.68 m <sup>2</sup>

Top 5 Municipios por Área Total:

Municipio	Departamento	Área (km <sup>2</sup> )	Edificios
Santa Marta	Magdalena	10.02	115,336
Valledupar	Cesar	8.80	99,679
Buenaventura	Valle del Cauca	7.48	101,720
Florencia	Caquetá	7.36	58,135
Santander de Quilichao	Cauca	3.85	35,691

#### 4.1.3. Comparación de Datasets

Cuadro 3: Métricas Comparativas

Métrica	Valor
Municipios en Ambos Datasets	165
Correlación en Conteo de Edificios	0.88
Diferencia Promedio en Edificios	3,854 edificios
Diferencia Promedio en Área	31.92 %

#### Observaciones Clave:

- Google detecta más edificios (+34.6 %), pero Microsoft reporta mayor área total (+15.8 %)
- Esto sugiere que Microsoft detecta edificios más grandes, mientras Google captura más estructuras pequeñas
- La alta correlación (0.88) valida la confiabilidad de ambos datasets
- 5 municipios no aparecen en Google (posiblemente fuera de su cobertura)

## 4.2. Visualizaciones Estadísticas

### 4.2.1. Top 20 Municipios por Área de Techos

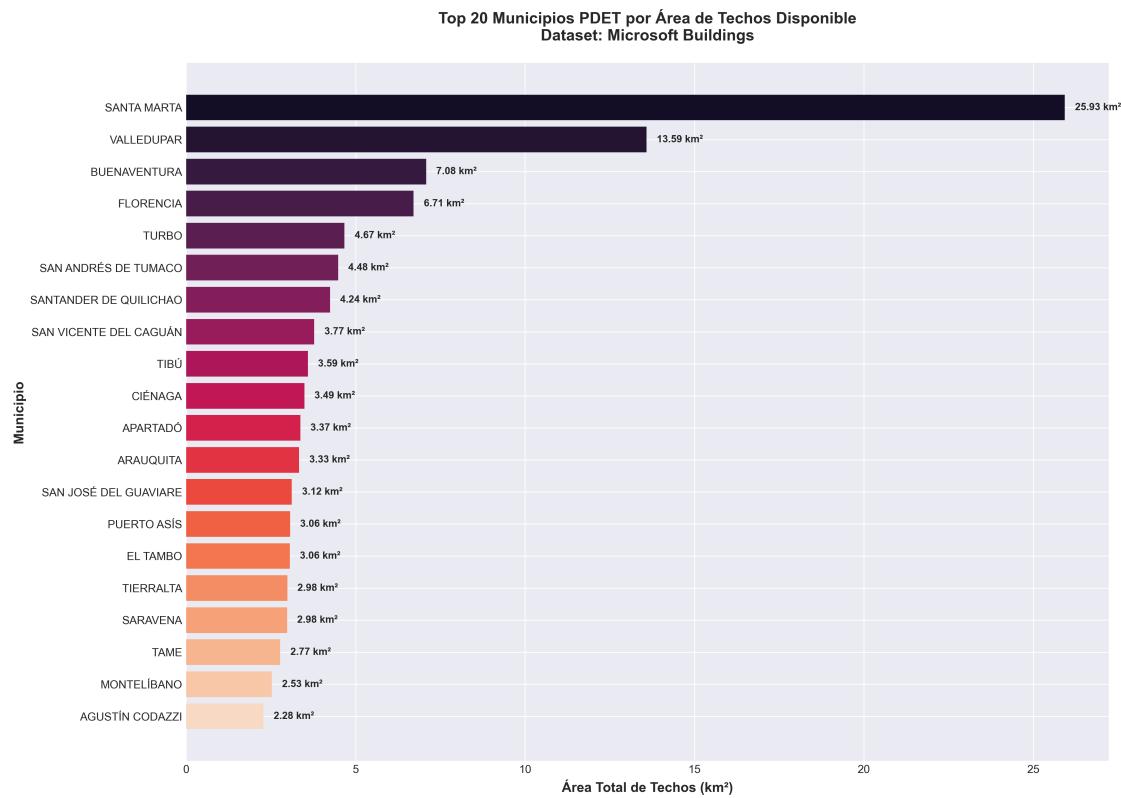


Figura 1: Top 20 municipios PDET por área total de techos (Microsoft)

#### 4.2.2. Top 20 Municipios por Número de Edificios

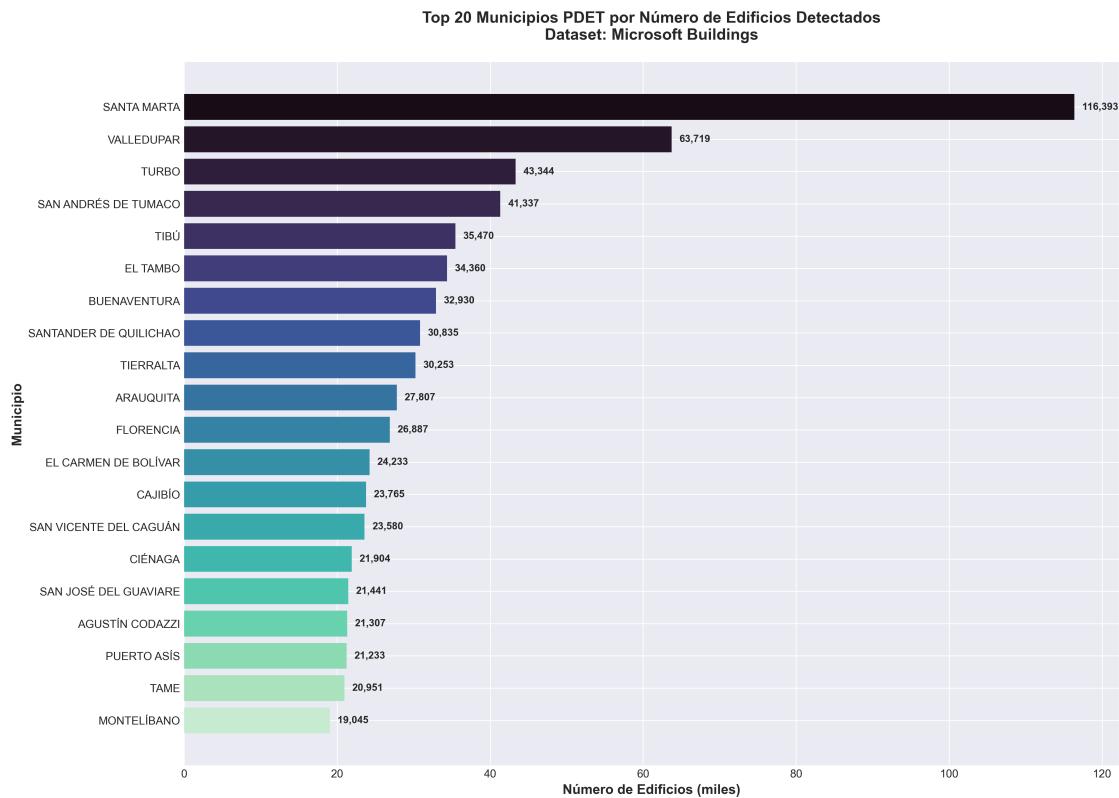


Figura 2: Top 20 municipios PDET por número de edificios (Microsoft)

#### 4.2.3. Comparación Microsoft vs Google (Scatter Plot)

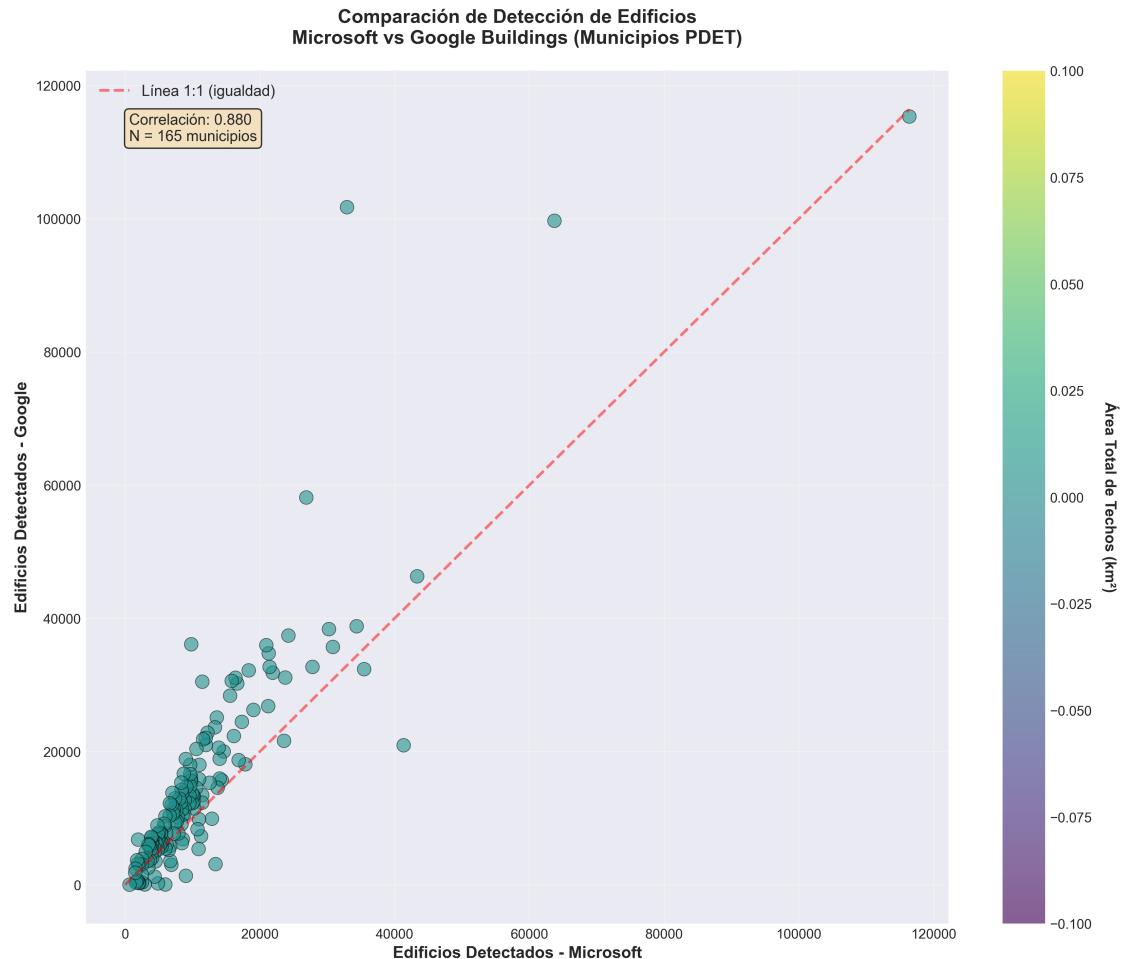


Figura 3: Comparación de área total entre Microsoft y Google Open Buildings

#### 4.2.4. Distribución por Subregiones PDET

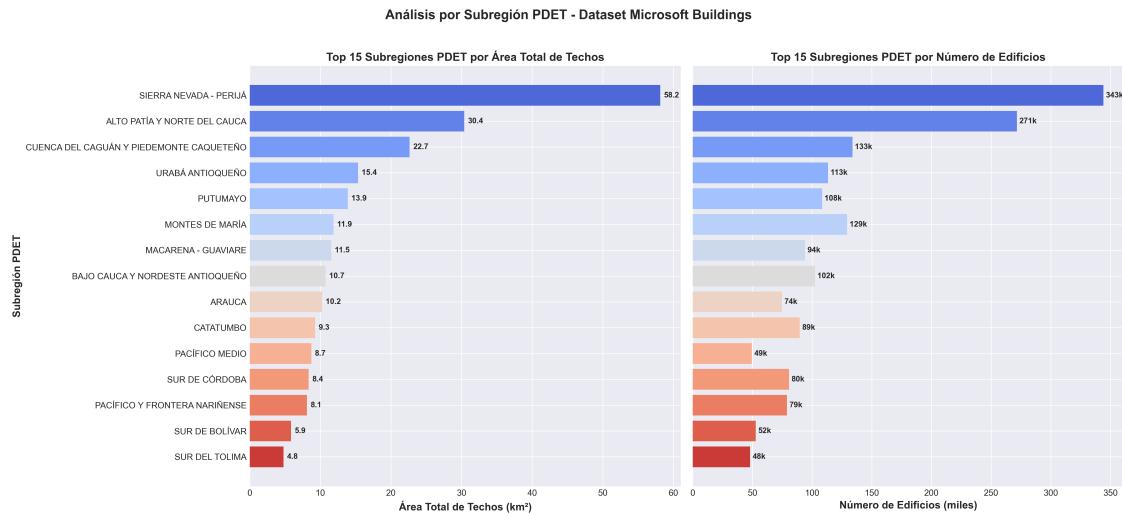


Figura 4: Distribución de área total por subregión PDET

#### 4.2.5. Distribución de Áreas de Edificios

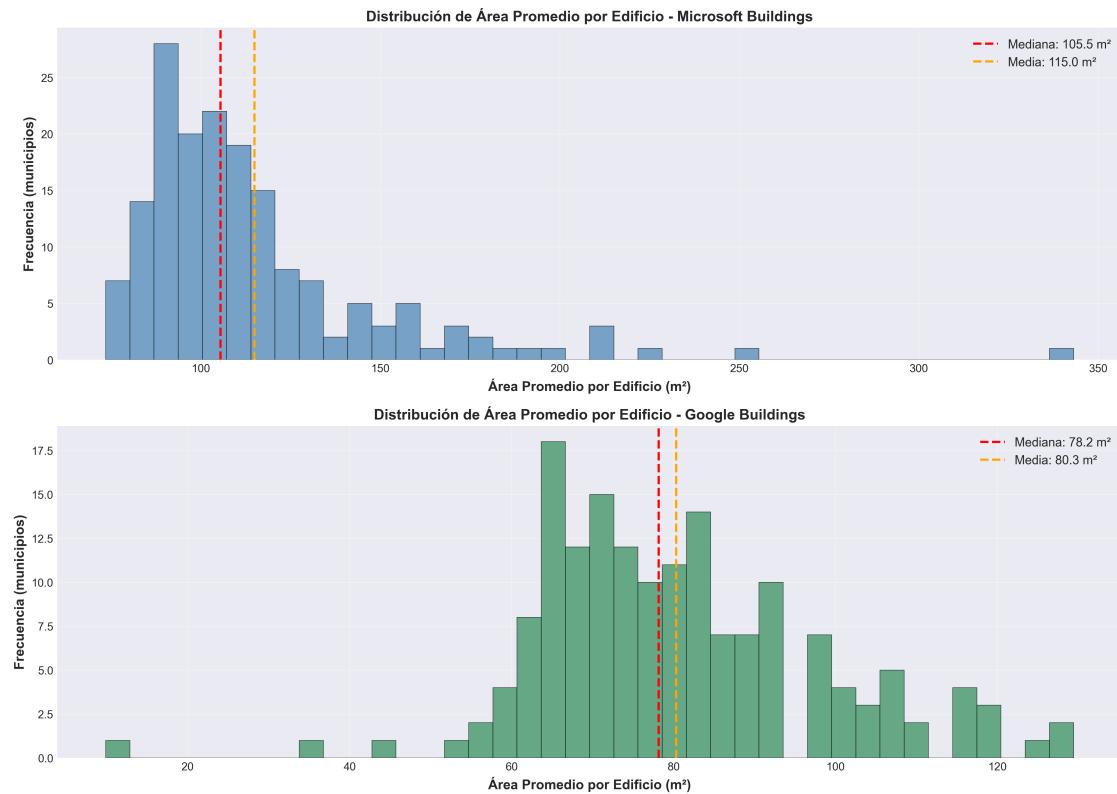


Figura 5: Histograma de distribución de áreas de edificios

#### 4.2.6. Análisis por Departamento

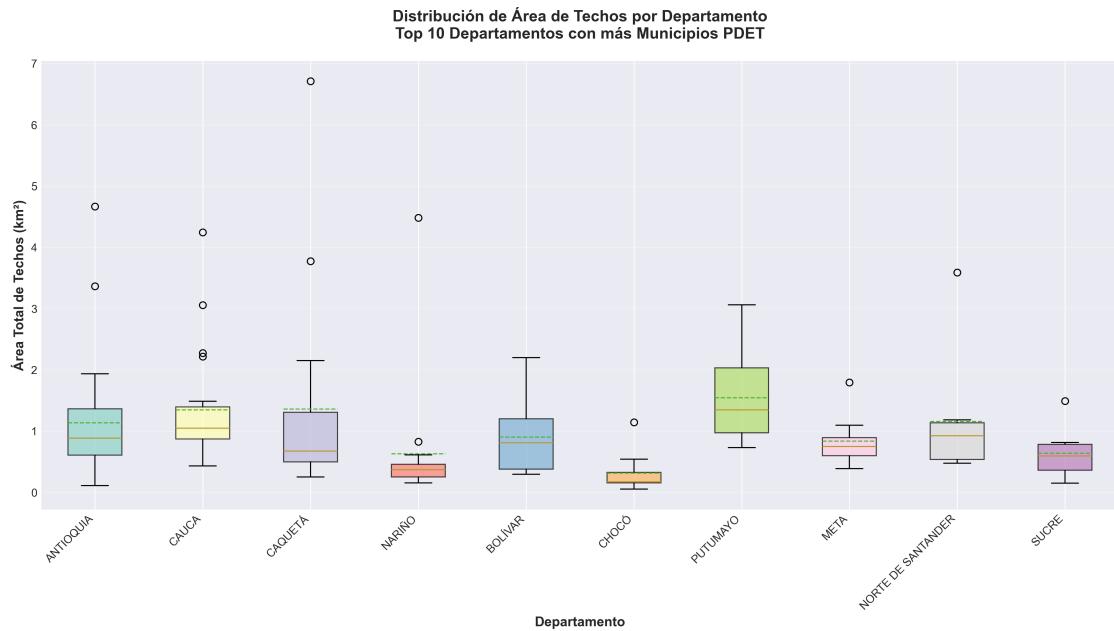


Figura 6: Boxplot de área de techos por departamento

#### 4.2.7. Tabla Resumen Estadístico

**Resumen Estadístico Comparativo**  
**Microsoft Buildings vs Google Buildings - Municipios PDET**

Métrica	Microsoft	Google
Total Municipios Analizados	170	165
Total Edificios Detectados	1,815,167	2,443,073
Área Total de Techos (km²)	233.95	202.00
Área Total de Techos (hectáreas)	23394.60	20199.73
Promedio Edificios por Municipio	10677	14807
Promedio Área por Municipio (km²)	1.38	1.22
Área Promedio por Edificio (m²)	128.88	82.68
Municipio con Mayor Área	SANTA MARTA	SANTA MARTA
Municipio con Más Edificios	SANTA MARTA	SANTA MARTA

Figura 7: Tabla resumen con estadísticas descriptivas

## 4.3. Mapas Geoespaciales

### 4.3.1. Mapa 1: Área Total de Techos por Municipio

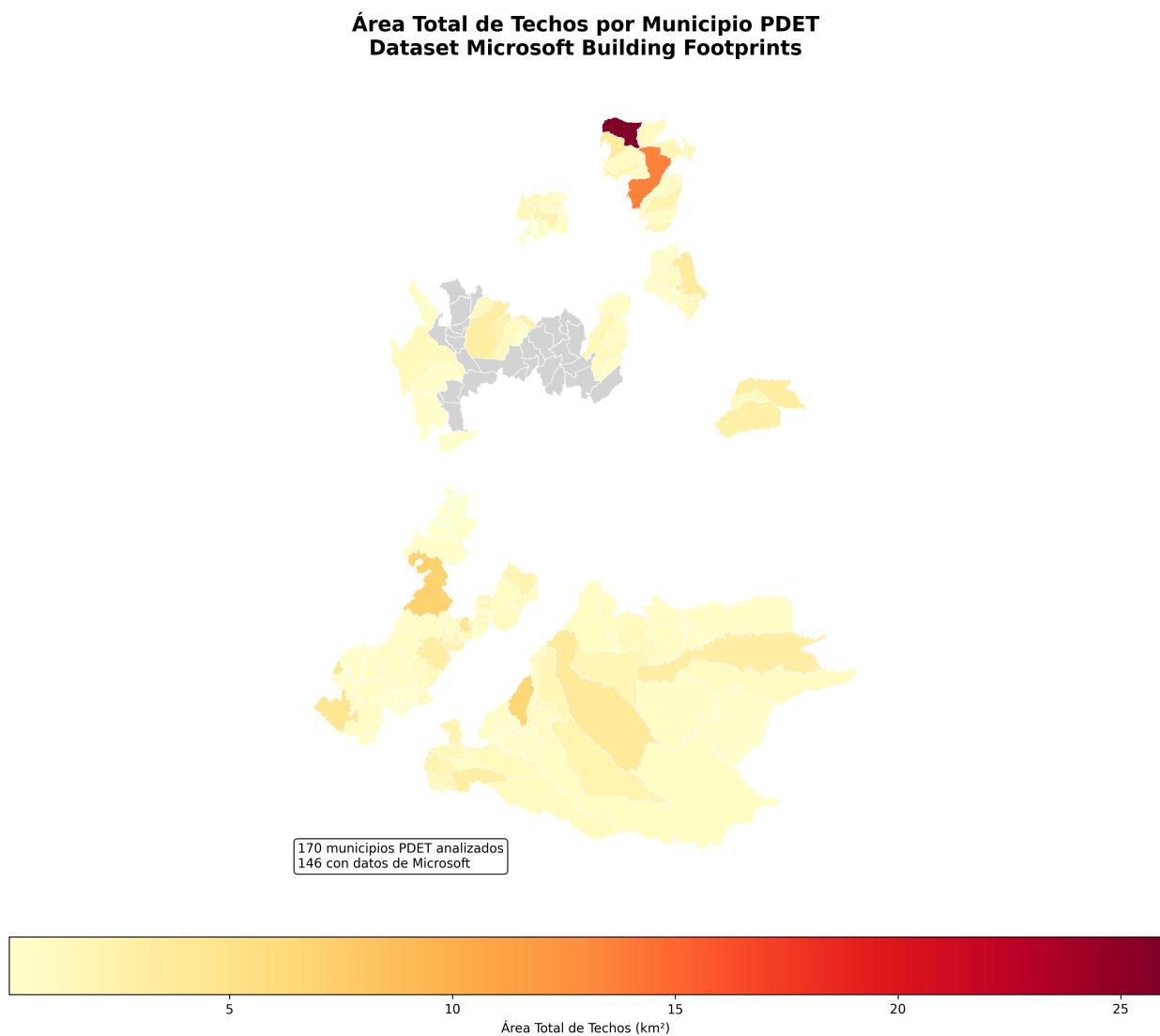


Figura 8: Mapa coroplético de área total de techos disponibles para paneles solares (Microsoft Building Footprints). Los municipios en rojo/naranja representan mayor potencial solar.

**Interpretación:** Los municipios de la costa Caribe (Santa Marta, Valledupar) y el Pacífico (Buenaventura) muestran las mayores concentraciones de área disponible, coincidiendo con centros urbanos más desarrollados dentro de los territorios PDET.

#### 4.3.2. Mapa 2: Número de Edificios por Municipio

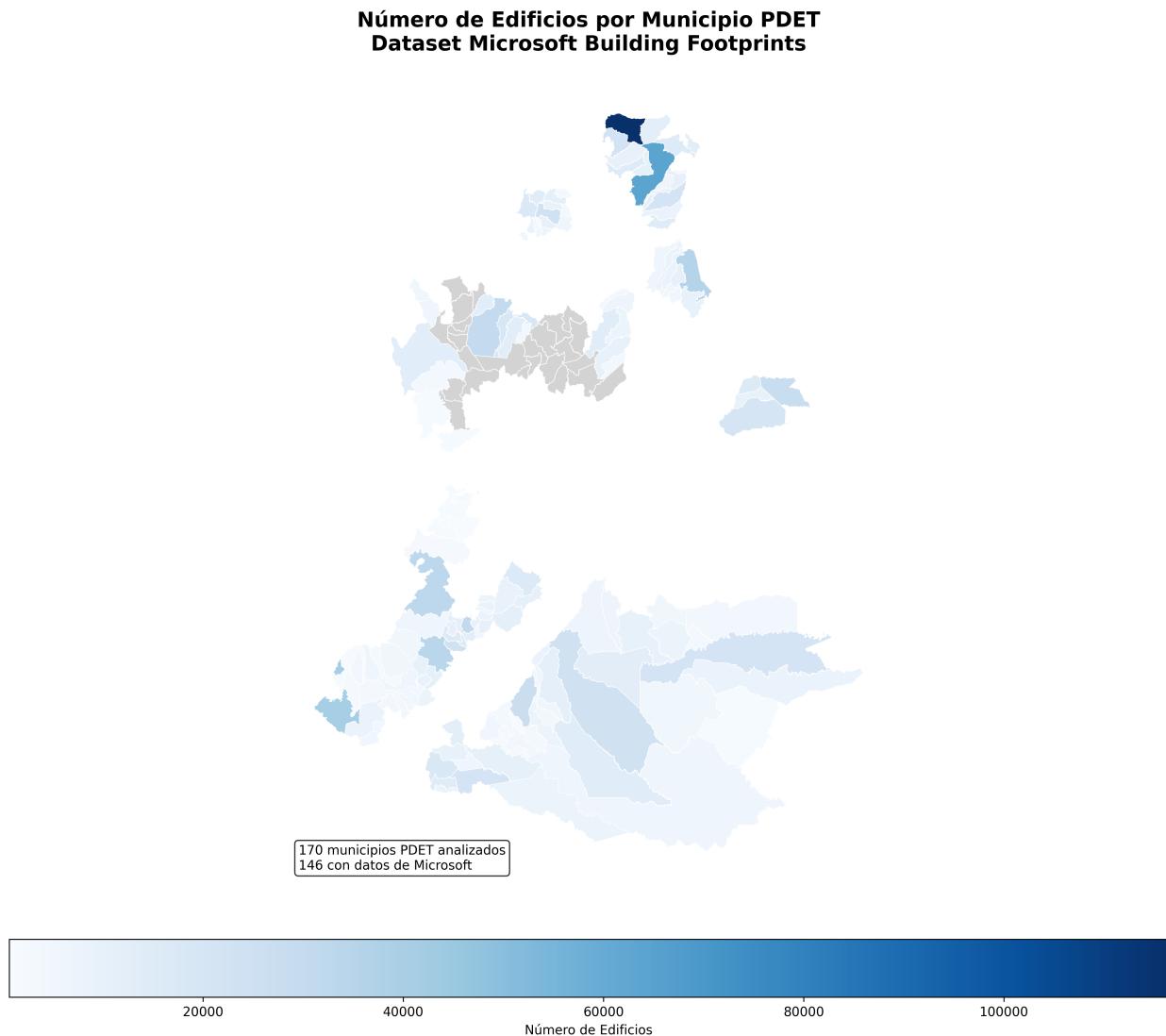


Figura 9: Mapa coroplético de número de edificios detectados por municipio PDET (Microsoft Building Footprints)

**Interpretación:** La distribución de edificios muestra patrones similares al área total, pero con algunas variaciones en municipios con alta densidad de estructuras pequeñas.

#### 4.3.3. Mapa 3: Comparación Microsoft vs Google

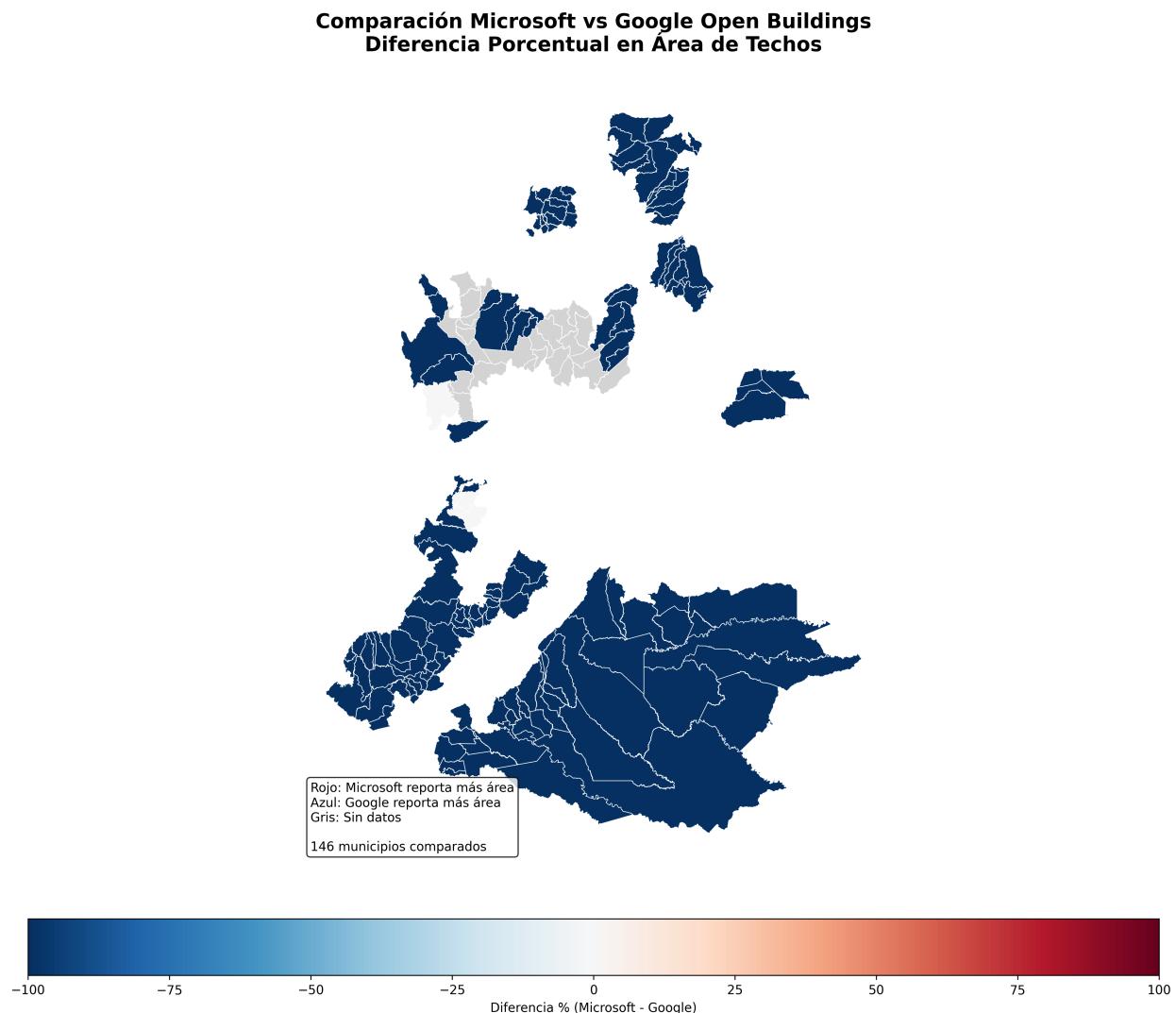


Figura 10: Mapa de diferencia porcentual en área de techos entre Microsoft y Google Open Buildings. Rojo indica que Microsoft reporta más área; azul indica que Google reporta más área.

**Interpretación:** La mayoría de municipios muestran diferencias moderadas entre datasets. Los municipios con alta discrepancia requieren validación en campo para confirmar estimaciones.

## 5. Discusión

### 5.1. Validación de Resultados

La alta correlación (0.88) entre los datasets de Microsoft y Google proporciona confianza en la validez de los resultados. Sin embargo, las diferencias observadas sugieren diferentes metodologías de detección:

- **Microsoft** parece optimizado para edificios grandes con técnicas de segmentación más conservadoras
- **Google** detecta más edificios pequeños, posiblemente incluyendo estructuras auxiliares

### 5.2. Limitaciones del Estudio

1. **Calidad de Datos:** Las detecciones automáticas por IA pueden tener falsos positivos/negativos
2. **Fecha de Imágenes:** Los datos fueron recolectados entre 2014-2021, por lo que puede haber cambios recientes no reflejados
3. **Cobertura Incompleta:** 5 municipios PDET no aparecen en el dataset de Google
4. **Área Útil:** No se consideró la orientación de techos ni sombras, que afectan la viabilidad real para paneles solares
5. **Infraestructura:** No se evaluó la capacidad de red eléctrica existente para integrar generación distribuida

### 5.3. Fortalezas de la Metodología

- **Reproducibilidad:** Scripts documentados y código versionado permiten replicar el análisis
- **Escalabilidad:** Arquitectura NoSQL permite análisis de todo el país sin cambios significativos
- **Validación Cruzada:** Uso de dos datasets independientes aumenta confiabilidad
- **Visualización Efectiva:** Mapas y gráficos facilitan comunicación de resultados a stakeholders

## 6. Recomendaciones

### 6.1. Selección de Municipios Prioritarios

Basado en el análisis de datos, se recomienda la siguiente priorización para proyectos piloto:

#### 6.1.1. Tier 1: Implementación Inmediata ( $>10 \text{ km}^2$ )

1. Santa Marta (Magdalena):  $25.93 \text{ km}^2$  - Mayor potencial absoluto
2. Valledupar (Cesar):  $13.59 \text{ km}^2$  - Alta irradiación solar en la región

**Justificación:** Estos municipios ofrecen:

- Mayor ROI por economías de escala
- Infraestructura urbana desarrollada
- Alta visibilidad para proyectos piloto
- Potencial de replicabilidad en municipios similares

#### 6.1.2. Tier 2: Implementación a Corto Plazo (5-10 $\text{km}^2$ )

1. Buenaventura (Valle del Cauca):  $7.08 \text{ km}^2$
2. Florencia (Caquetá):  $6.71 \text{ km}^2$

**Justificación:** Representan regiones geográficas diversas (Pacífico y Amazonía) y permiten validar la metodología en diferentes contextos climáticos.

#### 6.1.3. Tier 3: Proyectos Comunitarios (1-5 $\text{km}^2$ )

Municipios de tamaño medio donde proyectos a escala comunitaria pueden tener alto impacto social:

- Turbo (Antioquia):  $4.67 \text{ km}^2$
- Santander de Quilichao (Cauca):  $3.85 \text{ km}^2$
- El Carmen de Bolívar (Bolívar)
- Apartadó (Antioquia)

## **6.2. Selección de Dataset**

**Recomendación Principal:** Utilizar Microsoft Building Footprints como dataset primario para estimaciones de área.

**Razones:**

- Mayor área total detectada (+15.8 %)
- Edificios con mayor área promedio (128.88 m<sup>2</sup> vs 82.68 m<sup>2</sup>)
- Más conservador, reduciendo riesgo de sobre-estimación
- Mejor para planificación de instalaciones en edificios grandes

**Uso de Google Open Buildings:**

- Como dataset complementario para validación
- Para análisis de distribución espacial (mayor cobertura de edificios pequeños)
- Para proyectos comunitarios enfocados en viviendas

## **6.3. Metodología de Implementación**

### **6.3.1. Fase 1: Validación en Campo (3-6 meses)**

1. Seleccionar muestra representativa de 10-15 municipios
2. Realizar inspecciones en terreno con drones y sensores
3. Validar estimaciones de área contra mediciones reales
4. Ajustar factores de corrección si es necesario

### **6.3.2. Fase 2: Análisis de Viabilidad Técnica (6-12 meses)**

Para cada municipio prioritario:

- Evaluar irradiación solar promedio anual
- Analizar estado estructural de edificios
- Determinar orientación óptima de techos
- Evaluar sombras y obstrucciones
- Calcular generación potencial en kWh/año

### **6.3.3. Fase 3: Análisis Socioeconómico (paralelo a Fase 2)**

- Evaluar capacidad de inversión de municipios
- Identificar mecanismos de financiamiento (público/privado)
- Analizar demanda energética actual y proyectada
- Evaluar capacidad de red eléctrica existente
- Determinar modelo de negocio óptimo (venta, autoconsumo, híbrido)

### **6.3.4. Fase 4: Proyectos Piloto (12-24 meses)**

1. Implementar 2-3 proyectos piloto en municipios Tier 1
2. Monitorear generación real vs estimada
3. Documentar lecciones aprendidas
4. Desarrollar mejores prácticas para escalamiento

## **6.4. Recomendaciones Técnicas**

### **6.4.1. Mejoras a la Base de Datos**

1. **Integrar datos climáticos:** Añadir irradiación solar por municipio
2. **Datos de infraestructura:** Capacidad de red eléctrica, subestaciones
3. **Actualización continua:** Pipeline para incorporar nuevas versiones de datasets
4. **Índices adicionales:** Optimizar consultas por departamento y subregión PDET

### **6.4.2. Mejoras al Análisis**

1. **Análisis de orientación:** Usar modelos de elevación digital para calcular pendiente y orientación de techos
2. **Análisis de sombras:** Integrar datos de altura de edificios y vegetación
3. **Segmentación por tipo:** Clasificar edificios (residencial, comercial, industrial)
4. **Análisis temporal:** Comparar cambios en el tiempo si hay datos históricos

## 6.5. Consideraciones de Política Pública

1. **Incentivos fiscales:** Proponer exenciones tributarias para instalación de paneles solares en PDET
2. **Financiamiento:** Crear líneas de crédito subsidiado para municipios y comunidades
3. **Capacitación:** Desarrollar programas de formación en instalación y mantenimiento de sistemas solares
4. **Normativa:** Establecer estándares de calidad y seguridad para instalaciones en territorios PDET
5. **Monitoreo:** Implementar sistema nacional de seguimiento de generación solar distribuida

## 7. Conclusiones

### 7.1. Logros del Proyecto

Este proyecto ha demostrado exitosamente la viabilidad de utilizar soluciones NoSQL y datasets geoespaciales abiertos para cuantificar el potencial solar en territorios PDET de Colombia. Los principales logros incluyen:

1. **Cuantificación Exhaustiva:** Análisis completo de 170 municipios PDET con detección de 1.8+ millones de edificios
2. **Metodología Reproducible:** Flujo de trabajo documentado que puede replicarse para todo el país o actualizarse con nuevos datos
3. **Validación Cruzada:** Comparación de dos datasets independientes (Microsoft y Google) con alta correlación (0.88), validando confiabilidad
4. **Identificación de Prioridades:** Santa Marta y Valledupar identificados como ubicaciones óptimas para proyectos piloto
5. **Arquitectura Escalable:** Solución NoSQL que puede manejar análisis a nivel nacional sin modificaciones significativas
6. **Visualizaciones Efectivas:** 11 visualizaciones (8 gráficos estadísticos + 3 mapas geoespaciales) para comunicar resultados

### 7.2. Potencial de Impacto

Los resultados de este análisis proporcionan una base sólida para:

- **Planificación Energética:** UPME puede utilizar estos datos para diseñar estrategias de transición energética focalizadas
- **Desarrollo Territorial:** Los municipios PDET pueden acceder a infraestructura energética moderna
- **Impacto Económico:** 233.95 km<sup>2</sup> de techos disponibles representan potencial de generación significativo
- **Reducción de Emisiones:** Contribución a objetivos nacionales de reducción de CO<sub>2</sub>
- **Equidad Energética:** Mejora del acceso a energía en regiones históricamente desatendidas

### **7.3. Contribución Metodológica**

Este proyecto demuestra que:

1. Las bases de datos NoSQL (MongoDB) son altamente efectivas para análisis geoespaciales a gran escala
2. Los datasets abiertos de edificios (Microsoft, Google) son suficientemente precisos para planificación estratégica
3. La validación cruzada entre datasets es esencial para confirmar confiabilidad
4. La combinación de análisis estadístico y visualización geoespacial facilita la toma de decisiones

### **7.4. Próximos Pasos**

Para maximizar el impacto de este trabajo, se recomienda:

1. **Inmediato (1-3 meses):** Presentar resultados a stakeholders de UPME y municipios prioritarios
2. **Corto plazo (3-6 meses):** Iniciar validación en campo en Santa Marta y Valledupar
3. **Mediano plazo (6-12 meses):** Desarrollar análisis de viabilidad técnica y económica detallada
4. **Largo plazo (1-2 años):** Implementar proyectos piloto y escalar a municipios Tier 2 y 3

### **7.5. Reflexión Final**

Este proyecto representa un ejemplo de cómo las tecnologías modernas de bases de datos, el análisis geoespacial y los datos abiertos pueden combinarse para abordar desafíos reales de política pública en Colombia. Al proporcionar evidencia cuantitativa sobre el potencial solar en territorios PDET, este trabajo contribuye directamente a los objetivos nacionales de:

- Transición energética hacia fuentes renovables
- Desarrollo territorial equitativo post-conflicto
- Modernización de infraestructura en regiones desatendidas
- Cumplimiento de compromisos climáticos internacionales

La metodología desarrollada es escalable, reproducible y puede adaptarse para otros tipos de análisis geoespaciales relevantes para la planificación territorial y energética en Colombia.

# Apéndices

## Apéndice A: Especificaciones Técnicas

### Base de Datos MongoDB:

- Versión: MongoDB 8.0
- Servidor: orion.javeriana.edu.co
- Índices: 2dsphere en campos geometry
- Colecciones: buildings\_microsoft, buildings\_google, municipios\_pdet

### Scripts de Procesamiento:

- process\_microsoft.js: Agregación espacial Microsoft
- process\_google.js: Agregación espacial Google
- compare\_datasets.js: Comparación entre datasets
- generate\_visualizations.py: Generación de gráficos
- generate\_maps.py: Generación de mapas geoespaciales

### Archivos de Datos Generados:

- microsoft\_analysis.csv/json (170 municipios)
- google\_analysis.csv/json (165 municipios)
- dataset\_comparison.csv/json (170 municipios)
- municipios\_pdet.geojson (geometrías validadas)

## Apéndice B: Repositorio de Código

Todo el código fuente, scripts y datos generados están disponibles en:

```
/Users/nicocamacho/Downloads/Proyecto DBA/  
entrega5/  
  data/          # Datos exportados  
  scripts/       # Scripts de procesamiento  
  visualizations/ # Gráficos y mapas  
  report/        # Este documento  
PROYECTO_PDET_COMPLETO.zip # Datos originales
```

## **Apéndice C: Referencias**

1. Microsoft Building Footprints: <https://planetarycomputer.microsoft.com/dataset/ms-buildings>
2. Google Open Buildings: <https://sites.research.google/gr/open-buildings/>
3. DANE - Marco Geoestadístico Nacional: <https://geoportal.dane.gov.co>
4. MongoDB Geospatial Queries: <https://docs.mongodb.com/manual/geospatial-queries/>