

TESIS  
DOCTORAL

# RELACIÓN ENTRE ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA Y EXPOSICIÓN AL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>) EN EL ÁREA URBANA DE BOGOTÁ (COLOMBIA)

**Doctoranda:**

María Carolina Cortés Duarte

**Director:**

Lázaro V. Cremades

**Co-directora:**

Milena Elizabeth Gómez Yepes

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Cataluña,  
Barcelona.

Septiembre de 2023

## ÍNDICE

<b>1.- EL MATERIAL PARTICULADO EN ENTORNOS URBANOS .....</b>	<b>19</b>
1.1.- INTRODUCCIÓN .....	19
1.2.- HIPÓTESIS.....	22
1.3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	23
1.4.- MARCO NORMATIVO.....	24
1.4.1.- Global.....	25
1.4.2.- Regional .....	26
1.4.3.- Local .....	28
1.5.- OBJETIVO DE LA TESIS .....	34
<b>2.- REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA (RSL) DEL MATERIAL PARTICULADO EN ENTORNOS URBANOS.....</b>	<b>36</b>
2.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO.....	37
2.2.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO .....	38
2.2.1.- Selección de las bases bibliográficas .....	38
2.2.2.- Recolección de los datos extraídos de las bases bibliográficas.....	39
2.2.3.- Diseño de los clústeres .....	40
2.3.- RESULTADOS .....	41
2.3.1.- Análisis de los datos extraídos de las bases bibliográficas .....	41
2.3.2.- Mapeo bibliográfico.....	51
2.3.3.- Principales hallazgos y limitaciones.....	57
2.4.- CONCLUSIONES.....	58
<b>3.- ANÁLISIS DEL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) EN EL ENTORNO ESTRATIFICADO DE BOGOTÁ.....</b>	<b>60</b>
3.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO.....	60

3.2.- RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ (RMCAB) .....	60
3.3.- ANÁLISIS DEL PDDAB 2010 -2020 A PARTIR DE LA RMCAB .....	64
3.4.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO .....	65
3.4.1.- Tipo de estudio .....	65
3.4.2.- Muestra .....	67
3.4.3.- Instrumentación y método .....	68
3.4.4.- Resultados .....	69
3.5.- ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA EN BOGOTÁ .....	77
3.6.- CONCLUSIONES .....	88
<b>4.- CORRELACIÓN ESTIMADA ENTRE LA CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA Y EL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) EN BOGOTÁ .....</b>	<b>90</b>
4.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO .....	90
4.2.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO .....	90
4.2.1.- Tipo de estudio .....	91
4.2.2.- Población .....	91
4.2.3.- Muestra .....	91
4.2.4.- Instrumentación .....	95
4.2.5.- Método analítico .....	95
4.2.6.- Resultados .....	96
4.3.- CONCLUSIONES .....	106
<b>5.- MEJORAS A LA ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA DE BOGOTÁ....</b>	<b>108</b>
5.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO .....	108
5.2.- METODOLOGÍA ACTUAL (NME-DANE) .....	108
5.3.- PROPUESTAS DE MEJOR PARA LA METODOLOGÍA DE ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA ACTUAL (NME-DANE) .....	109
5.3.1.- Metodología NME-SDP .....	109
5.3.2.- Metodología NME-SDP-ONU-Hábitat .....	116
5.3.3.- Hoja de ruta de la mesa de expertos .....	118

---

<b>5.4.- INSUMOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA NME-DANE URBANA.....</b>	<b>119</b>
5.4.1.- Modelo catastral multipropósito .....	119
5.4.2.- Encuesta Multipropósito de Bogotá (EM).....	123
<b>5.5.- METODOLOGÍA SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA ESTRATIFICAR LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ.....</b>	<b>131</b>
5.5.1.- Antecedentes .....	131
5.5.2.- Tipo de estudio .....	131
5.5.3.- Muestra .....	137
5.5.4.- Instrumentación y método .....	140
5.5.5.- Resultados.....	144
<b>5.6.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>159</b>
<b>6.- CONCLUSIONES, CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>161</b>
6.1.- CONTRIBUCIONES ESPECIALES .....	162
6.2.- PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN Y COMENTARIOS .....	163
<b>7.- REFERENCIAS.....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>177</b>
Anexo A. Normativa en partículas: UE .....	167
Anexo B. Descripción de la RMCAB .....	187
Anexo C. Hoja metodológica Versión 1.2 del IDEAM .....	152
Anexo D. Participación en el XXV Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos .....	157
Anexo E. Comunicaciones con entidades de orden nacional.....	158
Anexo F. Insumos con información ambiental disponible en el IDEAM.....	159
Anexo G. Hoja de Ruta de la mesa de expertos de estratificación socioeconómica .....	172
Anexo H. Formulario de la Encuesta Multipropósito (EM).....	175
Anexo I. Variables seleccionadas de la EM de 2017 .....	176
Anexo J. Resultados obtenidos aplicando el método AHP .....	178
Anexo K. Interfaces de ArcGIS® para el Capítulo 5.....	182

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ilustración del material particulado provenientes de emisiones diésel. ....	19
Figura 1-2. Micrografías SEM que muestran diferentes morfologías de partículas. ....	19
Figura 1-3. Estructura General del Distrito Capital en Bogotá. ....	29
Figura 1-4. Localización de las estaciones meteorológicas que conforman la RMCAB. ....	31
Figura 1-5. Delimitación del área urbana de la ciudad de restricción por alerta. ....	34
Figura 2-1. Thomas Royle Dawber, director del estudio Framingham de 1949 a 1966. ....	36
Figura 2-2. Distribución logarítmica de la mortalidad prematura mundial atribuido a la concentración de MP <sub>2.5</sub> en 2010. ....	37
Figura 2-3. Pasos por seguir para la RSL. ....	38
Figura 2-4. Interfaz del software empleado para el mapeo bibliográfico. ....	41
Figura 2-5. Tendencia anual de las publicaciones y su impacto normativo. ....	42
Figura 2-6. Distribución de las publicaciones por sectores en las bases bibliométricas ....	45
Figura 2-7. Clústeres bidimensionales generados de las bases bibliográficas: (i) Web of Science (WOS) y (ii) Scopus. ....	52
Figura 2-8. Clústeres bidimensionales generados por la coocurrencia de las palabras claves: (i) Web of Science (WOS) y (ii) Scopus. ....	55
Figura 3-1. Interfaz de la RMCAB. ....	61
Figura 3-2. Visualización de la interfaz con los informes anuales de la RMCAB. ....	61
Figura 3-3. Promedio anual de concentración de PM <sub>10</sub> por estación de monitoreo. ....	64
Figura 3-4. Promedio anual de concentración de PM <sub>2.5</sub> por estación de monitoreo. ....	65
Figura 3-5. Interfaz de ArcGIS® seleccionando el método de interpolación Kriging. ....	68

Figura 3-6. Series temporales conseguidas de la base de datos IDEAM 2011 – 2019.....	71
Figura 3-7. Distribución espacial del PM <sub>10</sub> en la ciudad de Bogotá durante los años 2011 y 2019.....	73
Figura 3-8. Distribución espacial de PM <sub>2.5</sub> en la ciudad de Bogotá durante los años 2011 y 2019.....	76
Figura 3-9. Distribución espacial de los estratos socioeconómicos en las 19 localidades de Bogotá. ....	84
Figura 3-10. Plano factorial y box plot para ponderar la clasificación de los inmuebles. ....	86
Figura 3-11. Variables y subvariables de la NME-DANE. ....	86
Figura 3-12. Intersección geoespacial de la NME.....	87
Figura 4-1. Niveles de correlación espacial según la Ley de Tobler. a. Alta; b. Baja. ....	90
Figura 4-2. Ubicación de las estaciones meteorológicas de Bogotá indicando el índice IBOCA para PM <sub>2.5</sub> .....	93
Figura 4-3. Población en edad de trabajar.....	94
Figura 4-4: Gráfica de Moran. ....	96
Figura 4-5. Gráficos de ArcGIS® (a) y de GeoDa® (b). ....	102
Figura 4-6. Índice de Moran e histogramas de cada una de las correlaciones. ....	106
Figura 5-1. Comparación entre NME-DANE y NME-SDP.....	110
Figura 5-2. Distribución geoespacial del índice VUI en Bogotá.....	114
Figura 5-3. Interacción de los organismos involucrados en el proceso de la estratificación. ....	118
Figura 5-4. Características de Catastro Multipropósito en Colombia. ....	120
Figura 5-5. Visor de la Encuesta Multipropósito (EM).....	124
Figura 5-6. Índice disponible de los indicadores de la EM.....	125
Figura 5-7. Temas definidos en la EM.....	126
Figura 5-8. Tabla dinámica obtenida de la EM con la participación porcentual de la población urbana por estrato socioeconómico y año. ....	127
Figura 5-9. Comparación de la estratificación socioeconómica en zonas urbanas y rurales por localidad. ....	130
Figura 5-10. Árbol de jerarquías del método AHP.....	132
Figura 5-11. Ventajas de método AHP.....	132

---

<b>Figura 5-12. Esquema jerárquico AHP para la presente investigación.....</b>	<b>139</b>
<b>Figura 5-13. Herramienta AHP disponible en ArcGIS® .</b>	<b>141</b>
<b>Figura 5-14. Selección de criterios en la herramienta disponible AHP de ArcGIS® .</b>	<b>141</b>
<b>Figura 5-15. Descripción del Análisis de Sensibilidad diseñado.....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 5-16. Esquema ilustrativo del modelo de suma de pesos.....</b>	<b>144</b>
<b>Figura 5-17. Pesos definidos para el AHP en ArcGIS® ..</b>	<b>148</b>
<b>Figura 5-18. Asignación de rangos en ArcGIS® ..</b>	<b>148</b>
<b>Figura 5-19. Comparación entre la estratificación socioeconómica obtenida con ArcGIS® (a) y resultados publicados en la literatura (b).....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 5-20. Escenarios por estratos al finalizar el procesamiento AHP en ArcGIS® ..</b>	<b>149</b>
<b>Figura 5-21. Asignación de los pesos para el Escenario Base.....</b>	<b>151</b>
<b>Figura 5-22. Mapa obtenido para el Escenario Base ..</b>	<b>154</b>
<b>Figura 5-23. Mapa obtenido para el Escenario N° 1.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 5-24. Mapa obtenido para el Escenario N° 2.....</b>	<b>156</b>
<b>Figura 5-25. Mapa obtenido para el Escenario N° 3.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 5-26. Mapa obtenido para el Escenario N° 4.....</b>	<b>158</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Comparación de algunos de los niveles máximos permisibles en calidad del aire .....	25
Tabla 1-2. Valores recomendados por la OMS para el nivel AQG desde 2021. .	25
Tabla 1-3. Límites de concentraciones de material particulado en algunos países latinoamericanos.....	27
Tabla 1-4. Niveles máximos permisibles en calidad del aire conforme la normativa colombiana. ....	28
Tabla 1-5. Medidas óptimas del portafolio del PDDAB. ....	32
Tabla 1-6. Atributos cualitativos e intervalos para el cálculo del Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud - IBOCA. ....	33
Tabla 2-1. Aplicación de los pasos a seguir para la RSL .....	39
Tabla 2-2. Agrupación de las publicaciones por áreas del conocimiento.....	43
Tabla 2-3. Distribución de las 20 primeras instituciones a afiliaciones reportadas por cada base bibliográfica. ....	45
Tabla 2-4. Distribución de los 20 investigadores con el mayor número de publicaciones por base bibliográfica. ....	48
Tabla 2-5. Concentración media anual de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> en los países con el mayor número de publicaciones por base bibliográfica. ....	53
Tabla 2-6. Registros con las más altas proximidades registradas por base bibliográfica. ....	55
Tabla 2-7. Relaciones cuantitativas entre material particulado y las variables socioambientales identificadas.....	56
Tabla 3-1. Caracterización de la RMCAB.....	63
Tabla 3-2. Aspecto de la base de datos de la RMCAB suministrada por el IDEAM .....	67
Tabla 3-3. Parámetros ingresados en ArcGIS® .....	68
Tabla 3-4. Distribución socioeconómica actual en Bogotá según Decreto 551 de 2019 .....	79
Tabla 3-5. Recolección de información en terreno .....	85
Tabla 4-1: Nomenclatura de la muestra seleccionada. ....	92
Tabla 4-2: Resumen de resultados calculados en ArcGIS® y en GeoDa® .....	97



<b>Tabla 4-3: Resumen de resultados calculados por GeoDa® para el análisis bivalente. Fuente: Propia; GeoDa® .....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 5-1: Comparación entre la estimación VUI y la información catastral...</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 5-2: Variables incluidas en el modelo desarrollado por la SDP. ....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 5-3: Comparación entre la nueva metodología (VUI) y los indicadores de bienestar.....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 5-4: Alcances de los diferentes informes de la ONU-Hábitat. ....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 5-5: Secciones que conforman la Encuesta Multipropósito (EM) de 2017. ....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 5-6: Contenido del archivo Excel descargable con los indicadores de la EM. ....</b>	<b>127</b>
<b>Tabla 5-7: Escala fundamental de preferencias .....</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 5-8: Estimaciones para el índice de consistencia aleatorio en AHP.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 5-9: Resumen de los criterios seleccionadas de la EM y aspecto asignado para el método AHP. ....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 5-10: Orden de preferencias otorgado para el método AHP.....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 5-11. Aspecto de la base de datos de la EM con los indicadores urbanos de 2017 .....</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 5-12: Orden de preferencias otorgado para el método AHP en cada escenario.....</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 5-13. Parámetros ingresados en ArcGIS®. ....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 5-14. Diferencias entre dos órdenes de criterios.....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 5-15. Matriz de criterios relativos [C] con escala 1-9. ....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 5-16. Matriz normalizada de criterios. ....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 5-17. Parámetros ingresados en ArcGIS®. ....</b>	<b>146</b>
<b>Tabla 5-18. Comparación estadística de escenarios.....</b>	<b>153</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A. Normativa en partículas: UE .....</b>	<b>167</b>
<b>Anexo B. Descripción de la RMCAB .....</b>	<b>187</b>
<b>Anexo C. Hoja metodológica Versión 1.2 del IDEAM .....</b>	<b>152</b>
<b>Anexo D. Participación en el XXV Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos .....</b>	<b>157</b>
<b>Anexo E. Comunicaciones con entidades de orden nacional.....</b>	<b>158</b>
<b>Anexo F. Insumos con información ambiental disponible en el IDEAM.....</b>	<b>159</b>
<b>Anexo G. Hoja de Ruta de la mesa de expertos de estratificación socioeconómica .....</b>	<b>172</b>
<b>Anexo H. Formulario de la Encuesta Multipropósito (EM).....</b>	<b>175</b>
<b>Anexo I. Variables seleccionadas de la EM de 2017 .....</b>	<b>176</b>
<b>Anexo J. Resultados obtenidos aplicando el método AHP .....</b>	<b>178</b>
<b>Anexo K. Interfaces de ArcGIS® para el Capítulo 5.....</b>	<b>182</b>

## GLOSARIO

ACDVPR	Alta Consejería para los Derechos de las Víctimas, Paz y Reconciliación
AHP	Método de Jerarquía Analítica ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> , por sus siglas en inglés)
AQG	Niveles de Calidad ( <i>Air Quality Guidelines</i> , por sus siglas en inglés)
BC	Carbón Negro ( <i>Black Carbón</i> , por sus siglas en inglés).
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFR	Código Federal de Regulaciones
CLRTAP	Convenio de Ginebra de 1979 (en inglés, <i>Convention on Long-Range Transboundary Pollution</i> , UN)
CNRS	Centro Nacional de Investigaciones Científicas
CO	Monóxido de Carbono
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CPE	Comité Permanente de Estratificación
CSISS	Centro de Ciencias Sociales espacialmente Integradas ( <i>Center for Spatially Integrated Social Science</i> , por sus siglas en inglés)
CWTS	Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Leiden
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DPF	Filtros de Partículas Diésel ( <i>Diesel particle filter</i> , por sus siglas en inglés)
DPN	Departamento de Planeación Nacional
EMEP	Programa de Cooperación para la Vigencia Continua y Evaluación del Transporte a Gran Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
FHS	Estudios Framingham ( <i>Framingham Heart Study</i> , por sus siglas en inglés)
FONCEP	Fondo de Prestaciones Económicas, Cesantías y Pensiones
GCA	Guías de Calidad del Aire
IBS	Índice de Bienestar Social

IBOCA	Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud
ICDE	Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales
ICP	Índice de la Capacidad de Pago
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDECA	Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IHD	Enfermedad Isquémica del Corazón
IMF	Indicador Multidimensional de Focalización
INCODER	Instituto Colombiano de Desarrollo Rural
INERIS	Instituto Nacional del Medio Ambiente y Riesgos Industriales
INSERM	Instituto Nacional de Salud e Investigaciones Médicas
IPS	Instituciones Prestadoras de Salud
IRA	Infección Respiratoria Aguda
IRB	Infecciones Agudas de las Vías Respiratorias Inferiores
LADM	Piloto del IGAC para el modelo catastral multipropósito
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MLG	Modelos Lineales Generalizados
NAAQS	Normas nacionales en calidad del aire ( <i>National Ambient Air Quality Standards, por sus siglas en inglés</i> )
NME	Nueva Metodología de Estratificación Socioeconómica
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno
NTC ISO	Norma Técnica Colombiana
O <sub>3</sub>	Ozono
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud ( <i>WHO, por sus siglas en inglés</i> )
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTL	Objetos Territoriales Legales
PDDAB	Plan Decenal de Descontaminación del aire para Bogotá
PILA	Planilla Integrada de Liquidación de Aportes
PM	Material Particulado ( <i>Particulate matter, por su expresión en inglés</i> )
PM <sub>10</sub>	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm

---

PM <sub>2.5</sub>	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 µm
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PoM	Pobreza Multidimensional
POS	Plan Obligatorio de Salud
PST	Partículas Suspendidas Totales
RM CAB	Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
RSL	Revisión Sistemática de la Literatura
RUAF	Registro Único de Afiliados al Sistema de Protección Social
RUNT	Registro Único Nacional de Tránsito
SATAB	Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SEM	Microscopio Electrónico de Barrido ( <i>Scanning Electron Microscope, por sus siglas en inglés</i> )
SGESCO	Sociedad Geográfica de Colombia
SIGES	Sistema de Gestión de la Estratificación
SIMAT	Sistema Integrado de Matrícula Estudiantil
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SINIC	Sistema Nacional de Cultura
SISAIRE	Sistema de Información sobre Calidad del Aire
SISBEN	Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SIU	Sistema de Información Urbana
SNIES	Sistema Nacional de Información de la Educación Superior
SNR	Superintendencia de Notariado y Registro
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre
SSPS	Superintendencia de Servicios Públicos de Colombia
UAECD	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital
UE	Unión Europea
UEE	Unidades Especiales de Estratificación
UPZ	Unidades de Planeamiento Zonal

- 
- US EPA      Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*EPA, por sus siglas en inglés*)
  - ZHA        Zonas Homogéneas Ambientales
  - ZHF        Zonas Homogéneas Físicas
  - ZHG        Zonas Homogéneas Geoeconómicas

*En memoria de mi padre,  
Quién me enseñó de constancia y amor incondicional,  
Él siempre motivará todos y cada uno de mis pasos...*

## AGRADECIMIENTOS

A **mi familia** por estar a mi lado siempre, sin importar la distancia, en los momentos buenos y no tan buenos...los amo.

A **mi madre** por la fuerza que me imprimen sus palabras cuando más las necesito, su coraje es admirable.

A **mis hermanos** por permitirme ser una mejor persona y por mantener esa complicidad que nos une.

Igualmente reitero mis agradecimientos al **profesor Lázaro V. Cremades** y a la **profesora Elizabet Gómez Yepes**, quienes con su enorme generosidad hicieron posible alcanzar lo que conversamos algún día en 2016, al terminar una clase en un aula de la Universidad del Quindío, a la que cordialmente me invitaron.

Infinitas gracias a todos mis **Amig@s** quienes sin importar el punto cardinal en el que se encuentren, han sido partícipes del esfuerzo, el trabajo y los resultados alcanzados, aportando su apoyo emocional y técnico desinteresadamente.

Y como no agradecer a la vida por permitirme terminar esta investigación, con la enorme fortuna de ir encontrándome por el camino personas valiosas y maravillosas a las que les debo mi gratitud.



## RESUMEN

Desarrollar métricas en desigualdad ambiental requiere el estudio de sistemas complejos de naturaleza social, económica y ambiental a diferentes escalas territoriales. La presente investigación desarrolla métricas en ese marco para determinar correlaciones entre la posición socioambiental y la calidad del aire de zonas altamente densificados, ahondando en el entorno urbano de la ciudad Bogotá, Colombia (Suramérica). Además de las variables en la salud pública, se integraron al análisis otras variables como la densidad de la población por UPZ, población en edad de trabajar, instituciones prestadoras de salud, pensionados activos, ingreso per cápita, empresas creadas, demografía de la población víctima por localidad, bono de alimentación, matrícula total en colegios oficiales y finalmente, tasa de deserción escolar en colegios oficiales, aportando contribuciones al concepto de justicia ambiental.

Durante el transcurso de la investigación se consiguieron herramientas para construir una propuesta metodológica que propenda por el bienestar y la calidad de vida de los bogotanos integrando variables socioambientales a la actual estatificación socioeconómica urbana, entre ellas, la exposición al material particulado.

## SUMMARY

Environmental inequality metrics require complex analyses between social, economic and environmental variables at different scales. The current research develops metrics within this framework to determine correlations between socio-environmental position and air quality in highly densified areas, focusing on the urban environment of the city of Bogota, Colombia (South America). In addition to the variables related to public health, there are other variables that have also been proposed to measure environmental inequality, such as population density by UPZ, population of working age, health institutions, active pensioners, per capita income, companies created, demography of the victim population by locality, food voucher, total enrollment in official schools and finally, rate of school dropout in official schools, increasing the contributions to the concept of environmental justice framework. .

During the research, tools were provided to build a methodological proposal that promotes the well-being and life quality of Bogota residents, integrating socio-environmental factors to the current socioeconomic status, among them, exposure to particulate matter.

## 1.- EL MATERIAL PARTICULADO EN ENTORNOS URBANOS

### 1.1.- INTRODUCCIÓN

En los ambientes urbanos coexisten sistemas complejos de todo tipo, entre ellos, el aire. En dicho sistema la presencia componentes sólidos y gaseosos condicionan las características de los ecosistemas urbanos y quienes los habitan. Sin embargo, el aumento de dichos componentes puede implicar riesgo, daño o perjuicio a los ecosistemas ocasionando niveles de contaminación atmosférica de grandes repercusiones.

Los contaminantes atmosféricos son heterogéneos y se clasifican grosso modo en partículas sólidas, componentes gaseosos y/o aerosoles. La clasificación reviste importancia porque determina su estudio, formación, monitoreo, control y tratamiento, fuentes, etc. Al margen del componente gaseoso, la presente investigación está focalizada en el material particulado (PM) y su nivel de impacto en la calidad del aire de las zonas urbanas.

Las partículas están conformadas por sulfatos, nitratos, amoniaco, cloruro de sodio, carbón negro, polvos minerales, agua y múltiples compuestos que están en estudio (ver Figura 1-1). Hinds definió a las partículas atmosféricas como diversas y de difícil identidad; por eso, representan un sistema multicomponente de mezclas en suspensión que pueden ser de origen primario (*indoor*) o secundario (*outdoor*), de diversa composición química (Gacio, 2013), con distribución de tamaño (Maricq, 2007) y, modos de formación y reactividad diferentes (Hinds, 1999).

Novela *et al.*, asocia la forma de las partículas con sus fuentes de emisión. Las formas bien redondeadas se asocian a fuentes antropogénicas, mientras que las partículas de formas irregulares se asocian a fuentes naturales. Es muy probable, que la muestra de partículas tomada del tejado del edificio de la Facultad de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Venda en Thohoyandou de la Figura 1-2, procedan de emisiones naturales (Novela *et al.*, 2020).

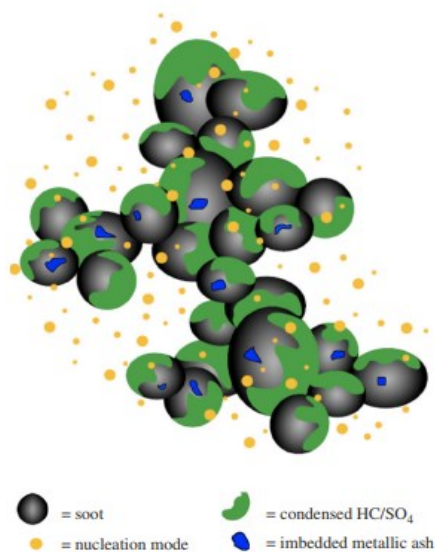


Figura 1-1. Ilustración del material particulado provenientes de emisiones diésel. Fuente: (Maricq, 2007)

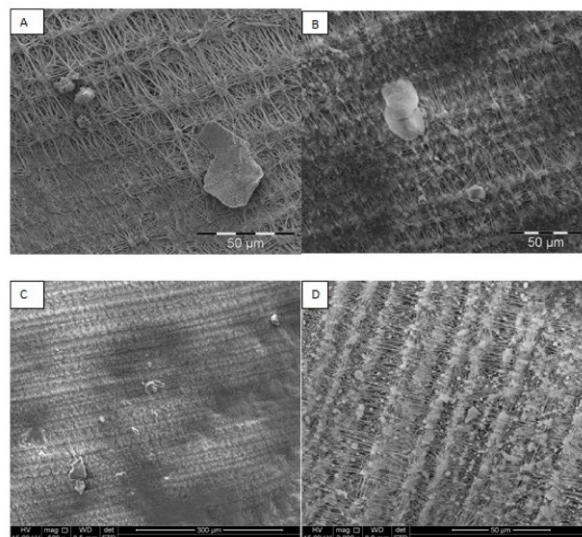


Figura 1-2. Micrografías SEM que muestran diferentes morfologías de partículas. Fuente: (Novela *et al.*, 2020)

El material particulado también es definido como un *driver* de sostenibilidad porque refleja el nivel de riesgo de la población al estar expuesta a este contaminante. Los efectos que tienen las partículas en la salud humana comprometen el funcionamiento normal del organismo ocasionando enfermedades ampliamente estudiadas con implicaciones como la demencia, enfermedades neurodegenerativas, problemas de salud mental, ictus, autismo y problemas conductuales, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), neumonía, cáncer de pulmón, diabetes, inflamaciones sistémicas, infarto al miocardio, arritmia, fallo congestivo cardiaco, enfermedades cardiovasculares, nacimiento prematuro, peso reducido al nacer, preeclampsia, reducción en la calidad del esperma, trombosis venosa profunda, etc.

Es precisamente, la salud y el bienestar, uno de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** impulsados por la **Asamblea General de Naciones Unidas (ONU)**, dado el número de muertes anuales atribuidas a la contaminación atmosférica. En 2015, la ONU adoptó la Agenda 2030 estableciendo **17 ODS** y **169 indicadores**, dentro de los cuales **3** están relacionados con la calidad del aire y son competencia de la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**. Ante eso, los 194 estados miembros de la OMS adoptaron recientemente un marco normativo para responder a los efectos adversos de la contaminación en el aire para la salud y una hoja de ruta para obtener una respuesta global mejorada.

Organismos y estamentos internacionales adicionales a la OMS han liderado la estandarización de la contaminación atmosférica a nivel global; es el caso de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) y la Unión Europea (UE). El programa “**Aire Puro**”, liderado por la Comisión Europea, declara que persiste el impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población pese a la legislación vigente. Según uno de sus comunicados, en 2010 la contaminación atmosférica causó cerca de 400 000 muertes prematuras, generando costes por pérdida de productividad laboral, atención primaria y daños económicos inmersos de 23 000 millones de euros para ese mismo año. Estiman que para el año 2030, las medidas propuestas en el programa evitarán 58000 muertes prematuras, salvarán 123 000 km<sup>2</sup> de ecosistemas de la contaminación por nitrógeno, 56000 km<sup>2</sup> de zonas protegidas de la Red Natura 2000 y 19 000 km<sup>2</sup> de ecosistemas forestales de la acidificación (Parlamento Europeo, 2013).

Por su parte, la OMS y la US EPA, entre los años 2005 y 2021, han normalizado las concentraciones límites permisibles de los contaminantes criterios identificados como precursores de la contaminación atmosférica a través de Directrices y Guías de Calidad del Aire (GCA) que repercutan en el desarrollo de normas nacionales en calidad del air e (NAAQS, por sus siglas en inglés) a nivel global. En lo que respecta al material particulado, la evolución ha sido progresiva, iniciando con la definición de límites permisibles en partículas sólidas totales (PST) hasta la exigencia de concentraciones en PM<sub>2.5</sub> y la reciente incorporación de negro de humo (*black carbon*).

En salud pública, es común que la posición geográfica y los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos mantengan una relación con las condiciones de pobreza de la población; sin embargo, la relación no es necesariamente proporcional ni supone la misma tendencia en todos los casos. Tres millones de muertes se atribuyen a la exposición de PM en 2012 y proceden en un 87% de los países de bajos ingresos, los cuales representan, a su vez el 85% del total de la población mundial (WHO, 2016). La distribución de muertes ocasionadas por accidentes cardiovasculares, enfermedades pulmonares crónicas, cardiopatía isquémica o enfermedad coronaria, cáncer de pulmón y la enfermedad aguda de las vías respiratorias

inferiores, se agudiza en las regiones en el Pacífico Occidental y el Sudeste Asiático con el mayor número de casos reportados, 1.1 millones y 799 mil muertes, respectivamente. En África subsahariana se producen 211 mil muertes, 194 mil en la región del Mediterráneo oriental, 190 mil en Europa y 93 mil en las Américas. Las muertes restantes ocasionadas por otras enfermedades ocurren en países de altos ingresos de Europa, las Américas, el Pacífico occidental y el Mediterráneo oriental.

En los informes oficiales de salud pública de las grandes ciudades y áreas metropolitanas, es frecuente que se incorporen variables socioeconómicas en las métricas. En Bogotá, la capital colombiana objeto del presente estudio, 1 593 747 de bogotanos en 2016 consultaron a profesionales de salud por afecciones relacionadas con la infección respiratoria (IRA) en 811 instituciones prestadoras de salud (IPS). Para ese mismo año, 24 muertes por IRA en menores de cinco años se reportaron, frente a 27 muertes en 2015; la mortalidad se distribuye en la ciudad así: 21 % en Ciudad Bolívar; 17 % en Bosa; 17 % en Tunjuelito; y 13 % en Usme; la mitad de las localidades del Distrito no presentan casos de mortalidad por IRA (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2016). En 2015, la misma entidad identifica que el más alto nivel de afectación lo padecen los habitantes de las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Puente Aranda, quienes tienen más probabilidad de sufrir enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares que el resto de la población. La Red de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) para esas cuatro localidades monitorea las concentraciones de PM<sub>10</sub> más altas con valores entre los 301 y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para Bosa y Kennedy, seguido de Ciudad Bolívar con rangos de concentración entre 201-300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En los dos años, los valores coinciden con el mayor número de casos de mortalidad infantil identificados por causas de enfermedades respiratorias agudas (Secretaría Distrital de Salud, 2015). Con reducciones en la concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> entre los años 2010 y 2020 a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se hubieran evitado 21 000 muertes en bogotanos mayores de 30 años y 900 en menores de 1 año por exposición al material particulado a largo plazo, lo que significa beneficios económicos alrededor de los 53 millones de euros en costos de enfermedad (Ortiz Durán & Rojas Roa, 2013).

Las variables en salud pública no han sido las únicas estudiadas para medir el impacto del PM en entornos urbanos, también lo han sido, el clima, la renta, la etnia, la edad, la pobreza, el género, el estatus social, las creencias religiosas, la educación, el estado civil, la nacionalidad, la ubicación geográfica, la curva de Kuznets, el coeficiente de Gini, Ozono, NO<sub>2</sub>, etc.

En 2019, el periódico El País publicó *“La contaminación se ceba en las áreas más pobres de las grandes ciudades europeas”*, dejando entrever una vez más lo complejo que resulta medir la desigualdad ambiental en entornos urbanos a partir de contaminantes atmosféricos (Mouzo, 2019). El estudio al que hace mención la publicación establece la asociación espacial entre el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y algunos indicadores socioeconómicos en áreas metropolitanas de Atenas, Barcelona, Berlín, Bruselas, Lisboa, Londres, París, Estocolmo y Turín. A pesar de la correlación encontrada entre la tasa de desempleo juvenil y global, la tasa de envejecimiento, el índice de fumadores, la densidad poblacional, la criminalidad, el nivel de estudios de la población, y, finalmente, la concentración de NO<sub>2</sub> en cada área, los investigadores encuentran varias limitaciones, entre ellas, la notable incidencia que tiene la unidad geográfica seleccionada y la débil normalización de los resultados por población (Samoli et al., 2019).

Los trabajos académicos en las que se ha encontrado correlación de variables sociales, ambientales y económicas en entornos urbanos con la contaminación atmosférica ascienden notablemente desde la primera década del siglo XXI. Desde entonces, los estudios en ambientes urbanos que aportan al estudio de la desigualdad ambiental son liderados por académicos como Lipfer et al, Martins et al., Laurent et al., Morgenstern, Kim & Kim, Mehta et al., por citar algunos. Todos los resultados encontrados hasta entonces aportan al estudio de la **equidad o la justicia ambiental**, para Sarokin y Schulkin, la justicia ambiental como expresión, “(...) posee ante todo una naturaleza conceptual, haciendo gravitar su significado en torno al hecho de que ciertas poblaciones 1) están sometidas a mayor riesgo de contaminación ambiental que otras, 2) sufren más perjuicios ambientales, y 3) están excluidas del acceso a los procesos de formulación y toma de decisiones” (Moreno, 2010).

Lipfert en 2004, analiza tres estudios realizados para determinar relaciones entre el estatus socioeconómico, la salud y la calidad del aire; en los dos primeros se encontraron relaciones entre la mortalidad diaria de la población de Hamilton (Ontario) y la población de Sao Paulo, Brasil, con la exposición al SO<sub>2</sub> y el MP<sub>10</sub>, mientras, el tercer estudio, con contaminantes similares encontró disminuciones de 83 a 86 gramos en el peso de niños al nacer asociadas a niveles medios de PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, siendo los efectos del O<sub>3</sub> y el SO<sub>2</sub>, poco significativos en Sao Paulo (Lipfert, 2004).

Por su parte, para Martins et al., en 2004, el efecto de PM<sub>10</sub> se correlacionó negativamente con los porcentajes de personas con educación universitaria y altos ingresos familiares, y se asoció positivamente con el porcentaje de personas que viven en barrios marginales (Martins et al., 2004).

Para Kim et al., por ejemplo, variables como el porcentaje de personas con educación universitaria mayores de 20 años, la satisfacción con el transporte público y el porcentaje de la población por debajo de la línea de pobreza de Seúl mantiene relación con las partículas finas presentes en su entorno urbano. En su investigación las personas con mayores índices de pobreza son las más afectadas por la contaminación atmosférica (Kim et al., 2014).

En 2016, con datos obtenidos de las estaciones de monitoreo de contaminantes disponibles de la ciudad de Manizales en Colombia, se concluye que la población con tiempos diarios promedio de viaje menores a 30 minutos para transportarse a sus lugares de trabajo, presenta mayores niveles de contaminación atmosférica (Escobar, Martínez, & Moncada, 2016).

## 1.2.- HIPÓTESIS

La dificultad de correlacionar el material particulado con las condiciones sociales, ambientales y económicas de la población en entornos urbanos, se debe, entre otras razones, a las limitaciones de los métodos de cálculo y la calidad de las fuentes de información empleadas al intentar medir la desigualdad ambiental en unidades territoriales específicas. Las metodologías encontradas con este enfoque son heterogéneas y por lo general, proceden de principios empíricos (Martins et al., 2004), determinísticos (Kumar et al., 2016) o estadísticos (Mehta et al., 2014).

En la ciudad de Bogotá, varias entidades oficiales recogen continuamente datos de gran utilidad que podrían aportar a las investigaciones en equidad ambiental; sin embargo, las fuentes son aisladas y desarticuladas, por eso la selección de las variables para este tipo de análisis se ve condicionada. En cuanto a las variables socioeconómicas disponibles, entidades como el **Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)**, el **Instituto de**

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las Secretarías Distritales del Gobierno y la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD), están en la capacidad de proveer información de la población bogotana a través de plataformas como IDECA- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital y los visores propios.

Pese a todos los esfuerzos que han hecho las entidades oficiales del gobierno colombiano y la comunidad científica local por recopilar información relacionada con la calidad de vida de los habitantes, aún se desconoce si la calidad de vida de las poblaciones urbanas guarda relación alguna con el nivel de exposición del material particulado.

Es así como nos hemos planteado la siguiente hipótesis:

**Las relaciones entre la estratificación socioeconómica y la exposición de los bogotanos al PM<sub>2.5</sub> y el PM<sub>10</sub> en las 19 localidades urbanas de Bogotá, supone aportes a la comprensión de la desigualdad ambiental y, por tanto, merece un análisis particular.**

El control y monitoreo que se ejerce sobre la concentración del material particulado en Bogotá es limitado ante el crecimiento acelerado de la ciudad además su articulación con la normativa es rígida.

En tanto que, si se utilizan los planteamientos del concepto de equidad ambiental, la hipótesis, cuestiona los mecanismos de estratificación socioeconómica empleados actualmente en Bogotá para asignar subsidios y cobrar contribuciones. En efecto, dichos mecanismos desconocen las condiciones de vida de la población y más aún sus condiciones socioambientales.

Es primordial entonces conocer relaciones existentes entre la exposición al material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) para diseñar medidas adaptadas al contexto socioambiental actual. En Bogotá, la estratificación socioeconómica implantada en Colombia desde 1994, mediante la Ley 142, condiciona la calidad de vida y otorga una clasificación numérica a cerca de nueve millones de ciudadanos (1: Bajo – bajo; 2: Bajo; 3: Medio-bajo; 4: Medio; 5: Medio-alto; 6: alto). Desde esa perspectiva, Bogotá se aleja cada vez más de la igualdad socioambiental, la inclusión, el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida.

### 1.3.- ESTRUCTURA DE LA TESIS

La consecución de los objetivos planteados requiere de una estructura específica para la investigación. El presente trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos:

**Capítulo 1:** El Material Particulado en entornos urbanos

**Capítulo 2:** Revisión sistemática de la literatura (RSL) del material particulado en entornos urbanos

**Capítulo 3:** Análisis de la exposición del material particulado en Bogotá

**Capítulo 4:** Correlación estimada entre la estratificación socioeconómica y el material particulado (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) en Bogotá y,

**Capítulo 5:** Mejoras a la estratificación socioeconómica actual de Colombia

Este primer capítulo introduce el tema principal de la investigación e incluye el marco normativo e institucional vigente. El segundo capítulo integrará los resultados alcanzados una vez realizada la revisión bibliográfica de la literatura partiendo de trabajos afines al marco conceptual establecido de equidad ambiental; esta revisión a su vez contará con una

estructura específica integrada por objetivos, metodología, resultados y conclusiones. Por su parte, para instrumentalizar las variables socioeconómicas y ambientales necesarias para la investigación, el tercer capítulo, describirá las fuentes de información existentes y los organismos territoriales implicados en su administración, en concreto, brindará las características de la **Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)** y la **metodología actual de estratificación socioeconómica** que rige en Bogotá. El cuarto capítulo recogerá las correlaciones encontradas entre el material particulado en los dos diámetros aerodinámicos (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) y las condiciones socioeconómicas de los bogotanos, todo ello, desarrollado en una estructura secundaria con: objetivos, metodologías, resultados y conclusiones. Finalmente, el quinto capítulo intentará abordar la mayor cantidad de propuestas existentes para mejorar la estratificación socioambiental de Bogotá con el propósito de brindar oportunidades de mejora en los que sea posible la inclusión de la concentración del material particulado monitoreado anualmente como indicador ambiental.

#### 1.4.- MARCO NORMATIVO

El punto de partida normativo en materia de contaminación atmosférica es, sin duda, el **Convenio de Ginebra de 1979 (CLRTAP)** aprobado por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, y posteriormente, su Enmienda en 1999 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023). El Convenio surge en un marco de Cooperación Intergubernamental sobre Contaminación Transfronteriza a Gran Distancia con el propósito de proteger la salud y el medio ambiente. Cada uno de los países de la Comisión ratificaron posteriormente los ocho protocolos que hacen parte del texto del Convenio y que son:

- **Programa de cooperación para la vigencia continua y evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP)**, en 1988.
- **Reducción de las emisiones de azufre al menos en un 30%**, en 1987.
- **Óxidos de nitrógeno**, en 1991.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**, en 1997.
- **Reducción adicional de las emisiones de azufre**, en 1998.
- **Contaminantes orgánicos persistentes (COP)**, en 2003.
- **Protocolo de Gotemburgo relativo a la reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera**, en 2005.

En 2015, la Asamblea General de Naciones Unidas (ONU) adoptó la **Agenda 2030** estableciendo, como hemos dicho anteriormente, 17 **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** y 169 indicadores dentro de los cuales 3 están relacionados con la calidad del aire. Los indicadores que miden la calidad del aire son: **tasa de mortalidad atribuida a la contaminación del aire**, **la proporción de poblaciones con dependencia primaria en combustibles y tecnologías limpias**, y finalmente, **los niveles anuales de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) por ciudades** (Naciones Unidas/CEPAL, 2016).

Desde entonces, la comunidad internacional ha sido promotora de políticas públicas; sin ir más lejos, la OMS aboga continuamente por las políticas de prevención, promoción e intervención frente a la generación de material particulado por actividades antropogénicas. Un reciente anuncio de prensa anunciaba nuevas propuestas de la Comisión Europea para reducir la contaminación del aire a la mitad a partir de 2030 y compensar económicamente a las víctimas directas por exposición a contaminantes atmosféricos (Agencia EITB Media, 2022).



### 1.4.1.- Global

La **US EPA** y la **OMS** lideran la estandarización de los parámetros en calidad del aire a nivel mundial. Desde 1987 existen directrices en esta materia, por eso, en la Tabla 1-1 se hace una comparativa evolutiva de los estándares en la materia.

*Tabla 1-1. Comparación de algunos de los niveles máximos permisibles en calidad del aire.*

*Fuente: a. (WHO, 1987) ; b.(WHO, 2006) ; c. (WHO, 2021); d. (EPA, 2012)*

Contaminante	Tiempo de Exposición	OMS			EPA			
		1987 <sup>a</sup>	2005 <sup>b</sup>	2021 <sup>c</sup>	1987	1997	2006	2012
PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	Anual	-	20	15	50	50	-	-
	24 horas	120 (PST)	50	45	150	150	150	150
PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup>	Anual	-	10	5	-	15	15	15
	24 horas	-	25	15	-	65	35	35

A medida que las concentraciones se hacen más restrictivas en el tiempo, también los contaminantes, por ejemplo, las Partículas Suspendidas Totales (PST), han evolucionado hasta derivar en concentraciones criterio de Hollín o *Black Carbon* (BC), en aras, de profundizar en condiciones de monitoreo específicas.

Las últimas directrices de la OMS tienen un fuerte soporte científico basada en evidencia y metas intermedias para el ozono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, el monóxido de carbono y el material particulado en los tamaños PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. A diferencia de la OMS, la EPA, ha mantenido los niveles sin mayores cambios entre los años 1987 y 2012, como es el caso de las concentraciones máximas permisibles del PM<sub>10</sub> con tiempos de exposición de 24 horas (EPA, 2012).

La Tabla 1-2 resume las metas intermedias rigurosamente estudiadas para brindar información a los encargados de la toma de decisiones en políticas públicas de los territorios. Con dicha información se han establecido los respectivos niveles de calidad (AQG, por sus siglas en inglés), dispuestos como referencia para la actualización de las normas nacionales en calidad del aire (NAAQS, por sus siglas en inglés) de cada país (OMS, 2021).

*Tabla 1-2. Valores recomendados por la OMS para el nivel AQG desde 2021. Fuente: (OMS, 2021)*

Contaminante	Tiempo promedio	Meta Intermedia				Niveles AQG
		I	II	III	IV	
PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas	150	100	75	50	45
PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup>	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas	75	50	37.5	25	15

## 1.4.2.- Regional

### Unión Europea (UE):

La UE ha regulado los límites permisibles del material particulado desde en 1981 con la aprobación del Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia (CLRTAP).

En términos generales, la normativa que ha sido aceptada por la UE hasta el momento, para el control de la contaminación atmosférica, la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico, se encuentra en el marco de:

- La Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.
- La Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2016, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2003/35/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE.
- La Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).
- La Directiva (UE) 2015/2193 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas.
- El Reglamento (CE) 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2009, relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE.
- El Reglamento (CE) 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2007, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos.

El **Anexo A** recoge en detalle las normas citadas anteriormente especificando las regulaciones en partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, nº partículas, ...), tanto en fuentes fijas como estacionarias, así como los objetivos de calidad del aire de la UE.

### Caribe y América Latina:

Según el resumen de Normas de Calidad del Aire realizado por *Clear Air Institute* en 2013, no todos los países de la región regulan los contaminantes criterio y mucho menos incluyen el PM<sub>2.5</sub>; sin embargo, los países que sí lo hacen, cuentan con normas de calidad del aire alineadas con las disposiciones internacionales de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Unión Europea (UE) y, por consiguiente, las Guías de Calidad del Aire (GCA) de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Clear Air Institute identificó que, aproximadamente, dos tercios de los países de la región no cuentan con **Normas Nacionales en Calidad del Aire (NAAQS)**. Entre ellos, se encuentran países como Honduras, Belice, Haití, Cuba, Paraguay, Guatemala y Uruguay, siendo este último el país el más interesado en iniciar la implementación de sus NAAQS.

Por su parte, los países que sí cuentan con normas de calidad del aire tienen sus propios estándares y métodos de medición conforme voluntad política, planificación territorial, relieve, entre otros. Los estándares en esos países son los que se muestran en la Tabla 1-3.

*Tabla 1-3. Límites de concentraciones de material particulado en algunos países latinoamericanos. Fuente: (Green & Sánchez, 2013)*

País	Año consultado	Media de 24 horas PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>10</sub>	Media de 24 horas PM <sub>2.5</sub>	Media anual PM <sub>2.5</sub>
		(µg/m <sup>3</sup> )			
Argentina (Buenos Aires)	2013	150	50	65	15
Bolivia (La Paz)	2013	50	20	25	10
Brasil	2011	150	50	-	-
Colombia	2017	100	50	50	25
Chile	2011	130	50	50	20
Costa Rica	2013	150	50	-	-
Ecuador	2013	150	50	65	15
El Salvador	2013	150	50	65	15
Jamaica	2013	150	50	-	-
México	2013	120	50	65	15
Nicaragua	2013	150	50	-	-
Panamá	2013	150	50	-	-
Perú	2013	150	50	25	-
Puerto Rico	2013	150	-	35	15
Rep. Dominicana	2013	150	50	65	15
Venezuela	2013	150	50	-	-

Es de precisar con los datos anteriores que no todos son comparables porque cada país estipula normas de calidad del aire diferentes. Por ejemplo, el valor de Panamá hacía parte de un proyecto de ley en 2013, y en Chile, por su parte, todos los promedios anuales de contaminación son el promedio de tres años previos consecutivos, mientras el estándar diario es el percentil 98 anual.

En términos generales, la mayoría de los países no han definido valores límite para las partículas ultrafinas o PM<sub>2.5</sub>, lo que significa pocos esfuerzos en la construcción de normas de calidad de aire dispuestas a ser referencia a corto y a largo plazo en el control de la salud pública. Sin embargo, el país de la región con mayor trayectoria en la normalización de sus estándares en partículas ultrafinas es Chile. El Ministerio de Medio Ambiente de Chile publica en 2011 la norma primaria de calidad ambiental para PM<sub>2.5</sub> mediante el Decreto 12, estableciendo los límites permisibles de 20 µg/m<sup>3</sup> como concentración anual, y 50 µg/m<sup>3</sup>, como concentración de 24 horas (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2011).

### 1.4.3.- Local

#### Normativa Colombiana:

La **Ley 99 de 1993**, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el **Sistema Nacional Ambiental, SINA**, y se dictan otras disposiciones” (República de Colombia, 1993) y, por su parte, el **CONPES 3344/2005**, por la que se dictan los “Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire”, representan los marcos normativos iniciales de protección y control de la calidad del aire de la en Colombia (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005).

La más reciente legislación colombiana relacionada con el contaminante criterio de interés se encuentra en la **Resolución 2254/2017**, por la cual se adopta la norma de calidad del aire y se derogan disposiciones anteriores, la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Es entonces responsabilidad de cada ente territorial de orden nacional disponer de una red de monitoreo robusta para el control y el monitoreo de los contaminantes.

En la norma más reciente se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia, 25°C y 1 atm, en dos diámetros aerodinámicos de partículas diferentes (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), siendo los niveles máximos permisibles anuales los mostrados en la Tabla 1-4.

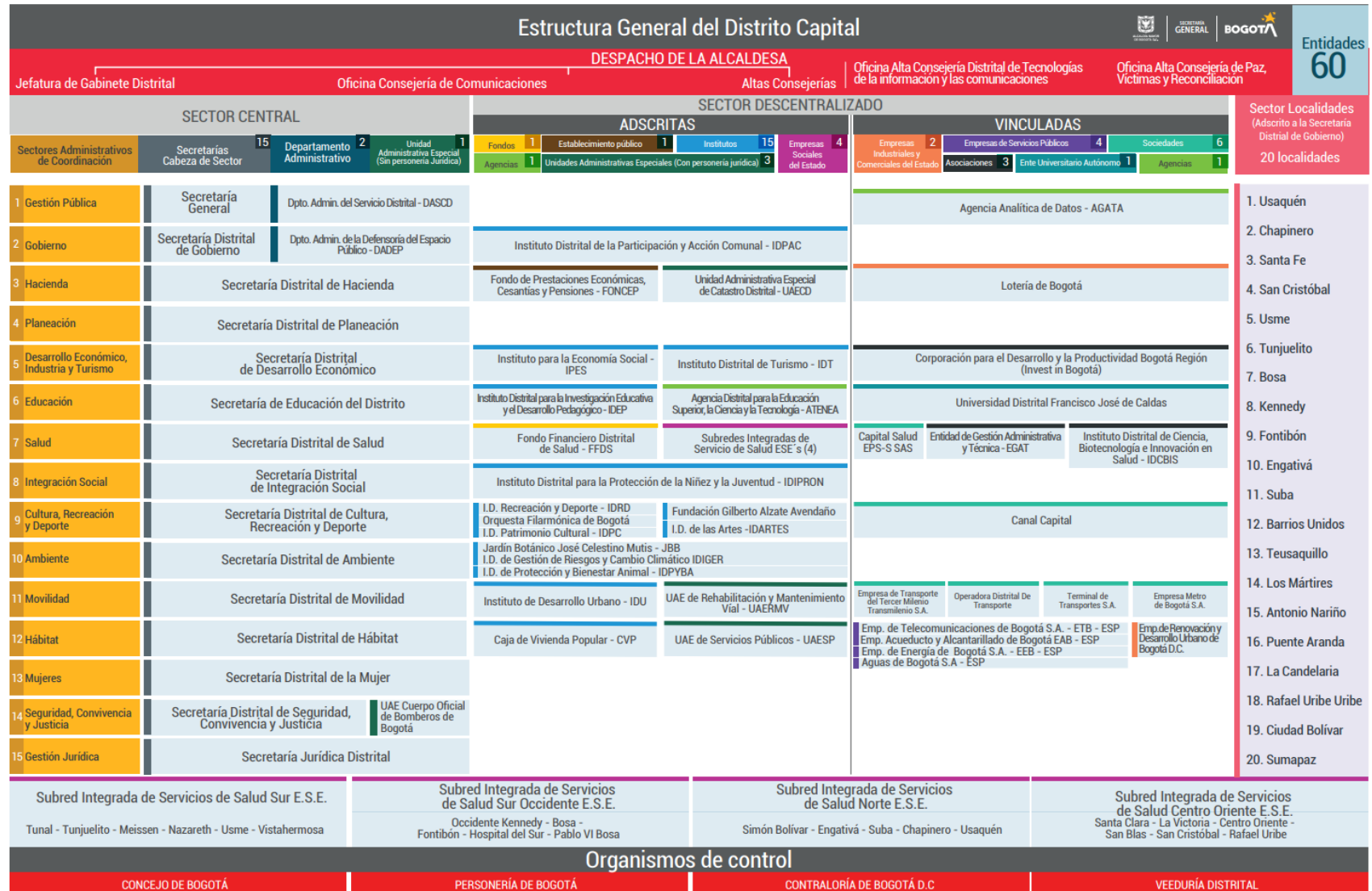
Tabla 1-4. Niveles máximos permisibles en calidad del aire conforme la normativa colombiana. Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

Contaminante	Tiempo de Exposición	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE (µg/m <sup>3</sup> )			
		Actual	Año 2030	OMS	EPA
PM <sub>10</sub>	Anual	50	30	20	-
	24 horas	100	-	50	150
PM <sub>2.5</sub>	Anual	25	15	10	12
	24 horas	50	-	25	35

NOTA: En la norma también se consigna las concentraciones de PM y el tiempo de exposición que las autoridades locales controlan y monitorean antes de declarar los estados de prevención, alerta o emergencia; niveles  $\geq 355 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP<sub>10</sub> y  $\geq 151 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de MP<sub>2.5</sub> suponen niveles de emergencia.

#### Administraciones Locales en Bogotá

La estructura general de la Administración Distrital está ilustrada en la Figura 1-3. A lo largo



I.D. = Instituto Distrital. Dpto. Admin = Departamento Administrativo, Emp. = Empresa, UAE = Unidad Administrativa Especial

Figura 1-3. Estructura General del Distrito Capital en Bogotá. Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2023a).

de la presente investigación, se hace mención a algunas de las entidades que conforman la Administración Distrital y que de una u otra forma intervienen en la toma de decisiones en términos de ordenación de territorios, administración de presupuestos y manejo integral de los recursos naturales. El Sector Central está conformado por **15 Secretarías** con funciones específicas dentro de la ciudad y entidades adscritas de su responsabilidad. Las secretarías con mayor injerencia en este trabajo de investigación provienen de las publicaciones hechas por la **Secretaría Distrital de Planeación**, la **Secretaría Distrital de Salud** y la **Secretaría Distrital de Ambiente**.

#### **Red de monitoreo de calidad del aire (RMCAB):**

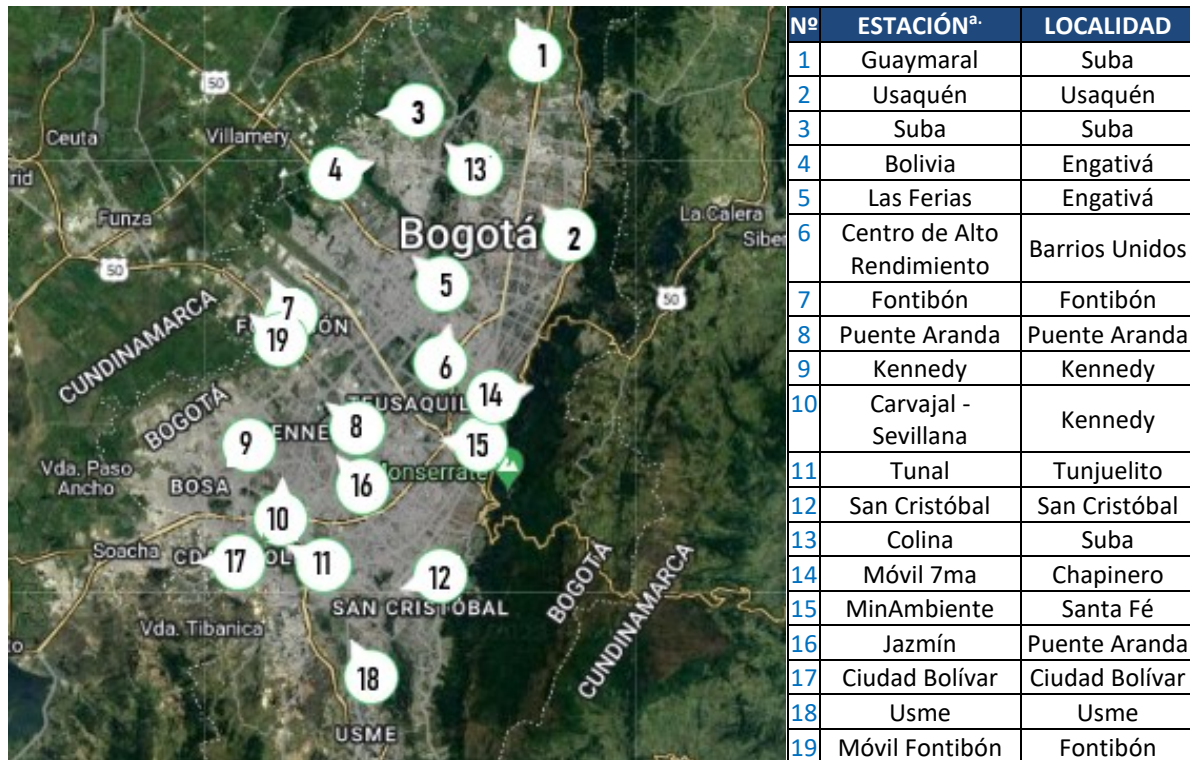
En el caso de Bogotá, la ciudad monitorea desde 1998, a través de la **Red de monitoreo de calidad del aire (RMCAB)**, bajo la administración de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá monitorea a través de red, la concentración del material particulado, así como otros contaminantes como PST, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>.

La red cuenta con **19** estaciones meteorológicas de las cuales **17** son fijas y **2** móviles como se visualiza en la Figura 1-4.

La **Secretaría Distrital de Ambiente** (SDA), como autoridad ambiental, definió metas de reducción de material particulado del 80% para el 2020 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010). Para monitorear las reducciones, hace uso de la RMCAB, la cual está distribuida por toda la ciudad.

Los equipos disponibles en cada estación han permitido la detección de la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, así como la concentración horaria de partículas (PM<sub>10</sub>, PST, PM<sub>2.5</sub>), y otros contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>).

Figura 1-4. Localización de las estaciones meteorológicas que conforman la RMCAB. Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023)



a. El **Anexo B** contiene las características detalladas del estado actual de cada una de las estaciones de monitoreo que conforman la RMCAB (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023a).

De forma periódica, la SDA publica informes de calidad del aire analizando la información recogida de la **RMCAB** y atendiendo las disposiciones de la norma **NTC ISO/IEC 17025:2017** así como los procedimientos internos de la entidad tales como el procedimiento de “Metrología, Monitoreo y Modelación”.

Los métodos de medición empleados para monitorear el material particulado se encuentran alineados con el contenido del Título 40 del Código Federal de Regulaciones (CFR, por sus siglas en inglés) de la US EPA. En concreto, la atenuación por radiación Beta, consiste en el principio de medición, y los métodos aplicables son: EQPM-0798-122 y el EQPM-0404-151 para el PM<sub>10</sub>, y luego, los métodos EQPM-0308-170 y EQPM-1013-211, para el PM<sub>2.5</sub>.

El **Capítulo 3** de la presente investigación presenta la caracterización de la red e incorpora el análisis del comportamiento de las concentraciones de material particulado en la ciudad de Bogotá entre los años 2011 y 2019.

#### **Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá 2010 - 2020 (PDDAB):**

La Administración Ambiental de la ciudad, bajo la dirección de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), a través de un instrumento de planeación ambiental, el **PDDAB 2010-2020**, traza varias metas concretas de reducción de material particulado y otros contaminantes criterio más para el año 2020 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010).

El **PDDAB** consideraba metas puntuales por tecnologías de motorización al término del año 2020, tal y como se muestra en la Tabla 1-5.

*Tabla 1-5. Medidas óptimas del portafolio del PDDAB. Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010)*

Medidas	Sector	Proyecto	Descripción
<b>1</b>	Industrial	Uso de sistemas de control de emisiones	Instalación de sistemas de control de emisiones de la forma más costo-efectiva posible sin ponderar por tipo de categoría industrial
<b>2</b>	Industrial	Conversión de carbón a gas natural y formalización	Transformación tecnológica para el 100% de las fuentes que actualmente usan carbón para que éstas utilicen gas natural
<b>3</b>	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en vehículos de transporte de carga	Instalar catalizadores oxidativos en todos los vehículos de transporte de carga que circulen en Bogotá. Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque
<b>4</b>	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas	Instalar catalizadores oxidativos y sistemas secundarios de inyección de aire en motocicletas de menos de 250 cm <sup>3</sup> . Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque
<b>5A</b>	Transporte (SITP)	Implementación del sistema integrado de transporte público	Implementar el SITP con su programa de renovación continua de flota y chatarrización
<b>5B</b>	Transporte (SITP)	Uso de sistemas de control de emisiones en buses alimentadores que ingresan al SITP	Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entran a formar parte de la flota del SITP

La efectividad de las medidas del **PDDAB 2010 - 2020** fue analizada por Agudelo *et al.*, en 2021. El análisis detallado de los resultados obtenido en la medición de la efectividad del plan con relación al comportamiento del material particulado está recogido en el **Capítulo 3** de la presente investigación.

A corto plazo, se espera alcanzar acciones sectorizadas para desarrollar hojas de ruta con los resultados obtenidos del plan. La continuidad del **PDAAB** para el presente decenio requiere la participación de varios actores sociales, incluyendo la academia, en la construcción de nuevas medidas para fomentar la gobernanza del aire en Bogotá.

#### **Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá, en su componente aire, SATAB-aire:**

Desde la entrada en vigor del **Decreto Distrital 595 de 2015**, por el cual se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire, la



Administración Local ha declarado disposiciones normativas para reducir el riesgo por contaminación atmosférica en la ciudad en el marco del **Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático SDGR-CC**.

Algunas de esas disposiciones son la **Resolución 868 de 2021**, por medio de la cual se establece el nuevo **Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud — IBOCA—** para la gestión conjunta del riesgo de deterioro del ambiente y de la salud humana, y, la **Resolución 182 de 2023**, por la cual se declara la **Alerta Fase 1** por contaminación atmosférica en la zona suroccidente de la ciudad de Bogotá D.C, y se toman otras determinaciones (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2023b).

La más reciente resolución declara la Alerta en Fase 1 en una zona puntual de la ciudad por su mayor exposición a contaminantes atmosféricos. La declaración obedece a la clasificación de la Tabla 1-6, el cual hace referencia al **Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud – IBOCA**. El referido índice, calculado conforme los reportes de la RMCAB, tiene como propósito el control de las alertas en la ciudad.

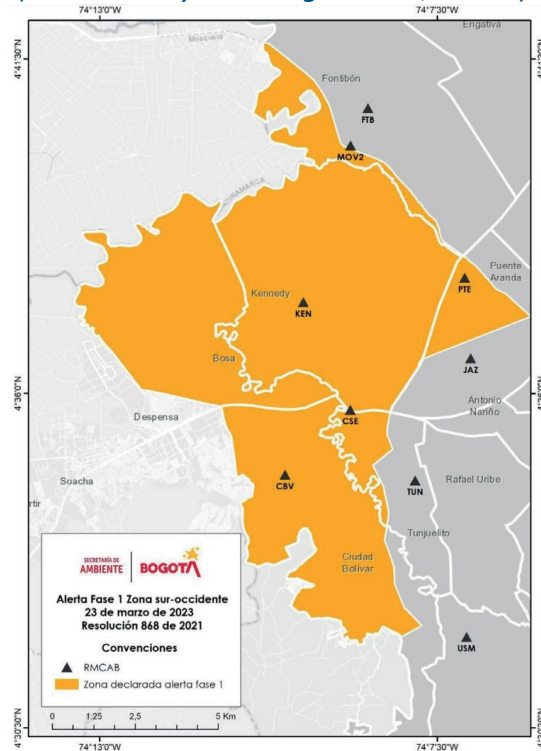
*Tabla 1-6. Atributos cualitativos e intervalos para el cálculo del Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud - IBOCA. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2023)*

Atributos del IBOCA				Intervalos de concentración media móvil (µg/m <sup>3</sup> )	
Intervalos de valores adimensionales	Color	Estado de Calidad del Aire	Nivel de riesgo	PM <sub>10</sub> (24 h)	PM <sub>2.5</sub> (24 h)
0 - 50	Verde	Favorable	Prevención	0-54	0-12
51 - 100	Amarillo	Moderada	Prevención	55-154	12.1-35.4
101 - 150	Naranja	Regular	Alerta Fase 1	155-254	35.5-55.4
151 - 200	Rojo	Mala	Alerta Fase 2	255-354	55.5-150.4
201 - 300	Morado	Peligrosa	Emergencia	355-424	150.5-250.4
301 - 500				425-604	250.5-500.4

Se destaca que la zona suroccidente de la ciudad presenta niveles altos de concentraciones motivo por el cual han sido declarados como zonas de Alerta en Fase 1, en concreto se trata de la zona indicada en la Figura 1-5 que comprende:

- La Avenida carrera 68, por calle 51 sur, Av. carrera 51 y calle 56a sur y Av. calle 71 sur desde Av. calle 17 hasta límite sur urbano,
- Limite sur urbano desde Avenida calle 71 sur hasta Río Bogotá,
- Río Bogotá desde límite sur urbano entre Soacha hasta Avenida calle 17,
- Avenida calle 17 desde límite occidental urbano con Mosquera hasta Avenida carrera 68,

Figura 1-5. Delimitación del área urbana de la ciudad de restricción por alerta. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2023b)



## 1.5.- OBJETIVO DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo, el análisis de las **relaciones entre la estratificación socioeconómica y la exposición del material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Bogotá**, y en esa ruta, establecer oportunidades de mejora hacia una metodología de estratificación socioeconómica que propenda por el mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar, desde el punto de vista de la equidad ambiental.

En primer lugar, es primordial identificar el grado de relaciones reportadas en la literatura, entre el material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) y las variables socioambientales que provienen de entornos urbanos. Para conseguirlo se limitará la revisión a una temporalidad determinada y se establecerá una metodología de revisión que permita reunir la mayor cantidad de información en cuanto a los alcances de las investigaciones realizadas en el marco conceptual de equidad ambiental.

En búsqueda del análisis bajo ese marco conceptual, una vez obtenidos los resultados de la revisión bibliográfica, se procederá con la caracterización del entorno urbano de Bogotá. Se buscarán variables sociales, económicas y ambientales para una posible corrección entre ellas. Las condiciones sociales y económicas de los bogotanos están definidas en función de su estratificación socioeconómica por disposición de la **Ley 142 de 1994**, por lo que, la estratificación representa, en principio, una fuente de información importante para los objetivos planteados. En cuanto a las variables ambientales, se analizará la concentración del material particulado monitoreado y validado por parte de las autoridades ambientales de la ciudad. Así de esta manera, se caracterizará el entorno urbano a partir de la **estratificación socioeconómica de Bogotá y las concentraciones anuales de material particulado**

---

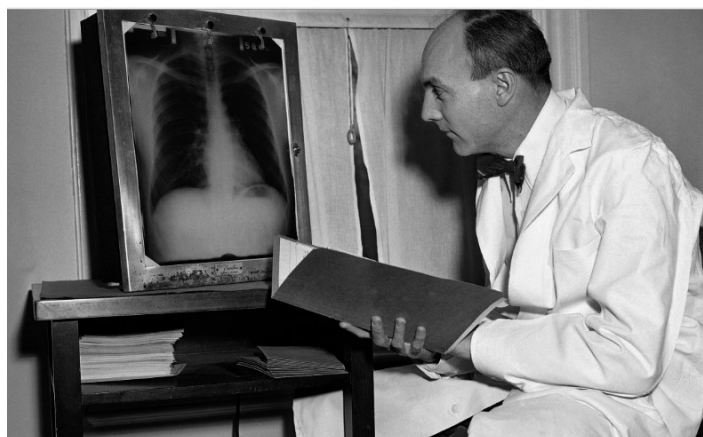
**( $PM_{10}/PM_{2.5}$ ) provenientes de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB).**

Para hacer posible el análisis planteado, se seleccionará un método de cálculo que permita **establecer correlaciones entre la estratificación socioeconómica y el nivel de exposición de material particulado ( $PM_{10}/PM_{2.5}$ ) en Bogotá con los datos oficiales disponibles de las administraciones locales, previa depuración de estos.**

Es así como se realizará un estudio de la interacción entre el material particulado presente en la ciudad de Bogotá y las condiciones sociales y económicas de sus habitantes, identificando oportunidades de mejora **que permitan a las entidades competentes, incluir variables ambientales, en concreto, la exposición del material particulado ( $PM_{10}/PM_{2.5}$ ), en la estratificación socioeconómica urbana que rige en Bogotá (NME).**

## 2.- REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA (RSL) DEL MATERIAL PARTICULADO EN ENTORNOS URBANOS

Los efectos del material particulado en los entornos urbanos han sido ampliamente estudiados bajo diferentes escenarios académicos, siendo el área de salud pública la más interesada en identificar las afecciones de las partículas en el bienestar de la población mundial. Mucho antes del Convenio de Ginebra de 1979 (CLRTAP), los estudios clínicos ya habían iniciado la identificación de las enfermedades por exposición a contaminantes atmosféricos. Uno de los estudios pioneros fue el realizado en Framingham en 1948, conocido como FHS (en inglés, *Framingham Heart Study*).



*Figura 2-1. Thomas Royle Dawber, director del estudio Framingham de 1949 a 1966. Fuente: (Balcells, 2016)*

La motivación principal del estudio **FHC** radicó en la necesidad de prevenir la aparición de las enfermedades cardiovasculares en la población en ausencia de métodos clínicos de diagnóstico. Los estudios liderados por el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos partieron de una muestra de 5,209 participantes entre los 28 y 65 años de edad, de los cuales el 55.1% correspondían a mujeres y el restante a hombres (Balcells, 2016). Desde entonces dicha generación, así como sus descendientes (*Cohorte Offspring*) han dado continuidad al estudio participando desde entonces con pruebas de laboratorio, exámenes médicos, pruebas cognitivas, imágenes cerebrales, etc.

Se reconoce el trabajo de Kloog, Coull, Koutrakis y Brauer en el estudio **FHS**; sus publicaciones contienen en su gran mayoría resultados de cohorte observacional, comparando poblaciones con y sin exposición al material particulado e identificando en cada caso los efectos en la aparición de enfermedades. En el apartado 2 se describe en mayor detalle sus contribuciones.

Entre tanto, son muchos los hallazgos identificados en salud pública. Por citar un ejemplo, un estudio hecho por las universidades de Texas, Minnesota y British Columbia, en compañía del Instituto de Salud de Massachusetts, tras trazar la distribución logarítmica de la mortalidad prematura mundial atribuida a la concentración de PM<sub>2.5</sub> en 2010, se demuestra que el extremo más alto de concentración de material particulado lo experimenta la población china en áreas con niveles superiores de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras en extremos más bajos de concentración (todos los países menos China), las muertes prematuras por PM<sub>2.5</sub>, las

experimenta el 92% de la población mundial con niveles inferiores a 16 µg/m<sup>3</sup> (Apte, Marshall, Cohen, & Brauer, 2015), ver Figura 2-2.

En el mismo estudio, la enfermedad isquémica del corazón en adultos (IHD) y el accidente cerebrovascular representa el 70% de la mortalidad atribuible a PM<sub>2.5</sub> comparado con otras enfermedades como la pulmonar obstructiva crónica (EPOC), el cáncer de pulmón en adultos, y las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (IRB) en los niños.

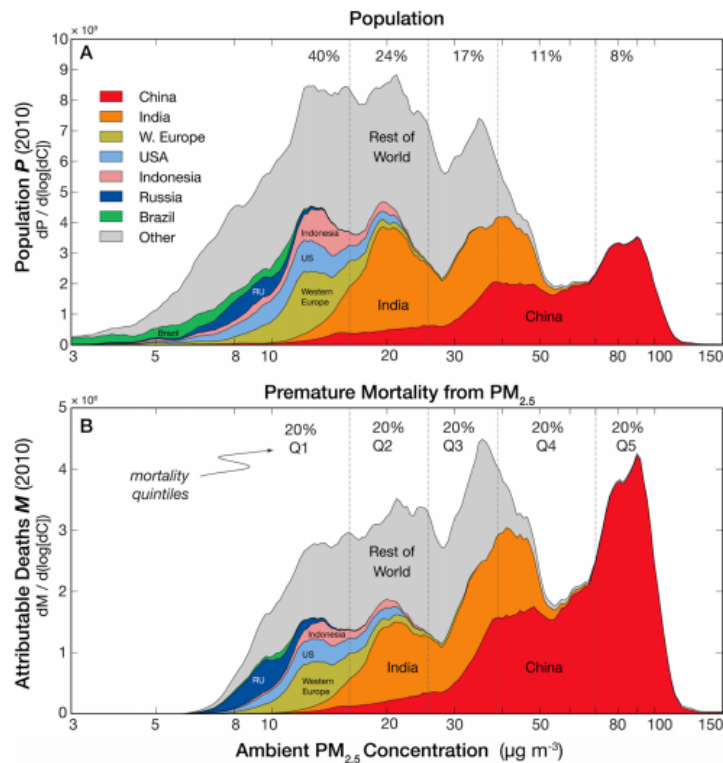


Figura 2-2. Distribución logarítmica de la mortalidad prematura mundial atribuido a la concentración de MP<sub>2.5</sub> en 2010. Fuente: (Apte et al., 2015)

No obstante, las variables en salud pública no han sido las únicas estudiadas para medir el impacto del material particulado en entornos urbanos, también lo han sido, en menor medida, las variables sociales, económicas y ambientales. Las publicaciones académicas consistentes en la correlación de dichas variables (empíricas, estadísticas, geoestadísticas, etc.) y la contaminación atmosférica, ascendieron notablemente al inicio del siglo XXI.

Desde entonces, los estudios en ambientes urbanos se interesan por encontrar relaciones entre contaminantes y variables como el clima, la renta, la etnia, la edad, la pobreza, el género, el estatus social, las creencias religiosas, la educación, el estado civil, la nacionalidad, la ubicación geográfica, la curva de Kuznets, el coeficiente de Gini, etc.

## 2.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO

Identificar las relaciones reportadas en la literatura, entre el material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) y las variables sociales, económicas y ambientales (socioambientales) en ambientes urbanos.

## 2.2.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO

La **Revisión Sistemática de la Literatura (RSL)** es el enfoque metodológico seleccionado para analizar simultáneamente varios estudios y alcanzar el objetivo del presente capítulo. Consiste en un método cualitativo de mapeo bibliográfico que a partir de redes o nodos conforman diferentes clústeres (Wimbadi & Djalante, 2020).

La RSL es complementada por las redes o clústeres obtenidos del software **VOSViewer®**, una herramienta empleada para el desarrollo de mapas bibliométricos desarrollado por Nees Jan van Eck y Ludo Waltman del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CWTS) de la Universidad de Leiden en Holanda (Van Eck & Waltman, 2010). Aunque no es de código abierto, su uso es libre. Fue diseñado básicamente para la conformación de nodos a partir de información procedente de las bases bibliométricas existentes. Los mapas resultan de la técnica de mapeo y de agrupación, usando medidas de similitud y coeficientes de correlación de Pearson.

La **RSL** emplea como “inputs” en **VOSViewer®**, archivos descargables de dos bases bibliográficas reconocidas como son: **Web of Science (WOS)** y **Scopus**, propiedad de **Clarivate Analytics** y **Elsevier**, respectivamente. Adicionalmente, acoge parte de los pasos formulados por R.W Wimbadi et al., para su revisión sistemática una vez consultadas varias experiencias semejantes (Wimbadi & Djalante, 2020).

En resumen, la metodología incluye los siguientes pasos:

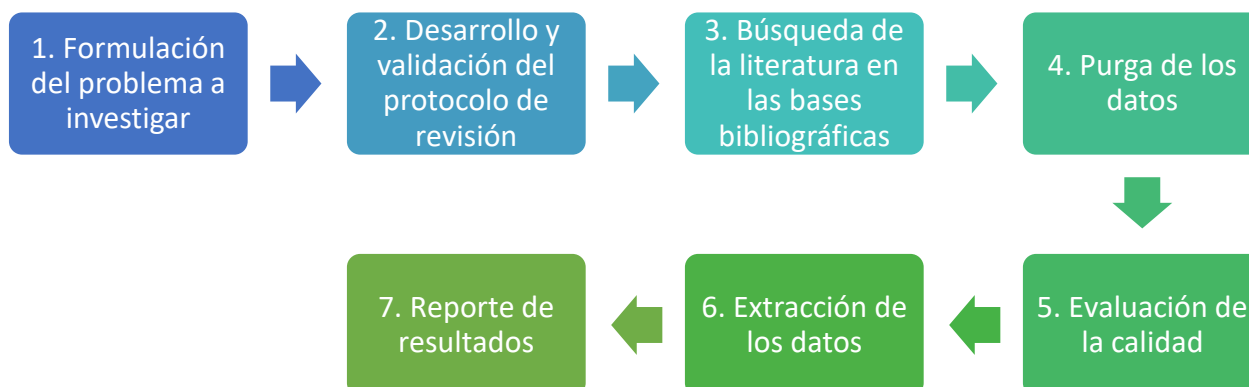


Figura 2-3. Pasos por seguir para la RSL. Fuente: (Wimbadi & Djalante, 2020)

### 2.2.1.- Selección de las bases bibliográficas

Teniendo en cuenta la robusta colección que contienen **Scopus** y **Web of Science** en ciencias sociales, ciencias ambientales, artes y humanidades, medicina y ciencias económicas, principalmente; se limita la recolección de los datos a esas dos bases dejando por fuera otras bases y plataformas de consulta con el propósito de favorecer la comparabilidad de los resultados. En la actualidad, las dos bases de datos cuentan con interfaces semejantes que permiten visualizar gran cantidad de información de manera gráfica en tiempo real, distinguiendo las publicaciones por: año, afiliación, país o autor.

### 2.2.2.- Recolección de los datos extraídos de las bases bibliográficas

Dado la constante evolución que ha tenido el control y el seguimiento de la concentración del material particulado a nivel mundial por parte de instituciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud desde principios del siglo XXI (WHO, 2006), se decide acotar la RSL a los hallazgos académicos realizados entre los años 2000 y 2020 y, no limitar la búsqueda a un sólo tamaño de partícula o diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) y profundizar en las correlaciones estudiadas entre las partículas y sus complejas interacciones socioambientales en entornos urbanos.

Con fechas de consulta de **Octubre 26** y **Octubre 28 de 2021**, se inicia la búsqueda a artículos científicos en **Scopus** y **Web of Science**, publicados entre 2000 y 2020, que contienen en sus títulos, las palabras **“particulate matter”** y **“socioeconomic”** y, que de manera opcional adicionan la expresión **“environmental inequality”**.

La Tabla 2-1 recoge las etapas de la presente **RSL**.

*Tabla 2-1. Aplicación de los pasos a seguir para la RSL. Fuente: (Wimbadi & Djalante, 2020)*

	Web of Science	Scopus
<b>Fecha de recolección de los datos</b>	Octubre 26, 2021	Octubre 28, 2021
<b>Paso 1 al 3. Búsqueda limitada de artículos entre 2000 y 2020 que contengan en sus títulos las tres temáticas seleccionadas para ambientes urbanos.</b>	<b>n=323</b>	<b>n=880</b>
<b>Paso 4 al 6. Diseño del código y extracción de datos.</b>	TS=("particulate matter") AND TS=("socioeconomic") OR TS("environmental inequality") Refinado por: TIPOS DE DOCUMENTOS: ( ARTICLE ) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC Período de tiempo=2000-2020	(TITLE-ABS-KEY(particulate matter) AND TITLE-ABS-KEY(socioeconomic)OR TITLE-ABS-KEY(environmental inequality)) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2010) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2009) OR

	Web of Science	Scopus
		LIMIT-TO ( PUBYEAR,2008) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2007) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2006) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2005) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2004) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2003) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2002) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2001) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2000) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE,"j" ) )
<b>Paso 7. Diseño de clústeres y reporte de resultados</b>	País y palabras claves	País y palabras claves

### 2.2.3.- Diseño de los clústeres

El mapeo bibliográfico consiste en la construcción de redes o clústeres conforme los datos obtenidos de las bases y el ingreso de parámetros en **VOSViewer**<sup>®</sup>.

Para complementar el análisis se generan dos clústeres: uno de co-autoría y otro de co-ocurrencia por palabra clave. Se escogen esas dos opciones debido a las unidades de análisis disponibles en el software.

En primer lugar, se ingresan los datos a **VOSViewer**<sup>®</sup> en los formatos de texto disponibles de cada base (*RIS, EndNote, Ref Works, .csv y .txt.*) obteniendo así archivos descargables por cada base bibliográfica.

Después se seleccionan de manera independiente algunos parámetros que solicita el software como son: el tipo de análisis, el método de conteo y los umbrales del mapeo indicando número mínimo y máximo de documentos para los clústeres de co-autoría y co-ocurrencia. La Figura 2-4 permite visualizar algunas de interfaces de **VOSViewer**<sup>®</sup> que se deben rellenar para el procesamiento de los datos.



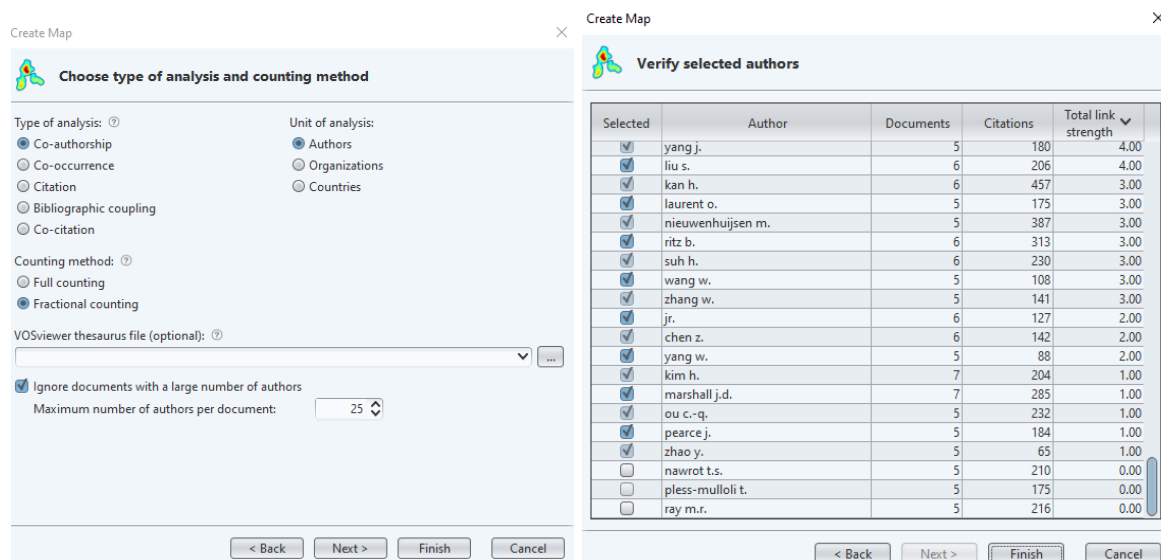


Figura 2-4. Interfaz del software empleado para el mapeo bibliográfico. Fuente: VOSViewer®

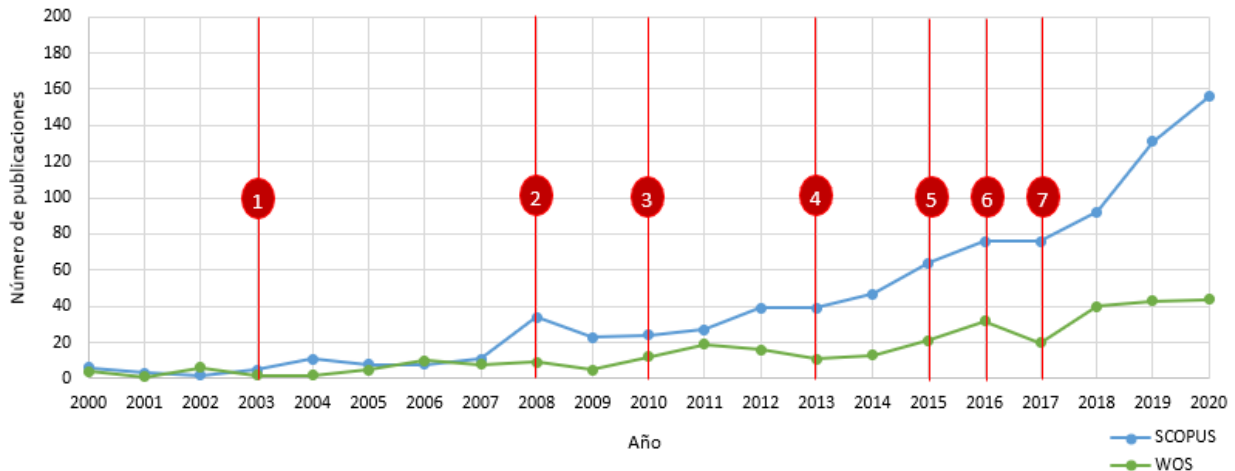
## 2.3.- RESULTADOS

### 2.3.1.- Análisis de los datos extraídos de las bases bibliográficas

- **Tendencia anual de las publicaciones y su impacto normativo**

La producción de artículos en el periodo de tiempo seleccionado es de **883** publicaciones de **Scopus** y de **323** de **Web of Science**, presentando un incremento del 33% en el caso de **Scopus** y del 27% en **Web of Science** comparado con las publicaciones del último año analizado.

Con la serie temporal de la Figura 2-5 se infiere el incremento de las publicaciones conforme la aparición de varias normas en materia de contaminación atmosférica, teniendo como punto de partida, la aprobación del Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia (CLRTAP) en 1981 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023) y posteriormente la Decisión 2003/507/CE del Consejo (Protocolo de Gotemburgo) (Parlamento Europeo, 2003). En 2008, con **43** publicaciones se dicta la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (Parlamento Europeo, 2008) y, posteriormente en el año 2010 con la Directiva 2010/75/UE, se previene y controla las emisiones provenientes de las fuentes industriales vinculadas con las actividades a las que se refiere en su Anexo I (Parlamento Europeo, 2010). Mientras se publicaban **204** publicaciones en total entre el 2013 y el 2017, la Comisión Europea comunica en 2013 la necesidad de ejecutar el Programa “**Aire Puro**” para Europa cada cinco años, empezando en 2020, teniendo como precedente la evolución prevista de los impactos sobre la salud pública a 2030 (Parlamento Europeo, 2013); se expide la Directiva (UE) 2016/2284, relativa a las metas de reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosférico incluyendo objetivos de reducción de las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) en cada uno de los estados miembros de la UE (Parlamento Europeo, 2016) y finalmente, la Decisión (UE) 2017/1757, que regula la Enmienda del Protocolo de 1999 del Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia para luchar contra la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico .



1. Decisión 2003/507/CE    3. Directiva 2010/75/UE    5. Directiva (UE) 2015/2193    7. Decisión (UE) 2017/1757  
2. Directiva 2008/50/CE    4. Programa "Aire Puro"    6. Directiva (UE) 2016/2284

*Figura 2-5. Tendencia anual de las publicaciones y su impacto normativo. Fuente: (Parlamento Europeo, 2003); (Parlamento Europeo, 2008); (Parlamento Europeo, 2010); (Parlamento Europeo, 2013); (Parlamento Europeo, 2016); (Parlamento Europeo, 2017)*

- **Trabajos durante los inicios del siglo XXI**

En la década comprendida entre los años 2000 y 2010, el mayor número de publicaciones proceden de **Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Alemania y Holanda**, con una fuerte tendencia por investigaciones en el área de la medicina, neurociencias, toxicología, y enfermería con un 57%, le siguen las ciencias ambientales en un 30%, y el restante en otras áreas. En cuanto a los investigadores, prevalecen las publicaciones de **Schwartz, Armstrong, Brunekreef, Dominici, Ezzati, Forastiere, Hoek, y Levy**, así como sus colaboradores y afiliaciones. En cuanto a las afiliaciones se destacan algunas universidades adscritas como la **Universidad Johns Hopkins, Universidad de Utrecht** y la **Escuela de Higiene y Medicine de Londres** (Elservier, 2021).

Por su parte, entre los años 2011 y 2020, **China** asciende en el número de publicaciones junto con **Estados Unidos, Reino Unido, Canadá y Alemania**. Además, se amplían las áreas de investigación a economía, energía, ingeniería, matemáticas, sin dejar de lado, las ciencias de la salud y las del medio ambiente con una participación de 84.4%, identificando un segundo segmento del 7,8% en áreas de bioquímica, genética y biología molecular. Sus mayores representantes son **Kloog, Coull, Koutrakis y Brauer**, quienes generalmente han trabajado en conjunto en numerables estudios de *cohorte observacional* que han surgido de la iniciativa *Framingham (FHS)*, comparando poblaciones con y sin exposición al material particulado y sus efectos en enfermedades cardiovasculares (Balcells, 2016). Finalmente, la mayoría de las afiliaciones corresponden a los centros de investigación: **Escuela Chan de Salud Pública de la Universidad de Harvard**, la **Academia China de las Ciencias**, la **Universidad de Washington**, la **Escuela de Medicina de Harvard** y la **Universidad de California**.

- **Distribución de las publicaciones por sector**

Los sectores que emplean las dos bases bibliográficas para clasificar la información son semejantes, aunque para efectos de este análisis se reagruparon en subsectores con el propósito de comparar los resultados tal y como se muestra en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Agrupación de las publicaciones por áreas del conocimiento. Fuente: (Elsevier, 2021); (Clarivate, 2021)

SCOPUS	WOS
Ciencias medioambientales; 36%	Ciencias Medioambientales, Estudios Medioambientales, Sostenibilidad, Ciencia y Tecnología; 30%.
Medicina; 31%	Ciencias Sociales Biomédica, Gerontología, Enfermedades Infecciosas, Sistemas Cardiovasculares, Medicina, Investigación Experimental, Oncología, Pediatría, Enfermedad Vascul ar Periférica; 2%
Bioquímica, Genética y Biología Molecular; 7%.	-
Ciencias Sociales; 4%	Sociología, Ciencias Políticas, Planificación Urbana Regional, Estudios Urbanos, Ciencias Sociales, Métodos Matemáticos en Ciencias Sociales; 14%.
Farmacología, Toxicología y farmacia; 4%.	Toxicología; 1%
Ciencias de la Tierra y Planetarias; 3%	Geografía, Ecología, Recursos Hídricos; 7%.
Economía, Econometría y Finanzas; 1%.	Ciencias Económicas; 8%
Profesiones sanitarias >1%	Salud Ocupacional, Nutrición Dietética, Medicina General Interna, Servicios de Política Sanitaria; 15%
Otros: Energía; 3% Ingeniería; 2% Ciencias Agrícolas y Biológicas; 1% Química, 1%. Inmunología y Microbiología; 1% Enfermería; 1% Empresa, Gestión y Contabilidad; 1% Neurociencia; 1% Artes y Humanidades ; >1% Ciencias de la Decisión; >1% Física y Astronomía; >1% Psicología; >1%	Otros: Energía y uso de combustibles; 1% Ingeniería Medioambiental, Ingeniería Industrial; 2% Ciencias Multidisciplinares, Comunicación, Geociencias Multidisciplinar; 3% Conservación de la Biodiversidad, Educación Investigación Educativa, Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Política Económica Agrícola, Agricultura Multidisciplinar, Agronomía, Biología, Silvicultura; 2% Geoquímica Geofísica; >1% Ciencias de la Salud Servicios; 1% Gestión Financiera Empresarial, Negocios; 1% Neurociencias; >1%

SCOPUS	WOS
<p>Ingeniería Química; &gt;1%</p> <p>Informática ;&gt;1%</p> <p>Odontología; &gt;1%</p> <p>Matemáticas; &gt;1%</p>	<p>Historia, Relaciones Internacionales, Antropología, Derecho, Estudios Culturales Ética, Estudios Étnicos, Estudios de la Familia, Reseñas Literarias; 3%</p> <p>Estudios de Desarrollo, Administración Pública, Investigación Operativa, Ciencias de la Gestión, Estudios de Área, Criminología Penal; 4%</p> <p>Geografía Física, Meteorología, Ciencias Atmosféricas; 1%.</p> <p>Psicología Clínica, Psicología Multidisciplinar, Psicología Social, Psicología Biológica, Psicología Experimental; 2%</p> <p>Teledetección, Informática, Informática Inteligencia Artificial, Arquitectura de Hardware, Aplicaciones; 2%</p> <p>Ciencias de la Imagen Tecnología Fotográfica; 1%</p> <p>Odontología Cirugía Oral Medicina; 1%</p> <p>Matemáticas Aplicadas, Matemáticas, Aplicaciones Interdisciplinarias, Estadística y Probabilidad; 1%</p>

En términos generales, es notoria la alta participación de las publicaciones pertenecientes al sector de las ciencias ambientales, manteniendo porcentajes  $\pm 35\%$  con respecto a sus totales (Figura 2-6).

En los sectores que integran el grupo denominado “otros” se mantiene un número similar de publicaciones en cada uno de los subsectores. Sin embargo, los sectores de las ciencias planetarias, los estudios de la tierra, la medicina y las ciencias de la salud, mantienen diferencias considerables de una base con respecto a la otra. **Scopus** ha publicado un poco más del 31% en esas disciplinas, mientras **Web of Science** no supera el 20%. Otro sector que también presenta diferencias, pero en esta ocasión, superando en proporción a **Scopus**, es el sector de las ciencias sociales, en la que **Web of Science** alcanza un 14% frente a un 4% de la otra red.

En las dos bases bibliográficas el sector de las ciencias ambientales domina los contenidos siendo **Scopus** una base más orientada a la recolección de publicaciones en el área de la medicina y **Web of Science** en el área de las ciencias sociales, sin desconocer, los demás sectores que se encuentran en desarrollo como las económicas, econométricas y finanzas.

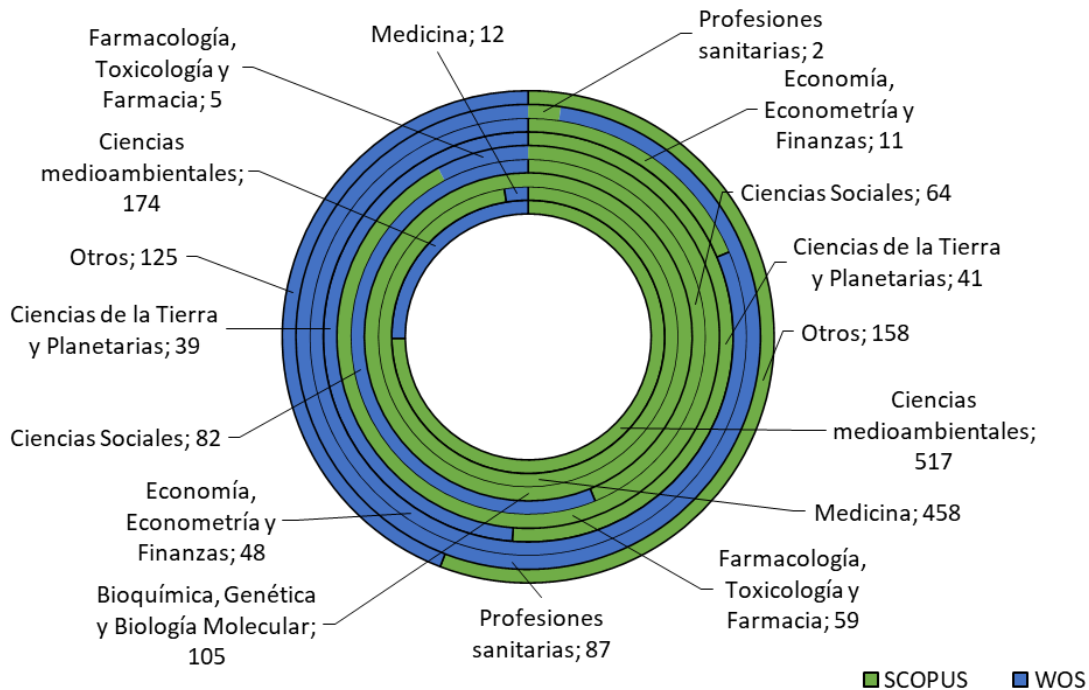


Figura 2-6. Distribución de las publicaciones por sectores en las bases bibliométricas: Fuente: Propia; (Elsevier, 2021); (Clarivate, 2021)

En la Tabla 2-3 se resumen los 20 primeros registros obtenidos en cada una de las bases bibliográficas con el mayor número de publicaciones incluyendo la respectiva posición en el Ranking de Shanghái de 2020 (Universities, 2020).

Estados Unidos y China destacan en la base de datos de Scopus con 13 y 5 instituciones en cada caso, le siguen en menor proporción, con menos de 3 instituciones, las pertenecientes a Canadá, Francia, Reino Unido, España, Israel y Países Bajos. La institución de los Estados Unidos con mayor participación es la Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard adscrita a la Universidad de Harvard con 82 publicaciones durante los años 2000 y 2020. Esa universidad, número uno en el Rankin de Shanghái en el 2020, ocupa el 24% frente al resto de publicaciones de Estados Unidos, que en total suman 335 artículos. En segundo lugar, se encuentran las instituciones Chinas con 132 publicaciones para el mismo periodo de tiempo. Domina con 59 publicaciones la Universidad de la Academia de Ciencias de China, incluidos los trabajos de una de sus instituciones, la Universidad de las Ciencias y, con menos de 26 publicaciones se encuentran en orden decreciente, el Ministerio de Educación de China, la Universidad de Pekín y la Universidad de Tsinghua.

Tabla 2-3. Distribución de las 20 primeras instituciones a afiliaciones reportadas por cada base bibliográfica. Fuente: (Elsevier, 2021); (Clarivate, 2021)

Institución	R. Shanghái 2020/Total Puntaje	N. Publicaciones	
		SCOPUS	WOS
Escuela de Salud Pública T.H. Chan de Harvard, EE.UU.	1 /100	82 (9.29%)	3 (0.93%)

Institución	R. Shanghai 2020/Total Puntaje	N. Publicaciones	
		SCOPUS	WOS
Liga de Universidades Europeas de Investigación Leru (amplió su número de miembros a 23 universidades)	-	-	19 (5.88%)
Universidad de Colorado Boulder, EE.UU.	27/34.2	5 (0.57%)	14 (4.33%)
Academia China de Ciencias, China	3/-	35 (3.96%)	3 (0.93%)
Universidad de Washington, EE. UU	13/46.6	34 (3.85%)	2 (0.62%)
Facultad de Medicina de Harvard, EE.UU.	1/100	33 (3.74%)	5 (1.55%)
Universidad de California, Berkeley, EE.UU.	4/65.8	33 (3.74%)	8 (2.48%)
Universidad de Carolina del Norte, EE.UU.		11 (3.41%)	-
Hospital Brigham y de Mujeres de la Facultad de Medicina de Harvard, EE.UU.	1/100	29 (3.28%)	1 (0.31%)
Ministerio de Educación de China	-	26 (2.94%)	-
Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), EE.UU.	-	26 (2.94%)	2 (0.62%)
Universidad de Pekín, China	2/32.4	25 (2.83%)	2 (0.62%)
Salud, Canadá	-	25 (2.83%)	-
Universidad de Utrecht, Países Bajos	1/31.6	23 (2.60%)	-
Instituto de Salud Global de Barcelona, España	-	23 (2.60%)	-
Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, EE.UU.	21-22/37.6	22 (2.49%)	4 (1.24%)
Universidad Tsinghua, China	1/38.1	22 (2.49%)	2 (0.62%)
Universidad de Michigan, Ann Arbor, EE.UU.	17/41.0	22 (2.49%)	-
Universidad Ben-Gurion del Negev, Israel	5.6/-	21 (2.38%)	1 (0.31%)
Universidad British Columbia, Canadá	2/35.4	20 (2.27%)	1 (0.31%)
División de Medicina, EE.UU. (pertenece al Hospital Brigham y de Mujeres)	-	20 (2.27%)	-
Universidad de Toronto, Canadá	1/40.9	20 (2.27%)	3 (0.93%)
Centro Nacional de Investigaciones Científicas – CNRS, Francia	-	6 (0.68%)	7(2.17%)
Sistema Universitario Estatal de California, EE.UU.	4-113/-	-	6 (1.86%)
Universidad Deakin, Australia	9-15/-	-	6 (1.86%)

Institución	R. Shanghái 2020/Total Puntaje	N. Publicaciones	
		SCOPUS	WOS
Instituto Nacional de Medio Ambiente y Riesgos Industriales – INERIS, Francia	-	-	6 (1.86%)
Universidad de Londres, Reino Unido	46-54/-	9 (1.02%)	6 (1.86%)
Universidad de Brown, EE.UU.	42-56/-	6 (0.68%)	5 (1.55%)
Instituto Nacional de Salud e Investigación Médica INSERM, Francia	-	6 (0.68%)	5 (1.55%)
Universidad Estatal de Carolina del Norte, EEUU	66-94/-	12 (1.36%)	5 (1.55%)
Universidad de Sao Paulo, Brasil	1/-	-	5 (1.55%)
Universidad Rovira i Virgili, España	14-18/-	-	5 (1.55%)
Universidad de Bremen, Alemania	31-15/-	-	5 (1.55%)
Universidad de Leeds, Reino Unido	9-15/-	-	5 (1.55%)

En relación con la base de **Web of Science**, nuevamente las afiliaciones de **Estados Unidos** lideran en los 20 primeros registros con 11 instituciones y cerca de 55 trabajos. El resto de las afiliaciones proceden de 16 instituciones adicionales que ocupan el 59% y son chinas, francesas, canadienses, británicas, brasileras, alemanas, australianas, israelitas, italianas y, por último, españolas. En esta base, las afiliaciones del Sistema Universitario de Colorado (Rankin Shanghái de 27/34.2), son las que han realizado mayor número de investigaciones entre el 2000 y el 2020 ocupando el 25% de la participación con respecto al total de publicaciones provenientes de ese país. En orden decreciente por afiliación, China y Francia reportan el mismo número de instituciones, entre ellas, la Academia de Ciencias de China, la Universidad de Pekín y la Universidad de Tsinghua, y por parte de Francia, el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS), el Instituto Nacional del Medio Ambiente y Riesgos Industriales (INERIS) y el Instituto Nacional de Salud e Investigaciones Médicas (INSERM).

En términos geográficos, la investigación del material particulado en entornos urbanos entre los años 2000 y 2020, para los primeros registros en cada una de las bases bibliográficas, ha sido del interés, en su gran mayoría, de países como Estados Unidos, China y Francia, sin embargo, es de destacar, la publicación de trabajos emergentes procedentes de instituciones suramericanas como la Universidad de Sao Pablo en Brasil, la Universidad Ben-Gurion del Negev en Israel y la Universidad de Deakin en Australia.

- **Distribución del número de publicaciones por autor**

Para identificar los investigadores que masivamente han publicado en las dos décadas con respecto al material particulado y sus interacciones con otras variables en entornos urbanos, una vez más se relacionan los 20 primeros récords en cada una de las bases bibliográficas consultadas. La Tabla 2-4 reúne las principales características comparables entregadas por las bases bibliográficas.

Tabla 2-4. Distribución de los 20 investigadores con el mayor número de publicaciones por base bibliográfica. Fuente: (Elsevier, 2021); (Clarivate, 2021)

Autor	Afilación actual	SCOPUS						WOS					
		NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citaciones	# <sup>c</sup>	NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citaciones	# <sup>c</sup>
Downey, L.	Sistema de la Universidad de Colorado, EE.UU.	-	-	-	-	-		12	3.7	20	35	965	1
Bolte, G.	Universidad de Bremen, Alemania	-	-	-	-	-		7	2.2	33	171	3,077	2
Morello-Frosch, R.	Universidad de California Berkeley, EE.UU.	5	1.0	47	161	7 030	3	7	2.2	45	151	4,309	3
Schwartz, J.	Escuela de Salud Pública T.H. Chan de Harvard, EE.UU.	23	2.3	167	1,061	95 130	1	-	-	-	-	-	
Brauer, M.	Universidad de Columbia Británica, Canadá	17	1.7	100	428	70 615	4	-	-	-	-	-	
Kloog, I.	Universidad Ben-Gurion, Israel	19	1.9	53	236	9 474	2	-	-	-	-	-	
Koutrakis, P.	Escuela de Salud Pública Harvard T.H. Chan, EE.UU.	19	1.9	85	518	26 157	3	-	-	-	-	-	
Coull, B.A.	Escuela de Salud Pública Harvard T.H. Chan, EE.UU.	16	1.6	79	554	24 227	5	-	-	-	-	-	
Zanobetti, A.	Escuela de Salud Pública Harvard T.H. Chan, EE.UU.	15	1.5	86	247	24 153	6	-	-	-	-	-	
Bell, M.L.	Universidad de Yale, EE.UU.	14	1.4	90	323	81 525	7	1	0.3	90	363	73,102	7
Burnett, R.T.	Oficina de Investigación y Ciencias de la Salud Medioambiental en Health Canadá	14	1.4	95	331	61 605	8	1	0.3	82	318	32,864	8
Jerrett, M.	Universidad de California Los Ángeles, EE.UU.	13	1.3	89	226	27 214	9	4	1.2	28	56	3,642	5
Caudeville, J.	INERIS, Francia	-	-	-	-	-		5	1.5	4	8	99	4



Autor	Afiliaçió actual	SCOPUS						WOS					
		NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citacions	# <sup>c</sup>	NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citacions	# <sup>c</sup>
Crouse, D.L.	Instituto de Efectos sobre la Salud, EE.UU.	12	1.2	35	89	4 989	10	-	-	-	-	-	
Ezzati, M.	Imperial College de Londres, Reino Unido	12	1.2	117	335	99 301	11	2	0.6	1	2	3,097	11
Hoek, G.	Universidad de Utrecht, Países Bajos	12	1.2	93	417	33 483	12	-	-	-	-	-	
Kaufman, J.D.	Universidad de Washington, EE.UU.	12	1.2	64	113	19 389	13	-	-	-	-	-	
Laden, F.	Escuela de Salud Pública T. H. Chan de Harvard, EE.UU.	12	1.2	68	278	28 234	14	1	0.3	65	382	25,183	14
Martin, R.V.	Universidad de Washington, EE.UU.	12	1.2	98	312	52 271	15	-	-	-	-	-	
Hystad, P.	Universidad Estatal de Oregón, EE.UU.	11	1.1	41	143	6 579	16	-	-	-	-	-	
Mittleman, M.A.	Escuela de Salud Pública T.H. Chan de Harvard, EE.UU.	11	1.1	100	487	40 568	17	-	-	-	-	-	
Duro, J.A.	Universidad Rovira i Virgili, España	-	-	-	-	-		4	1.2	17	37	571	6
Richardson E.A.	Salud Pública, Escocia	-	-	-	-	-		4	1.2	35	116	4,607	7
Schule S.A.	Universidad de Bremen, Alemania	-	-	-	-	-		4	1.2	11	15	369	8
Shortt N.K.	Universidad de Edimburgo, Escocia	-	-	-	-	-		4	1.2	22	63	1,185	9
Ard K.	Universidad Estatal de Ohio, EE.UU.	-	-	-	-	-		3	0.9	8	14	411	10
Ball K.	Universidad Deakin, Australia	-	-	-	-	-		3	0.9	67	252	10,690	11
Bonnard R.	INERIS, Francia	-	-	-	-	-		3	0.9	5	13	111	12

Autor	Afiliación actual	SCOPUS						WOS					
		NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citaciones	# <sup>c</sup>	NP <sup>a</sup>	%	H-Index	TP <sup>b</sup>	Citaciones	# <sup>c</sup>
Boyce J.K.	Sistema de la Universidad de Massachusetts, EE.UU.	-	-	-	-	-		3	0.9	20	77	1,580	13
Chao C.C.	Universidad Feng Chia, Taiwán	-	-	-	-	-		3	0.9	15	106	706	14
Crowder K	Universidad de Washington, EE.UU.	4	0.4	40	74	4 793	15	3	0,9	29	46	1,691	15
Cuny D	Universidad de Lille, Francia	-	-	-	-	-		3	0,9	14	40	539	16
Deguen S.	EHESP, Francia	4	0.4	23	75	1 702	17	3	0,9	20	27	1,085	17
Deram A.	Universidad de Lille, Francia	-	-	-	-	-		3	0,9	14	21	393	18
Ebisu K.	Sector Epidemiológico del Aire y el Clima, EE.UU.	5	1.0	27	48	3 647	19	3	0,9	27	53	2,754	19
Greenberg P.	Universidad de Creighton, EE.UU.	-	-	-	-	-		3	0,9	4	10	66	20
Brunekreef, B.	Universidad de Utrecht, Países Bajos	10	1.0	118	704	70 689	18	-	-	-	-	-	
Dominici, F.	Escuela de Salud Pública T.H. Chan de Harvard, EE.UU.	10	1.0	70	281	23 107	19	-	-	-	-	-	
Gold, D.R.	Escuela de Salud Pública T.H. Chan de Harvard, EE.UU.	10	1.0	92	410	27 802	20	-	-	-	-	-	1

a. número de publicaciones; b. total documentos publicados; # = orden con respecto a los 20 registros.

Los 20 investigadores que más publicaron en **Scopus** alcanzan las 292 publicaciones siendo **Schwartz, J.** del Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard, el de mayor número de trabajos con 23 publicaciones y un índice h-index de 167 8 (es el h-index más alto comparado con el resto). No obstante, **Ezzati**, de la Universidad Imperial de Londres, ha sido el más citado seguido de Schwartz. En cuanto al número total de trabajos reportados en la base, incluidos los artículos, el profesor de la Universidad de Utrecht, **Brunekreef**, se encuentra en el segundo lugar con 704 trabajos después de Schwartz, quien reporta 1,061.

En la **Web of Science** se totalizan 89 publicaciones en los 20 primeros autores registrados, de los cuales, el 13% proviene de las publicaciones hechas por el profesor **Downey L.**, del Sistema Universitario de Colorado. Pese a ello, el investigador con mayor h-index y mayor cantidad de citas es el profesor **Bell**, de la Universidad Yale y el profesor **Laden**, de la Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard, quien registra el mayor número de trabajos en general.

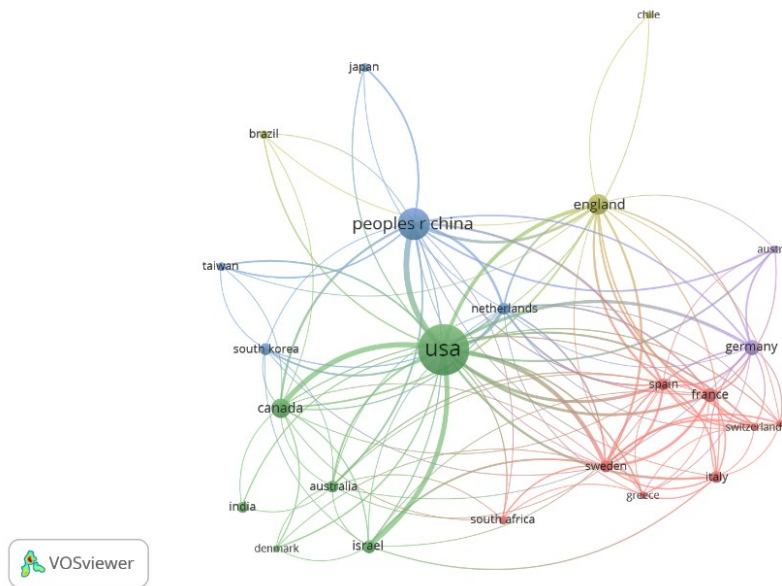
Destaca la duplicidad de algunos autores tanto en la base de **Scopus** como en la de **Web of Science**, es el caso de Bell, Burnett, Jerrett, Ezzati, Laden, Crowder, Deguen y Ebisu, quienes desde diferentes asociaciones han publicado en las dos bases de búsqueda. Adicionalmente, es de resaltar que el 14% de los registros obtenidos son ocupados por mujeres investigadoras, entre ellas, **Morello-Frosch**, profesora en el Departamento de Ciencias Ambientales, Políticas y Gestión de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de California, **Zanobetti**, de la Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard, **Bell**, profesora de Salud Ambiental de la Universidad de Yale, **Deguen**, de la Escuela de Estudios Avanzados en Salud Pública (EHESP) hasta 2021 y finalmente, **Dominici**, de la Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard.

### 2.3.2.- Mapeo bibliográfico

- **Clúster 1: Coautoría por país**

En este clúster se acotó la co-autoría a 25 países por documento tanto en la red de **Scopus** como en la de **Web of Science**, así como el número mínimo de documentos por país (5) y número mínimo de citas por país (0), en ambos casos. Sin, embargo, dada la diferencia en la data de una de las bases, se estimaron las relaciones entre los 32 países detectados en **Scopus** y 15 de **Web of Science**. No se eliminaron los países con registros individuales de las redes generadas. La Figura 2-7 muestra la red conformada para las dos bases. Los países de **Estados Unidos** y **China** conforman los nodos más densos en los dos diagramas generados.

i)



ii)

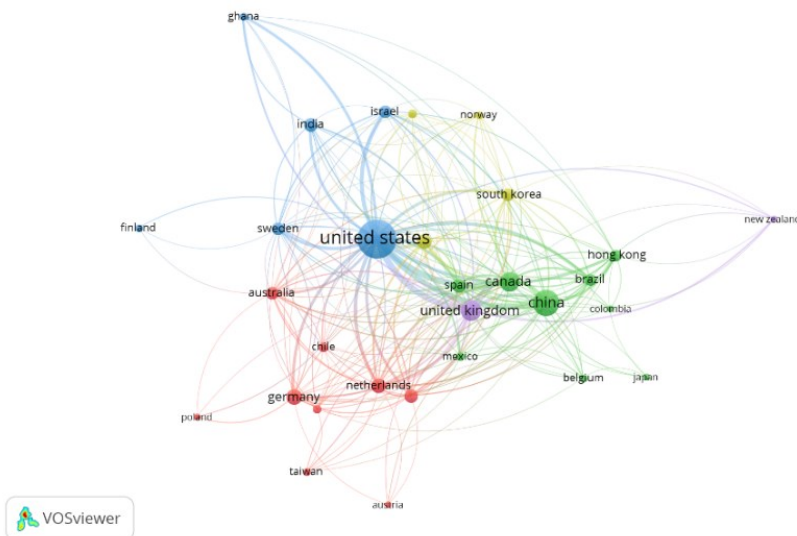


Figura 2-7. Clústeres bidimensionales generados de las bases bibliográficas: (i) Web of Science (WOS) y (ii) Scopus. Fuente: Propia

Aunque los países con mayor número de publicaciones en las dos bases bibliográficas provienen de Estados Unidos y China, el tercer país con mayor número de publicaciones ocupa el 10.5% del total de publicaciones de **Web of Science** siendo éste Francia, mientras en **Scopus** tan sólo representa el 3.6%. Es así como el tercer país con más publicaciones en la base de **Scopus** es el Reino Unido con el 10.3%.

Tabla 2-5. Concentración media anual de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en los países con el mayor número de publicaciones por base bibliográfica. Fuente: (Elsevier, 2021); (Clarivate, 2021); (WHO, 2022).

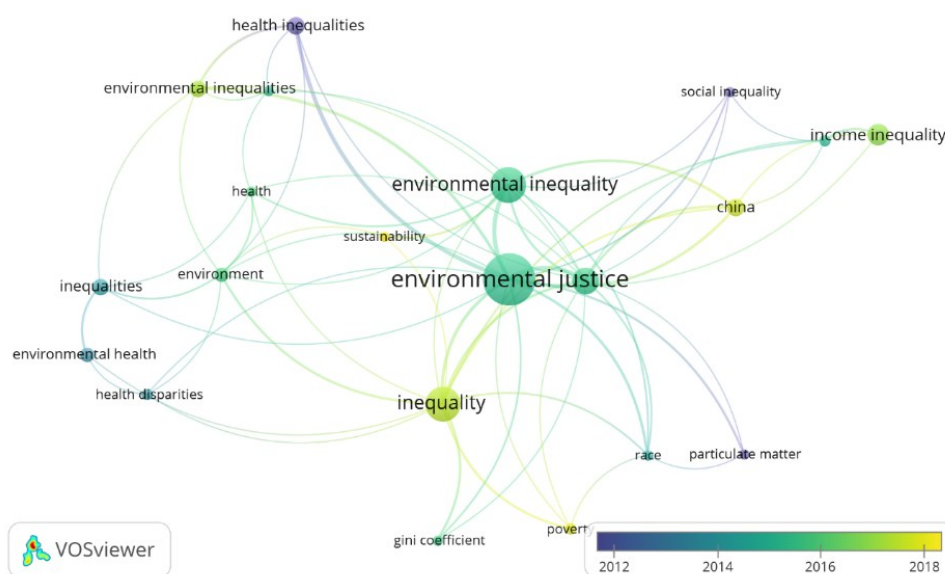
País	SCOPUS		Web of Science		WHO (2000-2020) media anual <sup>a</sup>	
	No. Publicaciones	%	No. Publicaciones	%	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Estados Unidos	421	47.7	116	35.9	8.8	19.9
China	178	20.2	36	11.1	43.1	72.6
Francia	32	3.6	34	10.5	11.6	19.2
Reino Unido	91	10.3	32	9.9	10.5	16.3
Canadá	80	9.1	14	4.3	6.6	13.7
Alemania	41	4.6	23	7.1	12.9	18.4
Australia	30	3.4	17	5.3	8.4	17.3
Italia	35	4.0	15	4.6	16.7	24.7
España	33	3.7	13	4.0	9.1	19.3
Países Bajos	35	4.0	11	3.4	12.6	20.1
India	32	3.6	5	1.5	40.4	98.3
Corea del Sur	30	3.4	4	1.2	23.3	43.8
Suecia	29	3.3	3	0.9	6.2	15.8
Israel	28	3.2	3	0.9	21.8	51.7
Hong Kong	27	3.1	-	-	-	-
Brasil	24	2.7	10	3.1	15.0	33.2
Bélgica	9	1.0	8	2.5	12.7	21.1
Austria	6	0.7	6	1.9	13.2	18.7
Chile	15	1.7	2	0.6	25.0	54.2
México	13	1.5	1	1.5	-	-
Suiza	13	1.5	4	0.3	23.1	49.3
Grecia	12	1.4	2	1.2	10.2	15.3
República checa	4	0.5	4	0.6	16.6	31.6
Malasia	4	0.5	4	1.2	18.9	23.9
Portugal	3	0.3	4	1.2	20.6	29.7

Para complementar el análisis, la Tabla 2-5 incorpora datos recogidos por la Organización Mundial de la Salud en versión Excel con fecha de actualización del 14 de abril de 2022, donde recopila la concentración media anual de material particulado de menos de 10 micras de diámetros (PM<sub>10</sub>) en µg/m<sup>3</sup> y de menos de 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>); así como, las concentraciones de NO<sub>2</sub> en las mismas unidades, en cada ciudad y/o localidad a nivel global (WHO, 2022). Los datos demuestran que no necesariamente el país que investiga en material particulado es el que más está expuesto al contaminante. Con excepción de China, quien está activamente publicando y mantiene la concentración media anual más alta de partículas finas o PM<sub>2.5</sub> con 43.1 µg/m<sup>3</sup> y a su vez, la segunda más alta de PM<sub>10</sub> con respecto al resto de países con 72.6 µg/m<sup>3</sup>, no son los Estados Unidos, Francia y Reino Unido, los que ocupan los primeros lugares de contaminación atmosférica por partículas. En cambio, países como la India Chile, Corea del Sur, México e Israel ocupan las concentraciones medias anuales más altas, después de China en el caso de las partículas finas y, antes de la India en el caso del PM<sub>10</sub>.

- **Clúster 2: Co-ocurrencia por palabras clave de los autores**

En este clúster se acotó la co-currencia de las palabras claves citadas por los autores fijando para las dos bases de datos, 5 ocurrencias mínimas por cada palabra clave. Con la base de **Web of Science**, 21 registros alcanzaron esa condición de un total de 721 palabras previas, mientras en **Scopus** de un total de 1,852 palabras claves, 90 alcanzaron dicha condición. En cada uno de los casos, **VOSviewer**<sup>®</sup> calcula la fuerza total de los enlaces de coincidencia con la otra palabra clave más próxima obteniendo así las redes de la Figura 2-8.

i)



ii)

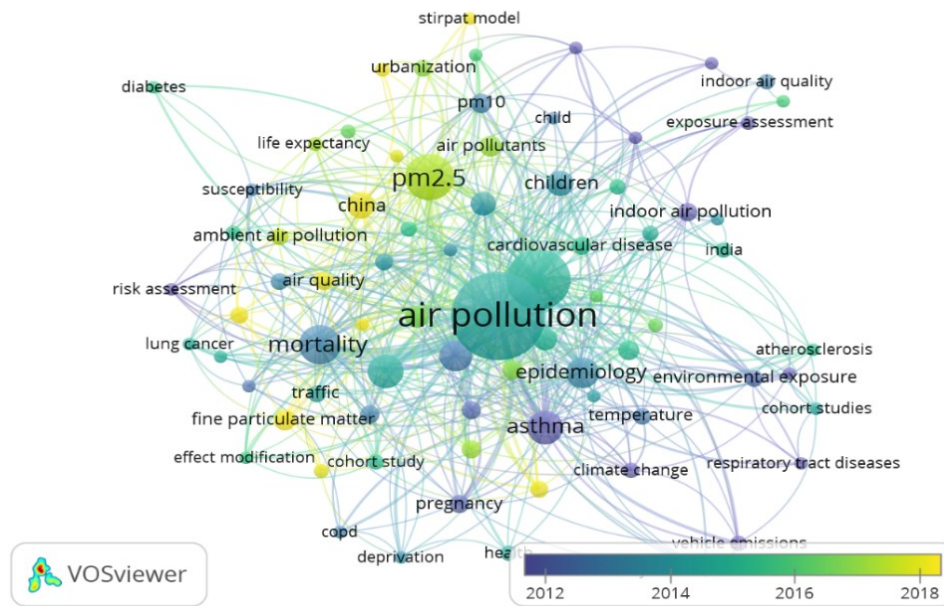


Figura 2-8. Clústeres bidimensionales generados por la coocurrencia de las palabras claves: (i) Web of Science (WOS) y (ii) Scopus. Fuente: Propia, VOSViewer®

En la base de datos de **Web of Science**, las cinco palabras clave con más coincidencias entre los años 2017 y 2018 son contaminación atmosférica, PM<sub>2.5</sub>, justicia ambiental, inequidad ambiental y mortalidad. En lo que respecta a **Scopus**, contaminación atmosférica, material particulado, PM<sub>2.5</sub>, mortalidad y asma comprenden las palabras claves con mayores coincidencias en las publicaciones desde el 2012 (Tabla 2-6).

Tabla 2-6. Registros con las más altas proximidades registradas por base bibliográfica. Fuente: Propia, VOSViewer®

Palabra Clave	SCOPUS (n=90)	Palabra Clave	WEB OF SCIENCE (n=21)
Mortalidad	82	Justicia medioambiental	57
Asma	64	Desigualdades sanitarias	14
Situación socioeconómica	52	China	15
Justicia medioambiental	50	Raza	12
Epidemiología	50	Curva de Kuznets medioambiental	8
Ozono	36	Coeficiente de Gini	6
Dióxido de nitrógeno	34	Pobreza	6
Niños	29	Sostenibilidad	5
Enfermedades cardiovasculares	27	Exposición	4
Embarazo	25	Disparidades sanitarias	4

Con el propósito de identificar las variables socioambientales que han sido estudiadas en torno al PM<sub>2.5</sub> y al PM<sub>10</sub> en entornos urbanos entre los años 2000 y 2020, la Tabla 2-6 excluye las expresiones relativas al material particulado y las semejantes entre sí, manteniendo las palabras claves que presentan mayor concurrencia en cada caso. Variables como la justicia ambiental y las variables socioeconómicas (Curva de Kuznets, Coeficiente Gini, Índice de pobreza, etc.), prevalen en las dos bases bibliográficas. Sin embargo, las variables sociales integran la mayor cantidad de investigaciones de la **Web of Science**, mientras las variables en salud pública son las más representativas en los estudios publicados por **Scopus**.

- **Fuerza total entre variables socioambientales**

A partir de los clústeres obtenidos en **VOSViewer**<sup>®</sup> se infiere en cifras, la fuerza total de las relaciones encontradas entre el material particulado y las variables socioambientales. Los resultados se recogen en la Tabla 2-7:

*Tabla 2-7. Relaciones cuantitativas entre material particulado y las variables socioambientales identificadas. Fuente: Propia, VOSViewer<sup>®</sup>*

SCOPUS			WEB OF SCIENCE		
Palabra Clave	Ocurrencia	Fuerza total del enlace	Palabra Clave	Ocurrencia	Fuerza total del enlace
Contaminación Atmosférica	262	325	Justicia medioambiental	54	57
Material particulado	122	178	Contaminación atmosférica	20	31
PM <sub>2.5</sub>	80	83	Inequidad	29	29
Mortalidad	51	82	Inequidad ambiental	31	26
Asma	41	64	China	11	14
Estatus socioeconómico	32	52	Desigualdades sanitarias	11	14
Justicia ambiental	39	50	Etnia	5	12
Epidemiología	33	50	Curva de Kuznets	6	8
Ozono	18	36	Salud	5	8
NO <sub>2</sub>	18	34	Desigualdades	10	8
Infancia	20	29	Coeficiente Gini	5	6
Partículas finas	22	28	Pobreza	6	6
Enfermedades cardiovasculares	14	27	Sanidad ambiental	8	5
Embarazo	12	25	Desigualdad Salarial	15	5



SCOPUS			WEB OF SCIENCE		
Palabra Clave	Ocurrencia	Fuerza total del enlace	Palabra Clave	Ocurrencia	Fuerza total del enlace
Bajo peso al nacer	13	24	Material particulado	5	5
Factores socioeconómicos	19	23	Desigualdad social	5	5
China	26	22	Sostenibilidad	5	5
PM <sub>10</sub>	16	22	Exposición	5	4
Salud pública	16	22	Desigualdades sanitarias	6	4
Peso de nacimiento	10	21	-	-	-
Nacimiento prematuro	12	21	-	-	-
Tráfico	11	21	-	-	-
Sanidad ambiental	12	19	-	-	-
Temperatura	11	19	-	-	-
Cambio climático	10	17	-	-	-
Estudios de impacto ambiental	11	15	-	-	-
Función pulmonar	11	15	-	-	-
Calidad del aire	14	14	-	-	-
Contaminación del aire	12	14	-	-	-
Medioambiente	16	13	-	-	-
Urbanismo	13	11	-	-	-
Contaminantes atmosféricos	17	9	-	-	-
Contaminación del aire -indoor-	11	7	-	-	-

### 2.3.3.- Principales hallazgos y limitaciones

El presente estudio recoge los principales hallazgos académicos realizados entre los años 2020 y 2010, profundizando en las correlaciones estudiadas entre el material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y sus complejas interacciones socioambientales en entornos urbanos a escala

mundial. Involucra los contenidos de más de **1200 publicaciones** provenientes de institutos de China, Estados Unidos, Francia, Reino Unido, y en menor medida, India, Chile, Corea del Sur, México e Israel, entre otros. Las temáticas en las que convergen los investigadores son: la justicia ambiental, las enfermedades respiratorias y el estatus socioeconómico (Rhee et al., 2019), (Devlin, 2022), (Laurent, Bard, Filleul, Segala, & Laurent, 2007). Dado el marco de referencia empleado, esta revisión es pionera en el análisis global de las interacciones socioambientales que se ven comprometidas por la exposición del PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub> en zonas urbanas.

Nueve de cada diez personas respiran aire contaminado, lo que ocasiona 7 millones de muertes prematuras, de las cuales 600 000 son niños y niñas procedentes de los países de bajos ingresos, los cuales representan, el 85% del total de la población mundial (United Nations, 2021). La mayoría de los estudios consideran estimaciones directas en salud pública y pretenden determinar correlaciones entre varios contaminantes del aire, no sólo partículas, así como los riesgos asociados en zonas geográficas específicas (Yitshak-sade et al., 2019), (Van Rossem et al., 2015), (Kioumourtzoglou et al., 2017). Sin embargo, al margen de las particularidades, la presente revisión no condiciona las relaciones existentes entre el material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y las variables socioambientales propias de las ciudades. Queda por hacer, revisiones en esta perspectiva, en zonas rurales y, con otros contaminantes sólidos (*Black Carbon*, *p,e*).

Es importante indicar algunas de las limitaciones que tiene esta revisión. En primer lugar, aunque las dos bases bibliográficas cuentan con metadatos y recursos semejantes, la densidad de los clústeres obtenidos es diferente. En segundo lugar, el tipo de análisis del software **VOSviewer**<sup>®</sup> (**co-autoría, co-ocurrencia y co-citación**) condiciona la construcción de las redes o clústeres basados en técnicas de normalización de fuerzas de asociaciones, técnicas de mapeo VOS y técnicas de agrupación. Se recomienda usar otras herramientas de mapeo como: **Pajek**<sup>®</sup>**Gephi**<sup>®</sup>, **Bibexcel**<sup>®</sup>, **CiteSpace**<sup>®</sup> y **Sci2**<sup>®</sup>. Finalmente, las publicaciones analizadas suponen la asociación causal de la exposición del material particulado con variables concretas y diversos métodos de cálculo, lo que sugiere hacer una interpretación cautelosa de los resultados.

## 2.4.- CONCLUSIONES

Más allá de las iniciativas internacionales que han evolucionado desde el Convenio de Ginebra con límites de concentración de material particulado más restrictivos, la producción científica en torno al PM<sub>10</sub> y al PM<sub>2.5</sub> durante los años 2000 y 2020 y en entornos urbanos, se ha incrementado notablemente desde el año 2008, año en que el Parlamento Europeo y el Consejo dicta la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. El mayor incremento en publicaciones se registró en el 2020 alcanzando valores del 33% con respecto al año inmediatamente anterior.

Los resultados obtenidos provienen de dos bases bibliográficas comparables y robustas: **Scopus** y **Web of Science**. En las dos bases, el sector de las ciencias ambientales domina los contenidos, siendo el área de la medicina especialidad de Scopus y las ciencias sociales de Web of Science. Sin embargo, se destaca en los dos casos, publicaciones emergentes en las áreas económicas, econométricas y finanzas.

Es notable la participación de investigadores pertenecientes a instituciones de Estados Unidos y China con cerca de 467 publicaciones en Scopus procedentes de la Escuela de Salud Pública

TH Chan de Harvard y la Universidad de la Academia de Ciencias de China. En Web of Science, las publicaciones de instituciones francesas también destacan junto con las norteamericanas y chinas, entre ellas, destacan, el Sistema Universitario de Colorado, la Universidad de Pekín y el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS). Aunque con menor cantidad de publicaciones son recientes publicaciones de otras zonas geográficas diferentes a Norte América. Europa y Asia, como lo son la Universidad de Sao Pablo en Brasil, la Universidad Ben-Gurion del Negev en Israel y la Universidad de Deakin en Australia.

Los profesores que se han interesado en mayor medida por investigar el material particulado en ambientes urbanos en las dos primeras décadas del siglo XXI, son Schwartz (Scopus) y Downey (Web of Science) y sus colaboradores. Entre ellos, Burnett, Jerrett, Ezzati, Laden, Crowder, Deguen, y Ebisu, quienes desde diferentes asociaciones han repercutido en las dos bases bibliográficas. Es de resaltar que el 14% de los investigadores son mujeres, entre ellas, Morello-Frosch, Berkeley, Zanobetti, Bell, Deguen y Dominici.

Debido a las unidades de análisis disponibles en el software **VOSviewer**<sup>®</sup>, se desarrollan dos clústeres para complementar el análisis. Con el primer clúster, se identificó al Reino Unido como el cuarto país con mayor número de publicaciones con cerca del 13% de participación en las bases, además, se demuestra que no necesariamente el país que investiga en material particulado es el más expuesto al contaminante. China está activamente publicando y mantiene la concentración media anual más alta de partículas finas con 43.1 µg/m<sup>3</sup> y, a su vez, la segunda más alta de PM<sub>10</sub> con 72.6 µg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, Estados Unidos, Francia y Reino Unido, también investigan permanente sin ocupar necesariamente los primeros lugares de contaminación atmosférica a nivel mundial. En cambio, países como India, Chile, Corea del Sur, México e Israel ocupan las concentraciones medias anuales más altas, después de China en el caso de las partículas finas y, antes de la India, en el caso del PM<sub>10</sub>. El segundo clúster muestra que las investigaciones en material particulado han llegado a relacionar el contaminante en ambientes urbanos con otras variables como la justicia ambiental, las enfermedades respiratorias (asma) y el estatus socioeconómico (Curva de Kuznets, Coeficiente Gini, Índice de pobreza).

Finalmente, se consigue cuantificar la fuerza total de los enlaces detectados por el software **VOSviewer**<sup>®</sup> con cada una de las variables identificadas en los clústeres, encontrando relaciones entre el material particulado y cerca de **33** variables socioambientales en Scopus y **19** en Web of Science. Los enlaces que presentaron mayores fuerzas en cada base bibliográfica, omitiendo los términos de la búsqueda, fueron **Contaminación Atmosférica** y **Mortalidad** en **Scopus** con valores de **325** y **82**. En lo que respecta a **Web of Science**, nuevamente **Contaminación Atmosférica** mantuvo uno de los valores más altos (**31**) junto con **China (14)**.

### 3.- ANÁLISIS DEL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) EN EL ENTORNO ESTRATIFICADO DE BOGOTÁ

En la ciudad de Bogotá, las concentraciones del material particulado en los dos diámetros aerodinámicos PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, son monitoreados por la **Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB)** desde 1997 bajo la administración de la Secretaría de Ambiente, y, cumplen con los estándares normativos del Código Federal de Regulaciones (CFR) aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la **Resolución 2254 de 2017** del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), así como el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire de la misma entidad, antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En virtud de la información disponible en la **Red de Monitoreo del Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)**, se identifica el grado de exposición del material particulado en las 19 localidades urbanas de Bogotá, las cuales se encuentran sectorizadas por unidades territoriales (manzanas, predios, etc.) y por seis estratos socioeconómicos conforme las disposiciones de la Ley 142 de 1994: **1) bajo-bajo, 2) bajo, 3) medio-bajo, 4) medio, 5) medio alto, y 6) alto**. Al respecto, el nivel 1 corresponde con la escala socioeconómica más baja y el 6 a la más alta.

El presente capítulo analiza el entorno urbano de Bogotá en función de la exposición a los contaminantes criterio PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> durante los últimos años y a la clasificación a la que está sometida por estratos socioeconómicos.

#### 3.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO

**Analizar la disponibilidad de las concentraciones anuales de material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) provenientes de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) y, la metodología que actualmente rige la estratificación socioeconómica en Bogotá.**

#### 3.2.- RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ (RMCAB)

La red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá es administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), entidad del gobierno local encargada de ejercer control y monitoreo ambiental. Los primeros informes anuales reportados por la entidad en la interfaz de la Figura 3-1 corresponden a los resultados de 1999. Sin embargo, desde ese año se han incorporado nuevas estaciones alcanzando una red compuesta de **19 estaciones** para el monitoreo horario de las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), y los gases contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>), así como de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

La plataforma disponible de la **RMCAB** para la consulta en línea de los contaminantes monitoreados contiene: un visor o mapa interactivo con los datos almacenados por cada estación, los datos tabulados y las gráficas temporales generadas.

The screenshot shows a web interface for generating reports. On the left, there are three dropdown menus for 'Propósito' (Todos), 'Seleccione Zona' (Todos), and 'Propietario' (Todos). Below them is a checkbox for 'Mostrar estaciones activas' which is checked, followed by a list of station names with checkboxes. In the center, there are sections for 'Seleccione vista del reporte:' with buttons for 'tabla', 'Gráfica', and 'Excel'; 'Periódico:' with buttons for 'Diario', 'Ayer', 'Semanal', 'Mensual', 'Anual', and 'Personalizado'; and date/time pickers for 'De la fecha', 'De la hora', 'A fecha', and 'A hora'. There are also dropdowns for 'Tipo' (Promedio), 'De la base de tiempo' (1 Minuto), and 'A base de tiempo' (1 Minuto). At the bottom are 'Cancelar' and 'Mostrar' buttons. On the right, there is a 3D rendering of an air quality monitoring station.

Figura 3-1. Interfaz de la RMCAB. Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2023)

Dentro de los informes publicados, destacan los archivos descargables en formato .pdf con las concentraciones anuales desde el año 1999, las concentraciones mensuales desde el año 2016, los informes del “Día sin carro”, los informes con los incendios forestales, el Estado Actual de la RMCAB y el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB). La visualización de los informes mensuales se muestra en la Figura 3-2:

The screenshot shows the website for the 'Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB'. The header includes the RMCAB logo, a landscape image, and logos for 'ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.' and 'Secretaría de Ambiente'. The navigation menu has 'Mapas interactivos', 'Tablas Dinamicas', 'Reportes', 'Información', 'Login', and 'English'. Below the menu, there is a 'Noticias' section with a message about data being offline due to maintenance. A list of annual reports is displayed, each with a circular icon and a link: 'Informe Anual de 2021 RMCAB (310722 V1)', 'Informe Anual de 2020 RMCAB (120721 V2)', 'Informe Anual de 2019 RMCAB', 'Informe Anual de 2018 RMCAB', 'Informe Anual de 2017 RMCAB', 'Informe Anual de 2016 RMCAB', 'Informe Anual de 2015 RMCAB', 'Informe Anual de 2014 RMCAB', 'Informe Anual de 2013 RMCAB', 'Informe Anual de 2012 RMCAB', 'Informe Anual de 2011 RMCAB', 'Informe Anual de 2010 RMCAB', 'Informe Anual de 2009 RMCAB', and 'Informe Anual de 2008 RMCAB'.

Figura 3-2. Visualización de la interfaz con los informes anuales de la RMCAB. Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2023)

El procedimiento de recepción y transmisión de los datos se hace a través de los *datalogger*, equipos que transmiten al servidor central, los datos recogidos cada hora por los sensores meteorológicos de cada estación.

Las mediciones de la **RM CAB** siguen los procedimientos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), en concreto, el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), aprobados por la EPA. La atenuación por radiación Beta es el principio de medición empleado para medir el material particulado, atendiendo el apéndice Parte 50 del CFR y los métodos equivalentes EPA (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023b):

**PM<sub>10</sub>: EQPM-0798-122 / EQPM-0404-151**

**PM<sub>2.5</sub>: EQPM-0308-170 / EQPM-1013-211**

Adicionalmente, el análisis posterior que hace la entidad con los datos recogidos por la red cuenta con procesos de apoyo establecidos internamente para su Laboratorio Ambiental, tales como: Operación de la red de monitoreo y calidad del aire de Bogotá (PA10-PR02), Monitoreo y revisión rutinaria de la operación analizadores, monitores de partículas y sensores meteorológicos (PA10-PR06) y, Aseguramiento de calidad de los resultados emitidos por el laboratorio ambiental SDA (PA10-PR03).

La caracterización de las estaciones de la red se describe en Tabla 3-1 y su ubicación se visualiza en la Figura 1-2 del Capítulo 1 y en el **Anexo B**.

La ubicación puntal se acoge a las disposiciones normativas en cuanto a la distancia a las fuentes de emisión, las interferencias y las restricciones conforme la **Resolución 2254 de 2017** (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017). Por otro lado, los resultados reportados cumplen con el porcentaje de representatividad temporal del 75% definido por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el **Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire** (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023b).

Además, en Colombia el **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)**, recopila la información reportada por cada una de las autoridades ambientales locales y las corporaciones autónomas regionales para alimentar el **Sistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE)**, atendiendo las disposiciones de la **Resolución 651 de 2010** (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010b). El **Anexo C** incluye los modelos de hoja metodológica que emplea el IGAC para registrar la concentración promedio anual de material particulado menos a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) y a 10 micras (PM<sub>10</sub>) por estación de monitoreo (IDEAM, 2021) (IDEAM, 2011).

Tabla 3-1. Caracterización de la RMCAB. Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023b)

Estación	Características										Contaminantes							Variables meteorológicas						
	Sigla	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)	Localidad	Escala	Tipo de zona	Tipo de estación	Dirección	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	Black Carbon	V. Viento	D. Viento	Temperatura	Precipitación	R. Solar	H. Relativa	Presión Atm.
Bolivia	BOL	4°44'9.12"N	74°7'33.18"W	2574	0	Engativá	Vecindario	Suburbana	De fondo	Avenida Calle 80 # 121-98	X	X	X	X	X	X					X			
Carvajal-Sevillana	CSE	4°35'44.22"N	74°8'54.90"W	2563	3	Kennedy	Vecindario	Urbana	Tráfico Industrial	Autopista Sur # 63-40	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
Centro de Alto Rendimiento	CDAR	4°39'30.48"N	74°5'2.28"W	2577	0	Barrios Unidos	Vecindario	Urbana	De fondo	Calle 63 # 59A-06	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ciudad Bolívar	CBV	4°34'40.1"N	74°09'58.6"W	2661	0	Ciudad Bolívar	Vecindario	Urbana	Residencial	Calle 70 Sur # 56-11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Colina	COL	4°44'14.1"N	74°04'10.0"W	2555	0	Suba	Vecindario	Urbana	Residencial	Avenida Boyacá No 142ª-55	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Fontibón	FTB	4°40'41.67"N	74°8'37.75"W	2551	11	Fontibón	Vecindario	Urbana	De tráfico	Carrera 104 # 20 C-31	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Guaymaral	GYR	4°47'1.52"N	74°2'39.06"W	2580	0	Suba	Vecindario	Suburbana	De fondo	Autopista Norte # 205-59	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Jazmín	JAZ	4°36'30.6"N	74°06'53.8"W	2559	0	Puente Aranda	Vecindario	Urbana	Residencial	Calle 1 G # 41 A 39	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Kennedy	KEN	4°37'30.18"N	74°9'40.80"W	2580	3	Kennedy	Vecindario	Urbana	De tráfico	Carrera 80 # 40-55 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Las Ferias	LFER	4°41'26.52"N	74°4'56.94"W	2552	0	Engativá	Vecindario	Urbana	De tráfico	Avenida Calle 80 # 69Q-50	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X
MinAmbiente	MAM	4°37'31.75"N	74°4'1.13"W	2621	15	Santa Fe	Vecindario	Urbana	De tráfico	Calle 37 # 8-40	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			
Móvil Fontibón	MOV2	4°40'03.7"N	74°08'55.9"W		0	Fontibón	Vecindario	Urbana	Tráfico Industrial	Carrera. 98 #16 B 50	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Móvil 7ma	MOV	4°38'32.75"N	74°5'2.28"W	2583	0	Chapinero	Vecindario	Urbana	De tráfico	Carrera 7 con calle 60	X	X		X	X			X	X	X	X	X	X	X
Puente Aranda	PTE	4°37'54.36"N	74°7'2.94"W	2590	10	Puente Aranda	Vecindario	Urbana	Industrial	Calle 10 # 65-28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
San Cristóbal	SCR	4°34'21.19"N	74°5'1.73"W	2688	0	San Cristóbal	Vecindario	Urbana	De fondo	Carrera 2 Este # 12-78 sur	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Suba	SUB	4°45'40.49"N	74° 5'36.46"W	2571	6	Suba	Vecindario	Suburbana	De fondo	Carrera 111 # 159A-61	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
Tunal	TUN	4°34'34.41"N	74°7'51.44"W	2589	0	Tunjuelito	Vecindario	Urbana	De fondo	Carrera 24 # 49-86 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Usaquén	USQ	4°42'37.26"N	74°1'49.50"W	2570	10	Usaquén	Vecindario	Urbana	De fondo	Carrera 7B Bis # 132-11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Usme	USM	4°31'55.4"N	74°07'01.7"W	2593	0	Usme	Vecindario	Urbana	Residencial	Carrera 11 # 65 D 50 Sur	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X

### 3.3.- ANÁLISIS DEL PDDAB 2010 -2020 A PARTIR DE LA RMCAB

Para determinar la efectividad de las medidas del **Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, PDDAB 2010 – 2020**, descrito en el **Capítulo 1**, Agudelo *et al.*, diseñaron indicadores de eficiencia (Agudelo *et al.*, 2021). Durante el proceso fue necesaria la consulta de expertos para avalar los indicadores diseñados. Según el estudio, las metas para fuentes fijas no se cumplieron en cerca del 50%, situación contraria se evidenció con las fuentes móviles, que sí cumplieron sus metas en un 67%. Las medidas del plan que no cumplieron los objetivos fijados son las medidas **2 y 5**. En concreto, no fue posible alcanzar la reducción del carbón y su conversión a tecnologías de gas natural en el 100% de las industrias, tan sólo se alcanzó el **87.3%** en 2018. En cuanto al análisis de la composición tecnológica de los vehículos de transporte (SITP), el estudio evidenció que la flota EURO V con filtros de partículas (DPF) y EURO VI con GNV, correspondía al **61%** de la flota vehicular de Bogotá en 2019.

Respecto a la reducción de las emisiones de material particulado, la Figura 3-3 ilustra la evolución de la concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> durante los años 2013 y 2019. En la figura se visualizan altas concentraciones reportadas por las estaciones de **Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda**, superando el límite máximo permisible de la normativa aplicable durante ese periodo (50 µg/m<sup>3</sup>), ahora derogada por la **Resolución 2254/2017**.

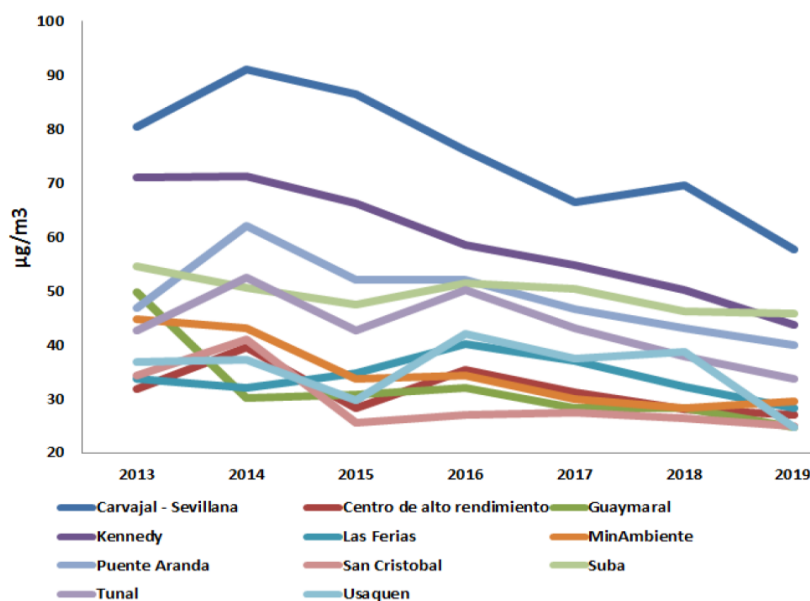


Figura 3-3. Promedio anual de concentración de PM<sub>10</sub> por estación de monitoreo. Fuente: (Agudelo *et al.*, 2021)

La meta del **PDDAB** para el PM<sub>10</sub> consistía en la reducción del **80%** de las emisiones del contaminante en 2020, no obstante, al margen de la baja reducción, se alcanzaron valores superiores a la norma nacional y más aún a los límites recomendados por la OMS, definida para ese año en 20 µg/m<sup>3</sup> (ver Tabla 1-1).

En cuanto a la evolución de la concentración promedio anual de PM<sub>2.5</sub> durante los años 2016 y 2017, la Figura 3-4, indica la reducción del contaminante en las estaciones de la **RMCAB**, excepto en **San Cristóbal**. Al margen de lo anterior, entre 2018 y 2019, el aumento del contaminante con concentraciones superiores a 25 µg/m<sup>3</sup>, se observa en las estaciones **Carvajal -Sevillana** y **Kennedy**, en 23 y 9%, respectivamente.



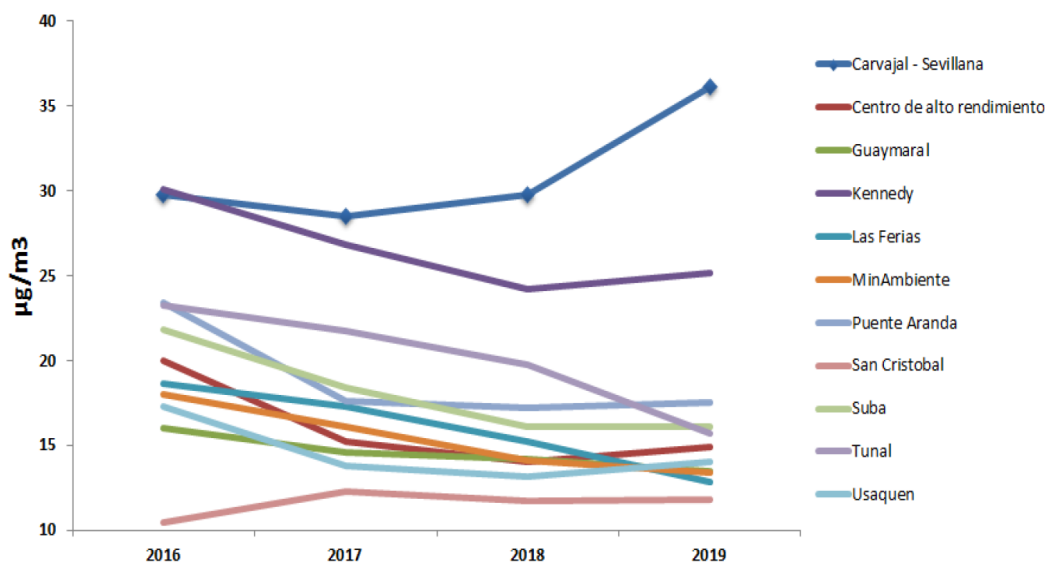


Figura 3-4. Promedio anual de concentración de PM<sub>2.5</sub> por estación de monitoreo. Fuente: (Agudelo et al., 2021)

Aunque la reducción de las partículas finas no estaba definida concretamente como meta en el **PDDAB**, sí estaba considerada la ampliación de la red para monitorear PM<sub>2.5</sub> en más zonas de la ciudad. En todo caso, las concentraciones promedio anuales en todas las estaciones analizadas, superaron el límite máximo permisible que recomendaba la OMS para ese periodo de tiempo, correspondiente a 10 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.4.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO

Con el propósito de analizar la evolución del material particulado en la ciudad de Bogotá, se diseñó un método de análisis geoespacial propio teniendo en cuenta las concentraciones del material particulado reportadas por la **RMCAB** y verificadas por el **IDEAM** como organismo responsable en el **SISAIRE**.

#### 3.4.1.- Tipo de estudio

Para analizar la evolución de las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en el entorno urbano de la ciudad de Bogotá, hemos elaborado series temporales por estación meteorológica y complementado el análisis con métodos de interpolación geoestadística.

Uno de los principales métodos geoestadísticos que ofrece una aproximación a valores de un variable en zonas no muestreadas utilizando la información de la propia muestra, es el método **Kriging**. Se trata de un método predictivo de interpolación que emplea algoritmos de regresión por mínimos cuadrados. Consiste en predecir un valor ( $u_0$ ) a partir de  $n$  observaciones espaciales  $Z(u_1), \dots, Z(u_n)$  con  $u_0 \notin \{u_1, \dots, u_n\}$ , con la predicción de valor  $Z(u_0)$  definida como (Masero B., 2020):

$$Z^*(u_0) - m(u_0) = \sum_{\alpha=1}^{n(u_0)} \lambda_{\alpha}(u_0)[Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (3-1)$$

Donde cada variable corresponde a:

$\lambda_{\alpha}$ : peso de cada componente del sumatorio

$n(u_0)$ : número de observaciones utilizadas para predecir  $u_0$

$m(u_0)$ : valores esperados de  $Z(u_0)$

$m(u_\alpha)$ : valores esperados de  $Z(u_\alpha)$

Es característico del método **Kriging** que la predicción de una localización, es decir  $u_0$ , sólo use datos de las localizaciones vecinas,  $u_\alpha$ . Eso significa que se reduce al máximo la varianza de error definida como:

$$\sigma_E^2(u) = VAR [Z^*(u) - Z(u)] \quad (3-2)$$

Donde,

$\sigma_E^2(u)$ : valor insesgado, es decir,  $E[Z^*(u) - Z(u)] = 0$

$Z^*(u)$ : valor estimado de la localización  $u$

$Z(u)$ : suma de una componente residual  $R(u)$  y una componente determinista  $m(u)$ , es decir,  $Z(u) = R(u) + m(u)$ .

A su vez, la componente residual es considerada una variable aleatoria estacionaria de media cero con una covarianza definida como:

$$C_R(h) = E\{R(u) \times R(u + h)\} \quad (3-3)$$

Siendo,

$E\{R(u)\} = 0$  y,

$Cov\{R(u), R(u + h)\}$

En conclusión, el valor esperado de una variable aleatoria  $Z$  en la localización  $u$  se obtiene cuando  $E\{Z(u)\} = m(u)$  o al determinar el valor de la tendencia en  $u$ .

Existen varias modalidades de **Kriging**, tanto lineales como no lineales. En la primera clasificación se encuentra el método simple, ordinario y universal y, en el segundo caso, están los métodos log\_normal, multi-Gaussiano, de rango, indicatriz y disyuntivo.

Para los fines del estudio, se ha optado por emplear el método de **Kriging** ordinario debido a que no se tiene constancia del valor de  $Z(u_0)$  dadas las observaciones  $Z\{u_1, \dots, u_n\}$ . Esto significa que se espera que el valor obtenido de  $Z(u_0)$  use la tendencia o media que presenten las observaciones locales más vecinas. Adicionalmente, estima la media del atributo de manera local.

Este tipo de **kriging** calcula la estacionariedad a partir de la media vecinal local  $W(u)$ , así:

$$W(u) = m_{OK}^* = \sum_{\alpha=1}^{n(u_0)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u_0) Z(u_{\alpha}) \quad (3-4)$$

De la ecuación (3-4) se predice  $u_0$  con  $\sum_{\alpha=1}^{n(u_0)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u_0) = 1$  y  $n(u_0)$ .

Las ecuaciones lineales que conforman el sistema  $n(u_0) + 1$ , son las siguientes:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

Así, la varianza del **Kriging** ordinario está dada por:

$$\sigma_E^2(u_0) = C(0) - \sum_{\alpha=1}^{n(u_0)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u_0) C(u_{\alpha} - u_0) - L_{OK}(u_0) \quad (3-6)$$

El valor de  $L_{OK}(u_0)$  corresponde al parámetro de Lagrange necesario para determinar los pesos  $\lambda_{\alpha}^{OK}(u_0)$  mientras la covarianza residual o la covarianza de Z obedece a:

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u_0)} \lambda_{\beta}^{OK}(u_0) C(u_{\alpha} - u_{\beta}) + L_{OK}(u_0) = C(u_{\alpha} - u_{\beta}) \quad \alpha, \beta = 1, \dots, n(u_0) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u_0)} \lambda_{\beta}^{OK}(u_0) = 1 \end{cases} \quad (3-7)$$

### 3.4.2.- Muestra

Para definir la muestra se solicitó a la **Coordinación del Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo de la Subdirección de Estudios Ambientales del IDEAM**, la base de datos de Bogotá disponible con las concentraciones del material particulado monitoreado por la **RM CAB** (IDEAM, 2022).

Mediante **radicado No. 20229910024002**, la entidad suministró el 18 de febrero de 2022 un archivo en formato Excel con los datos correspondientes al período **2011-2019** de las estaciones que **cumplieron con la representatividad temporal del 75%, de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire** del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010a).

Los datos, tal y como se muestra en la Tabla 3-2, están organizados en **309 filas** y **15 columnas**, de las cuales se puede identificar la procedencia (SDA), el nombre de cada una de las estaciones de monitoreo, las coordenadas geográficas (latitud, longitud), el tipo de contaminante (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y sus unidades ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el tiempo de exposición (1h y 24h), el año de la medición (2011 – 2019), el valor de la concentración promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el código y nombre del departamento (DANE), el nombre del municipio (DANE), y finalmente, el tipo de estación (SDA).

La base de datos reporta las concentraciones del contaminante de las estaciones meteorológicas: **C. Alto Rendimiento, Carvajal – Sevillana, Fontibón, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, MinAmbiente, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Tunal y Usaquén.**

*Tabla 3-2. Aspecto de la base de datos de la RMCAB suministrada por el IDEAM. Fuente: (IDEAM, 2022)*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Autoridad Ambiental	Estación	Latitud	Longitud	Variable	Unidades	Tiempo de exposición, horas	Año	Promedio	Representatividad Temporal	Código del Departamento	Nombre del Departamento	Código del Municipio	Nombre del Municipio	Tipo de Estación
2	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2014	39,5	76	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
3	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2014	39,4	76	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
4	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2011	37,7	87	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
5	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2011	37,4	91	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
6	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2016	35,3	87	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
7	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2016	34,9	92	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
8	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2012	34,2	89	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
9	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2012	34,1	88	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
10	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2013	32,2	81	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
11	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2013	32	85	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
12	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2017	31,2	87	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
13	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2017	31,1	88	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
14	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2015	28,3	96	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
15	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2018	28,2	89	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
16	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2015	28,1	97	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
17	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2018	28,1	89	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
18	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	1	2019	27,1	97	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
19	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM10	ugm3	24	2019	27	98	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
20	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM2.5	ugm3	1	2014	20,7	82	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
21	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM2.5	ugm3	24	2014	20,6	82	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
22	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM2.5	ugm3	1	2016	20,2	92	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija
23	SDA	C. Alto Rendimiento	4,658467	-74,083967	PM2.5	ugm3	24	2016	20	97	11	CUNDINAMARCA	11001	BOGOTÁ, D.C.	Fija

### 3.4.3.- Instrumentación y método

El método de **Kriging** está disponible en las herramientas del **Análisis espacial** del Sistema de Información Geográfico de ESRI, **ArcGIS®**. Con la versión **ArcGIS® 10.8.2** se interpolaron las concentraciones del material particulado en la zona geográfica de Bogotá. A continuación, la Tabla 3-3 reúne los parámetros fijados en la herramienta:

Tabla 3-3. Parámetros ingresados en ArcGIS®. Fuente: (ESRI, 2023a)

Descripción	Input
Entidades de puntos de entrada con los valores z que se interpolarán en un ráster de superficie ( <i>in_point_features</i> )	Localidades de la ciudad (.shp)
Campo con el valor de altura o magnitud para cada punto ( <i>z_field</i> )	Concentraciones promedio de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> (.cvs)
Ráster de superficie interpolado de salida ( <i>out_surface_raster</i> )	Punto flotante
Modelo de Semivariograma ( <i>kriging_model</i> )	Ordinario - Circular
Tamaño de celda del ráster de salida ( <i>cell_size</i> )	Tamaño seleccionado por efecto a partir de otras entradas
Tipo de entrada utilizado para interpolar el valor en cada celda del ráster de salida ( <i>search_radius</i> )	Variable: utiliza radios de búsqueda variables para encontrar una cantidad específica de puntos de muestra como entrada para la interpolación

La interfaz en **ArcGIS®** disponible para el ingreso de los parámetros descritos se muestra en la Figura 3-5.

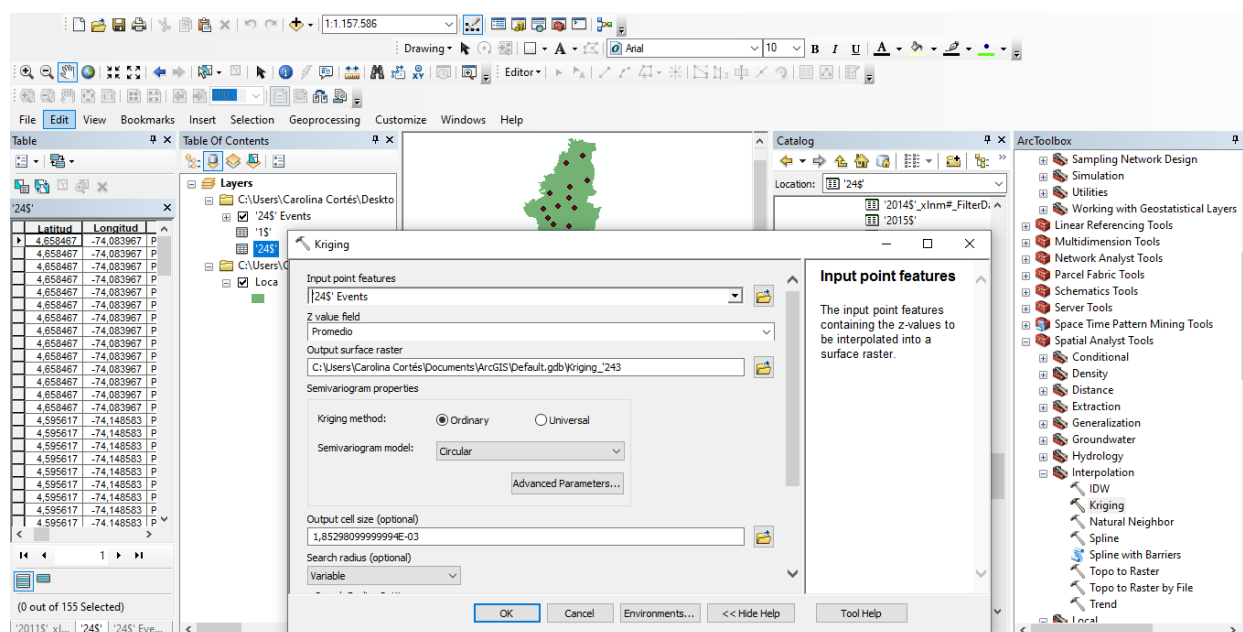


Figura 3-5. Interfaz de ArcGIS® seleccionando el método de interpolación Kriging. Fuente: (ESRI, 2023a)

### 3.4.4.- Resultados

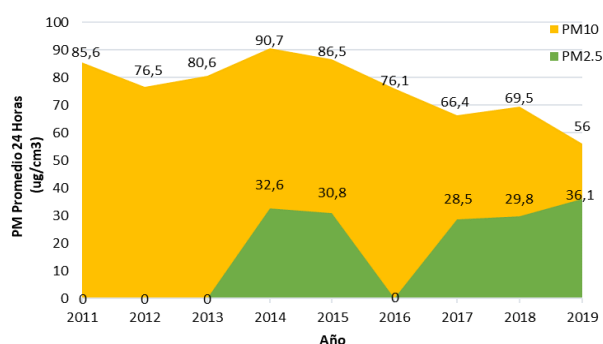
De acuerdo con la información suministrada por el IDEAM se han obtenido 12 series temporales de estaciones meteorológicas con la evolución de las concentraciones PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en el periodo seleccionado y con tiempos de exposición promedio correspondiente a 24 horas.

Para el periodo analizado comprendido entre 2011 y 2019, la base de datos reporta los resultados de las estaciones con excepción de Ciudad Bolívar, Bolivia, Jazmín y Usme. Los motivos de la inexistencia de datos son, entre otros, porcentaje de representatividad inferior al 75%, dificultades en los *datalogger*, y la operación de nuevas estaciones después de 2019, como es el caso de la estación Jazmín.

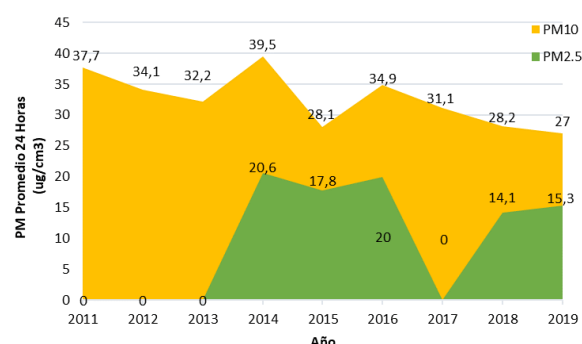
Como puede apreciarse en la Figura 3-6 sobre el comportamiento de las concentraciones del material particulado promedio reportadas cada 24 horas y en el periodo fijado, existe una notable diferencia en la estación de Kennedy, que cuenta con la totalidad de los promedios anuales tanto en PM<sub>2.5</sub> como en PM<sub>10</sub>, mientras el resto de las estaciones, carecen de la mayoría de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>. En las estaciones de Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal, los datos de PM<sub>2.5</sub> no superan los reportes en más de tres años, limitando el análisis del comportamiento de las partículas finas. En lo que respecta a las concentraciones de PM<sub>10</sub>, no figuran datos provenientes de la estación de Fontibón de los años 2012, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, como tampoco reportes de Guaymaral del año 2014, de la estación MinAmbiente del 2011 y finalmente, de la estación de Usaquén del 2011.

En términos generales, la mayor cantidad de partículas gruesas o PM<sub>10</sub> monitoreadas en Bogotá entre los años 2011 y 2019, tuvo lugar en la estación de Carvajal- Sevillana en 2014, reportando una concentración de 90.7 µg/cm<sup>3</sup> mientras las estaciones de Guaymaral y Usaquén experimentaron los valores más bajos en los años 2019, con concentraciones de 24.7 µg/cm<sup>3</sup>. Con respecto a las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, nuevamente la estación de Carvajal- Sevillana reporta los niveles más altos, pero esta vez en 2019, con 36.1 µg/cm<sup>3</sup> y San Cristóbal registra el valor más bajo en la ciudad con 8.9 µg/cm<sup>3</sup> en 2015.

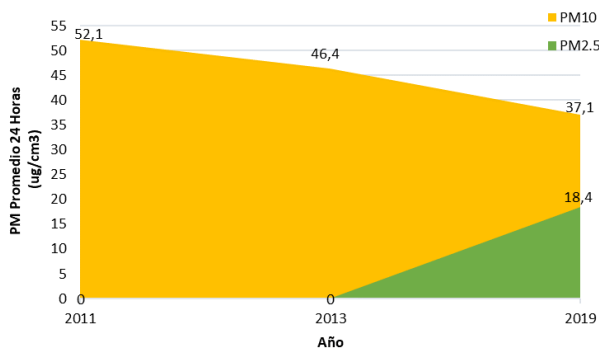
Si bien las máximas concentraciones de los dos contaminantes se encontraron por debajo de los límites permisibles con respecto a la normativa colombiana vigente en su momento (Res. 2254/2017 y Res. 610/2010), sí que superaron los niveles comparados con los de la OMS, correspondiente para ese periodo de tiempo a, 50 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub>.



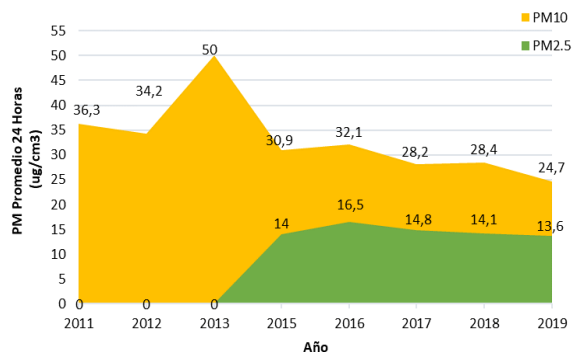
EM: Carvajal – Sevillana



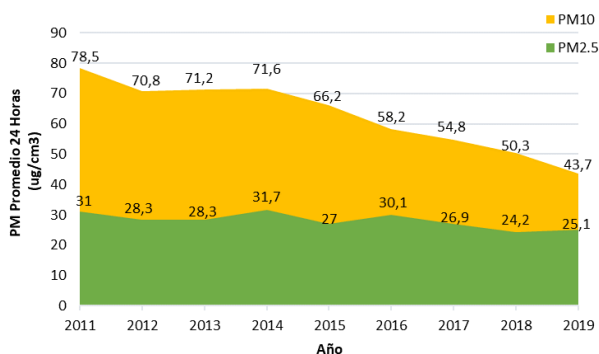
EM: Centro de Alto Rendimiento



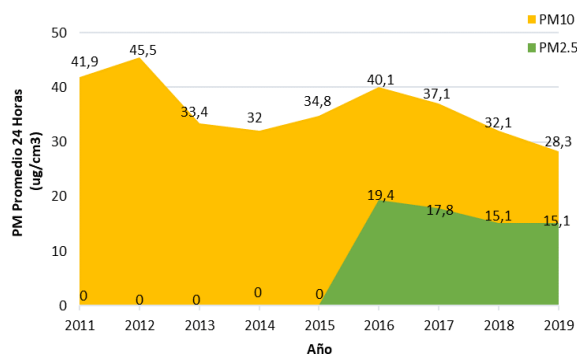
EM: Fontibón



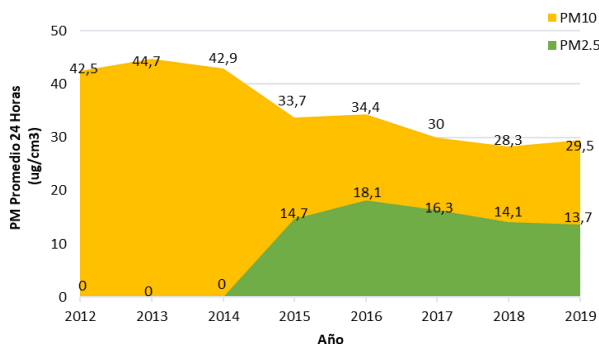
EM: Guaymaral



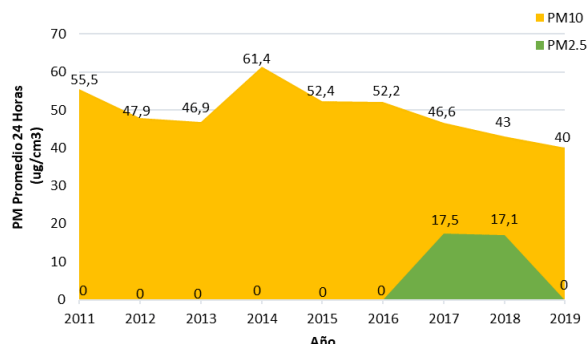
EM: Kennedy



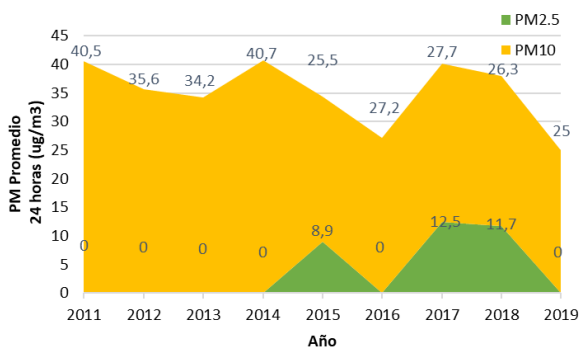
EM: Las Ferias



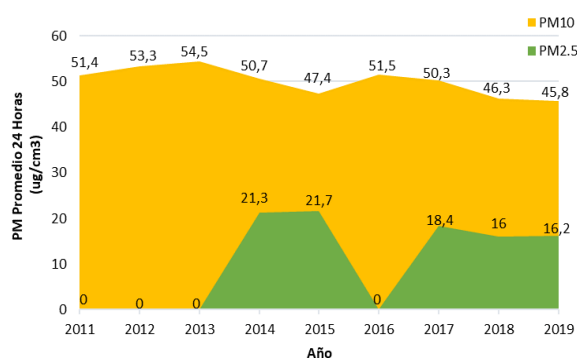
EM: MinAmbiente



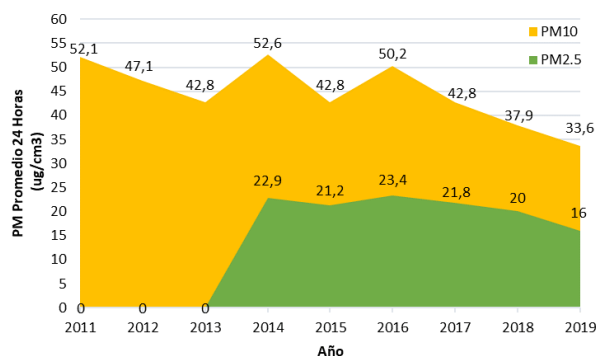
EM: Puente Aranda



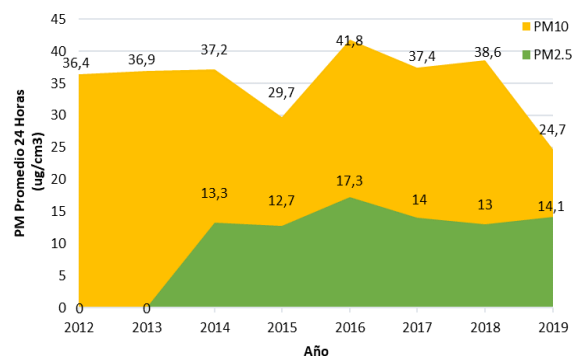
EM: San Cristóbal



EM: Suba



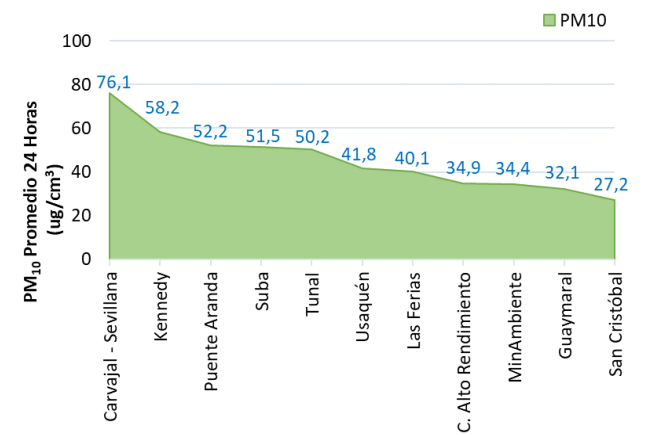
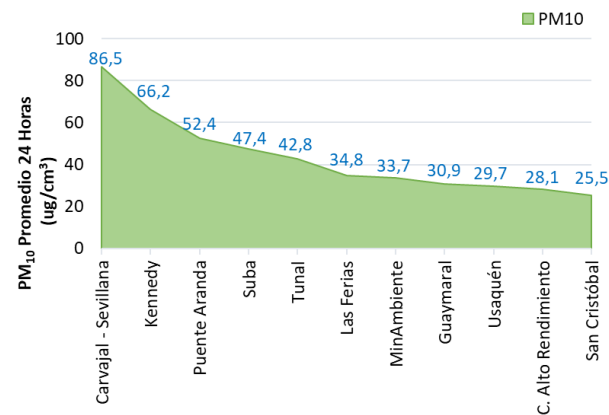
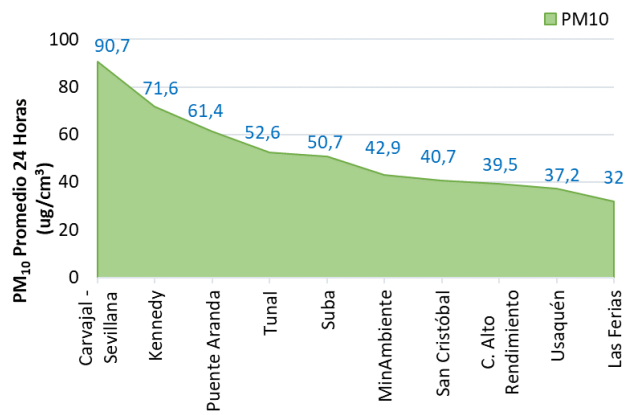
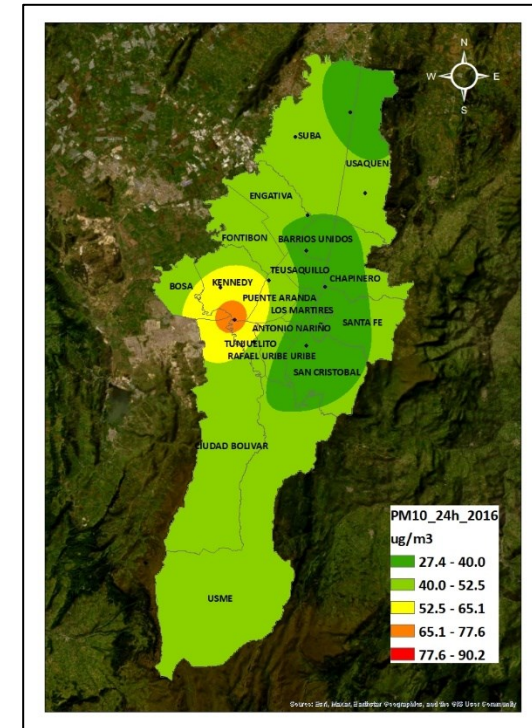
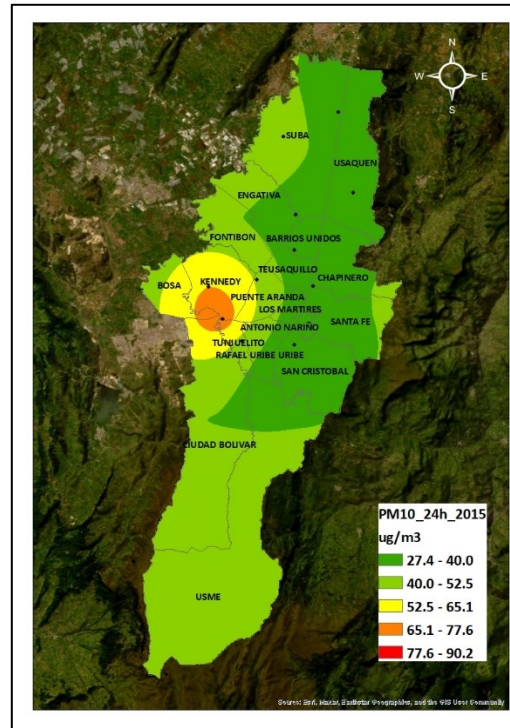
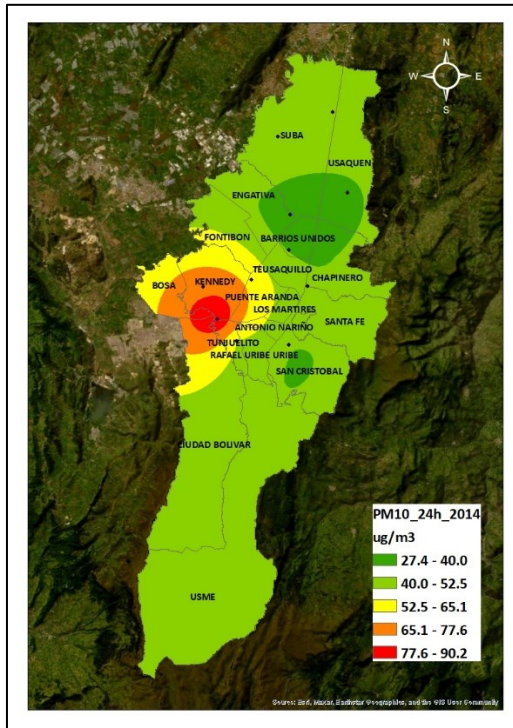
EM: Tunal



EM: Usaquén

Figura 3-6. Series temporales conseguidas de la base de datos IDEAM 2011 – 2019. Fuente: Propia; (IDEAM, 2022)

Sumado a las series temporales, la Figura 3-7 presenta la distribución espacial de las concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> reportadas cada 24 horas durante los años 2014 y 2019. Las concentraciones más altas se registraron hacia el occidente de la ciudad y las más bajas en la zona oriental. La estación **Carvajal – Sevillana** de la localidad de **Kennedy** registró los valores más altos, no obstante, el comportamiento para el año 2019 es notoriamente diferente con respecto al inicial, mostrando una disminución progresiva de la concentración del PM<sub>10</sub>, siendo las localidades de **Bosa**, **Kennedy** y **Tunjuelito Aranda** las más expuestas, seguidas de **Fontibón** y **Puente Aranda**.





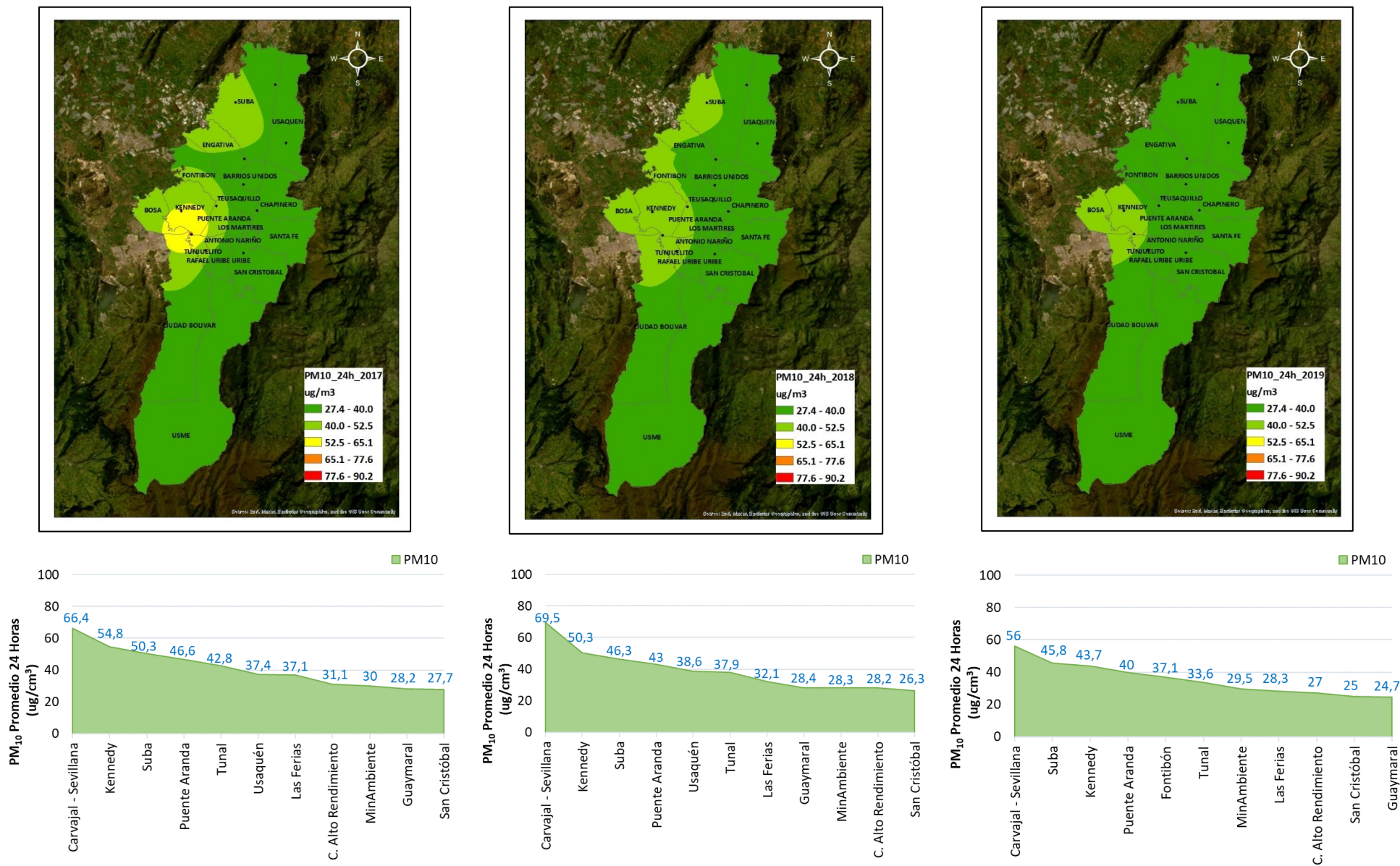


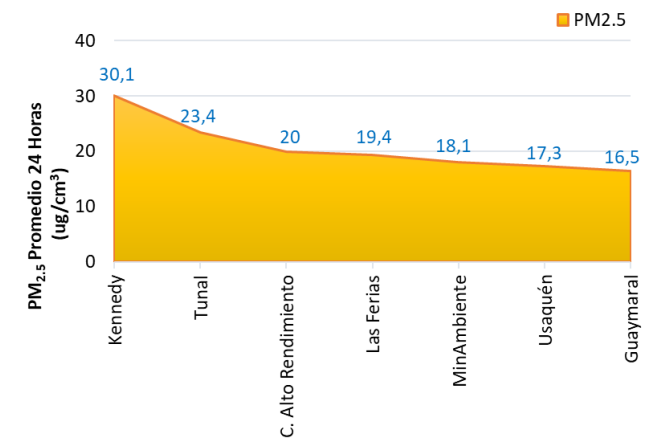
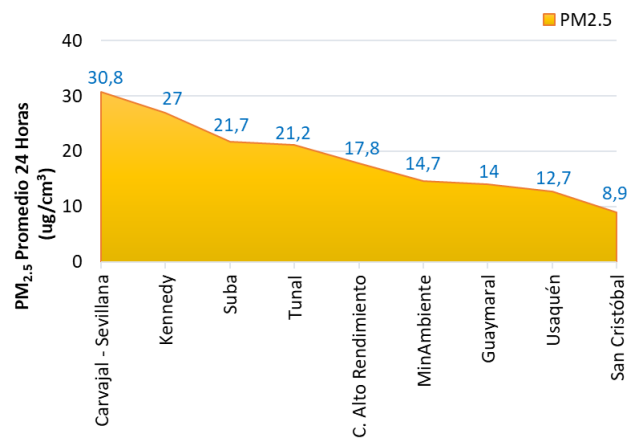
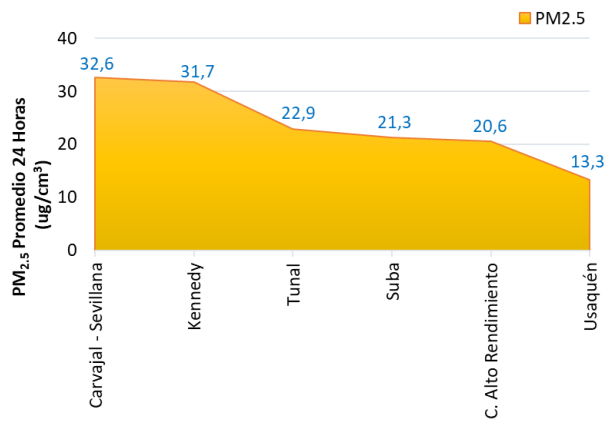
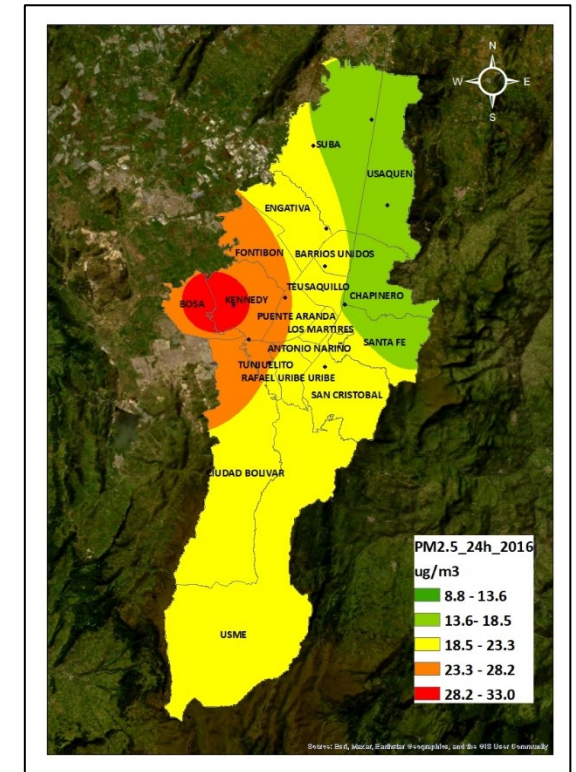
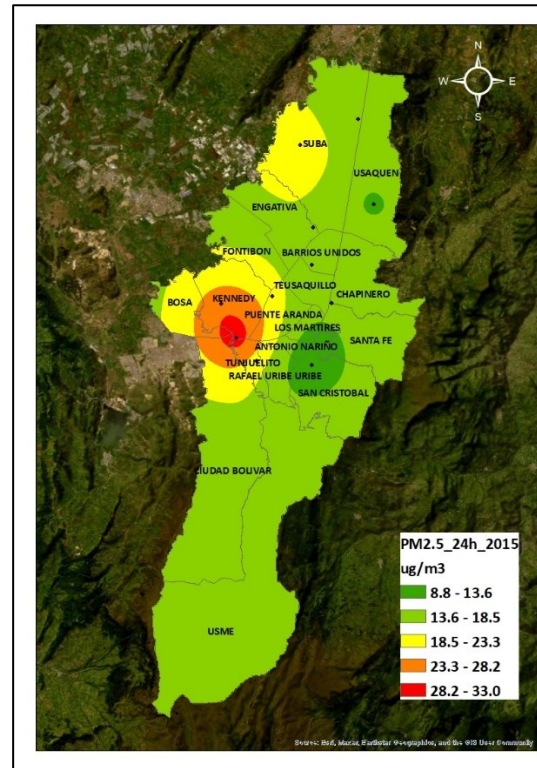
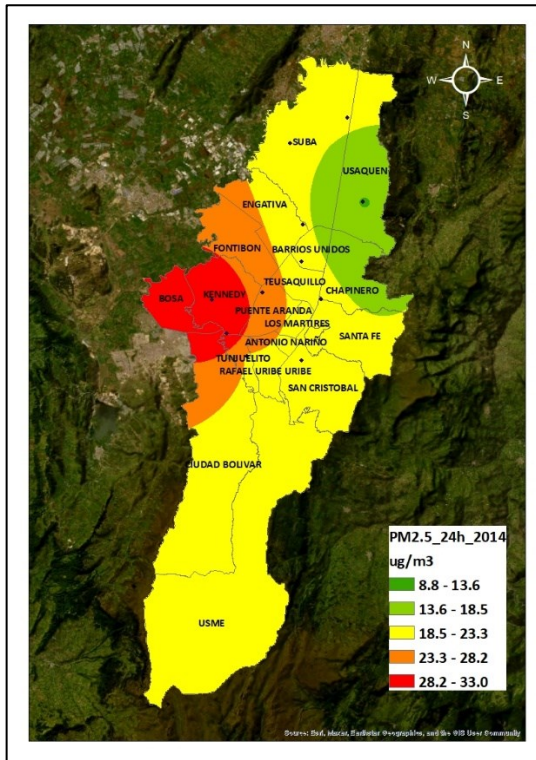
Figura 3-7. Distribución espacial del PM<sub>10</sub> en la ciudad de Bogotá durante los años 2017 y 2019. Fuente: Propia; (IDEAM, 2022); (ESRI, 2023a)

Desde el año 2015, se aprecia la reducción de la concentración de PM<sub>10</sub> dado que los rangos superiores entre **65.1** y **90.2** µg /m<sup>3</sup> se dejan de percibir sobre el territorio.

El comportamiento anual refleja la disminución progresiva de la concentración de PM<sub>10</sub> año tras año. Para el último año analizado, las concentraciones del PM<sub>10</sub> se aproximaron al límite dispuesto por la OMS, el cual se encontraba en el orden de los 50 µg/m<sup>3</sup> para antes del 2019 (WHO, 2006).

Con respecto a las concentraciones de partículas finas en el mismo periodo (Figura 3-8), las localidades de **Bosa, Kennedy, Tunjuelito Aranda, Fontibón** y **Puente Aranda** son las más expuestas a PM<sub>2.5</sub> conforme los datos reportados de las estaciones de **Carvajal – Sevillana, Bolivia, Fontibón, Kennedy** y **Puente Aranda**, pertenecientes a la RMCAB. Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> disminuyen del 2014 al 2015, sin embargo, para el 2016, vuelven a aumentar. Tanto en 2014 como en 2016, las concentraciones más altas se encontraban en el rango de los **18.5** y los **23.3** µg/m<sup>3</sup> con focos de contaminación en la zona occidental y mejor calidad del aire en la zona nor-oriental.

Entre los años 2017 y 2019, las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, en gran parte de la ciudad, rondan los **13.6** y **18.5** µg/m<sup>3</sup>, superando el nivel máximo de recomendado de la OMS (25 µg/m<sup>3</sup>) en las localidades de **Bosa, Kennedy, Tunjuelito Aranda, Fontibón** y **Puente Aranda**



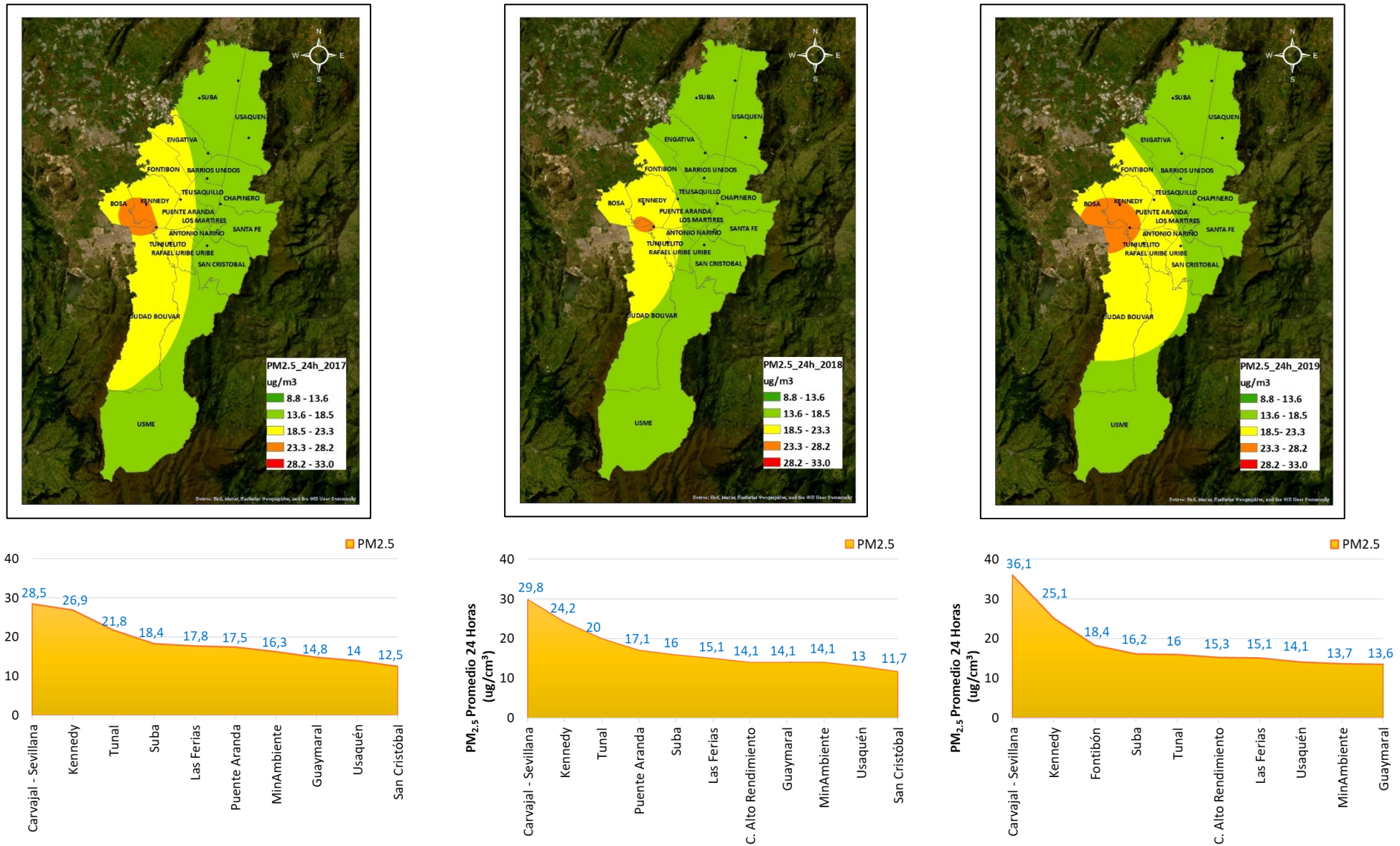


Figura 3-8. Distribución espacial de PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Bogotá durante los años 2011 y 2019. Fuente: Propia; (IDEAM, 2022); (ESRI, 2023)

### 3.5.- ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA EN BOGOTÁ

La **Constitución Política de Colombia**, como Carta Constitucional, es la que ordena en primera instancia regular esquemas de subsidios para la prestación de servicios públicos con la finalidad de lograr el acceso universal. Al respecto, algunos de sus artículos recogen lo siguiente (República de Colombia, 1991):

*“ARTICULO 365. Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. (...)”*

*“ARTICULO 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable”.*

*“ARTICULO 367. La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, (...)”.*

En Segundo lugar, el instrumento legal que particulariza las disposiciones de la Constitución es la **Ley 142 de 1994**, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones, en concreto los artículos:

*“ARTÍCULO 2°. Intervención del Estado en los Servicios Públicos. El Estado intervendrá en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley, en el marco de lo dispuesto en los artículos 334, 336, y 365, a 370 de la Constitución Política, para los siguientes fines:*

*2.1. Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.*

*2.2. Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de pago de los usuarios.*

*2.3. Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico.*

*(...)*

*2.9. Establecer un régimen tarifario proporcional para los sectores de bajos ingresos de acuerdo con los preceptos de equidad y solidaridad.”*

*(...)*

*“14.8. Estratificación Socioeconómica. Es la clasificación de los inmuebles residenciales de un municipio, que se hace en atención a los factores y procedimientos que determina la ley.”*

*(...)*

*“ARTÍCULO 103. Unidades Espaciales de Estratificación. La unidad espacial de estratificación es el área dotada de características homogéneas de conformidad con los factores de estratificación. Cuando se encuentren viviendas que no tengan las mismas características del conglomerado, se les dará un tratamiento individual.”*

*“ARTÍCULO 102. Estratos y Metodología. Los inmuebles residenciales se clasificarán máximo en seis (6) estratos socioeconómicos (1, bajo-bajo; 2, bajo; 3, medio-bajo; 4, medio; 5, medio-alto; 6, alto) dependiendo de las características particulares de los municipios y distritos y en atención, exclusivamente, a la puesta en práctica de las metodologías de estratificación de que trata esta ley. (...)”*

Dado lo anterior, la Constitución Política de Colombia de 1991 fija competencias en la prestación de los servicios públicos domiciliarios, cobertura, calidad, financiación y régimen tarifario de acuerdo con la redistribución de ingresos de las personas que conforman la Nación, otorgando al **Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)**, entre otras responsabilidades, el diseño y la aplicación de metodologías de estratificación socioeconómica para los colombianos. Según el DANE, la estratificación socioeconómica permite clasificar la población por sus características sociales o económicas, y lo hace a través de la valoración de las características físicas de sus viviendas, el entorno inmediato y el contexto urbanístico o rural de su lugar de residencia.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP), cita, *“La estratificación socioeconómica en Colombia es una clasificación de inmuebles (Ley 142 de 1994) que se utiliza como instrumento de focalización geográfica (CONPES 3386 de 2005) para el cobro diferencial de los servicios públicos domiciliarios en un esquema de subsidios cruzados a la demanda (art. 368 de la Constitución Política de Colombia). Se han establecido históricamente seis estratos identificados de acuerdo con las características de la vivienda y del entorno, como indicador indirecto de la capacidad económica de quienes los habitan. De esta manera, la calidad de la vivienda se ha tomado como aproximación a la calidad de vida de sus habitante”* (Departamento Nacional de Planeación, 2008).

Desde su implementación, la estratificación socioeconómica se ha actualizado periódicamente, lo que significa cambios en las asignaciones de las viviendas en los seis estratos, que son: **1) bajo-bajo, 2) bajo, 3) medio-bajo, 4) medio, 5) medio alto, y 6) alto**. La última actualización para los inmuebles residenciales de la zona urbana de la ciudad de Bogotá está regulada por el Decreto 551 de 2019 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2019). El decreto distrital recoge la distribución de los estratos socioeconómicos por localidad tal y como ilustra la Figura 3-9 e identifica las viviendas atípicas y su agrupación por manzanas. Las actualizaciones se realizan en todos los entes territoriales del país por disposiciones de la Ley 505 de 1999 (República de Colombia, 1999).

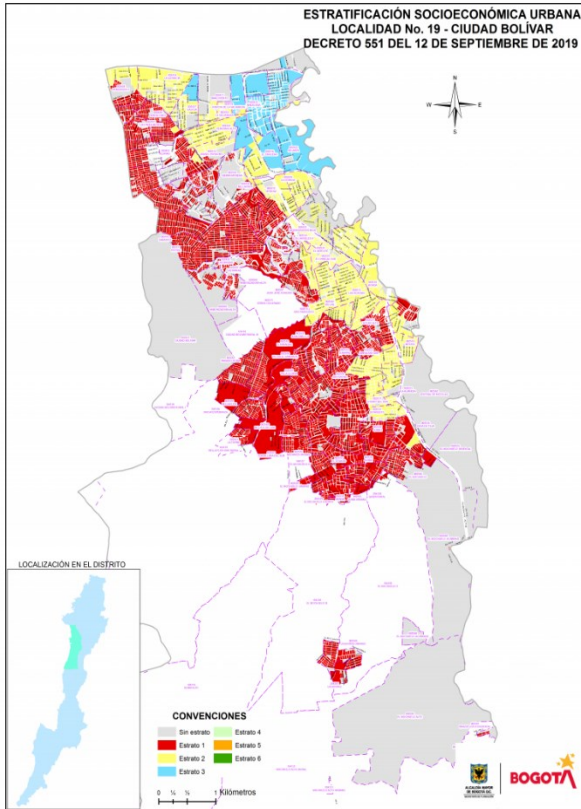
Con la más reciente actualización se confirma que el 99% de las manzanas de la ciudad (38,531) mantienen el mismo estrato designado con anterioridad. Tan sólo 21 manzanas con 2,038 predios aminoraron el estrato, mientras 25 manzanas con 1,814 predios ascendieron de estrato y, 99 manzanas con 24,036 predios se les ha asignado por primera vez un estrato. Adicionalmente, varios predios fueron removidos de la estratificación porque han cambiado su uso residencial por tratarse de nuevas vías o parques (Secretaría Distrital de Planeación, 2019).

La distribución socioeconómica en Bogotá según el Decreto 551 de 2019 mantiene la participación porcentual de la Tabla 3-4 y la distribución espacial de la Figura 3-9.

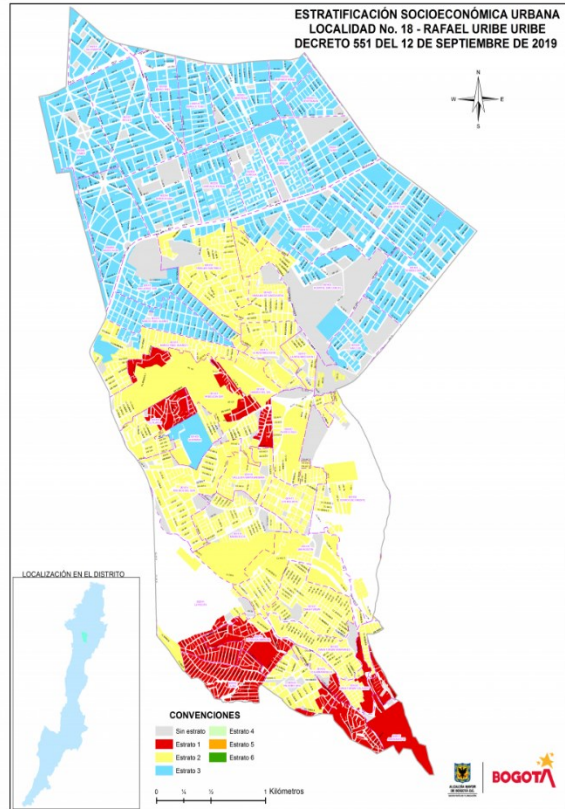
*Tabla 3-4. Distribución socioeconómica actual en Bogotá según Decreto 551 de 2019.*

*Fuente: (Secretaria Distrital de Planeación, 2022)*

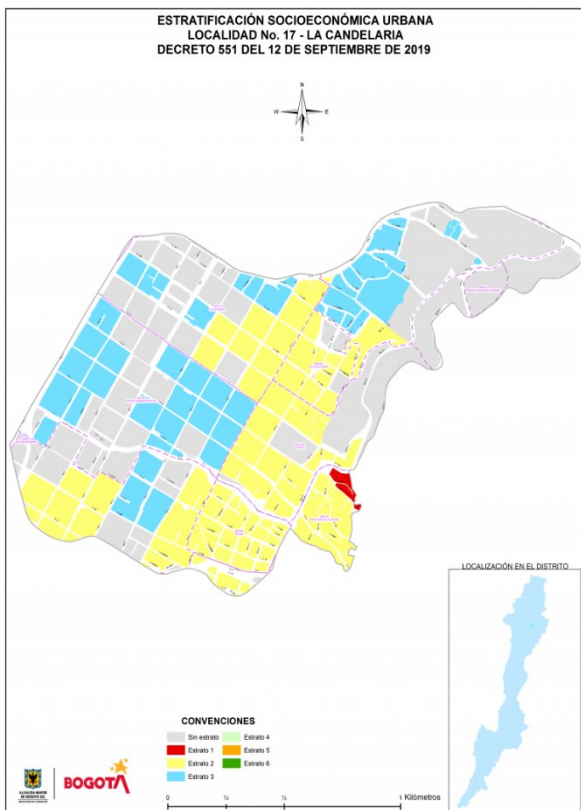
Estrato socioeconómico	N° de manzanas	Participación
1	11,830	27%
2	15,622	36%
3	11,982	27%
4	2,437	6%
5	1,032	2%
6	862	2%
<b>TOTAL</b>	43,765	



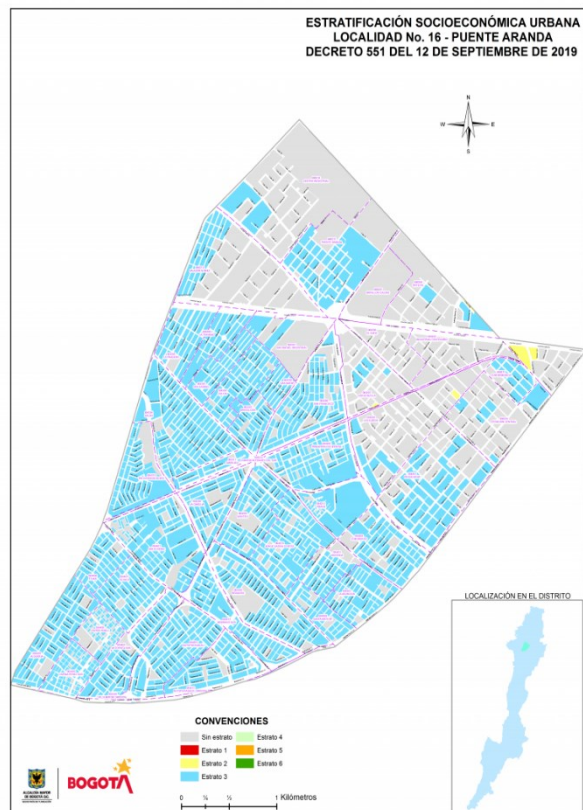
Localidad Ciudad Bolívar



Localidad Rafael Uribe

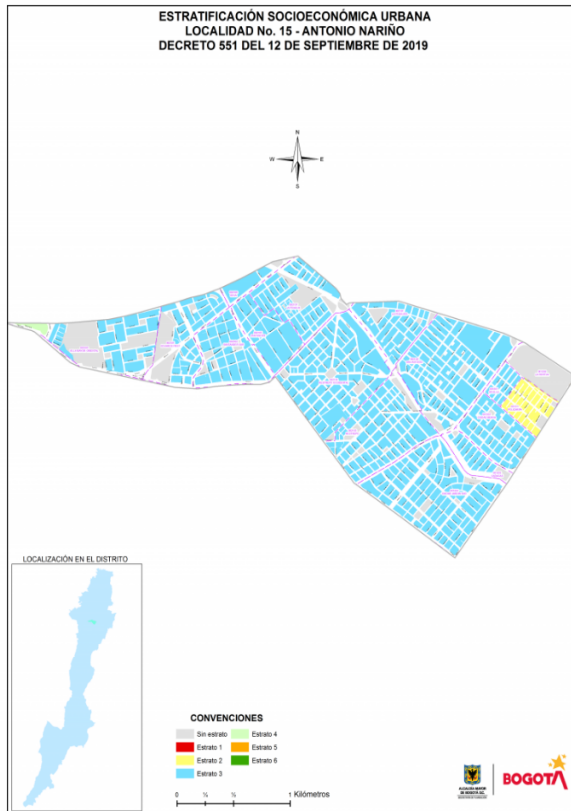


Localidad La Candelaria

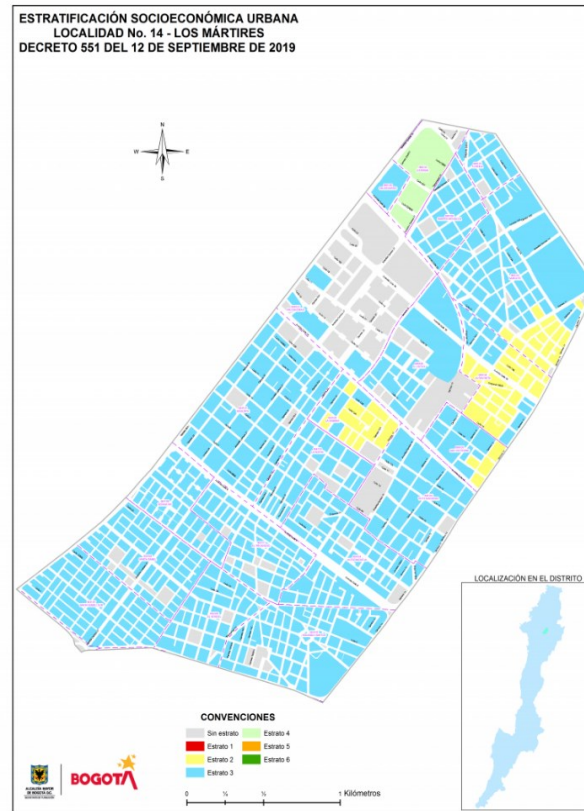


Localidad de Puente Aranda

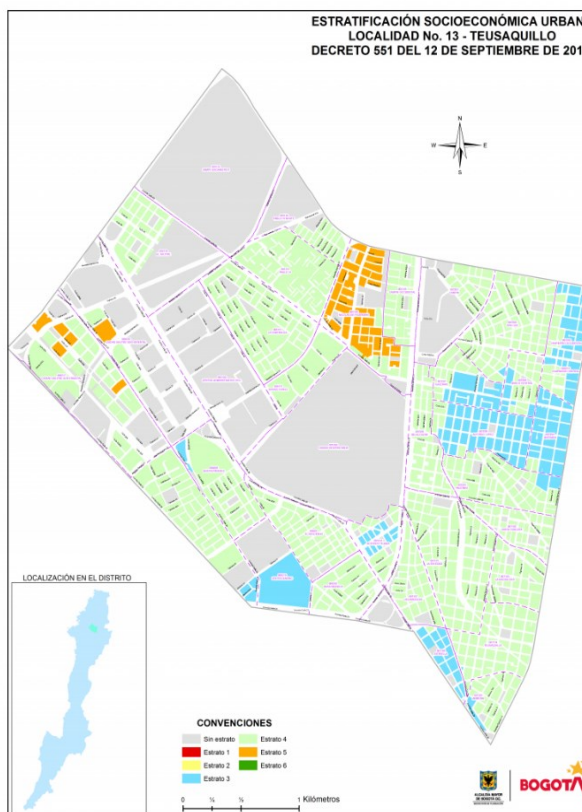




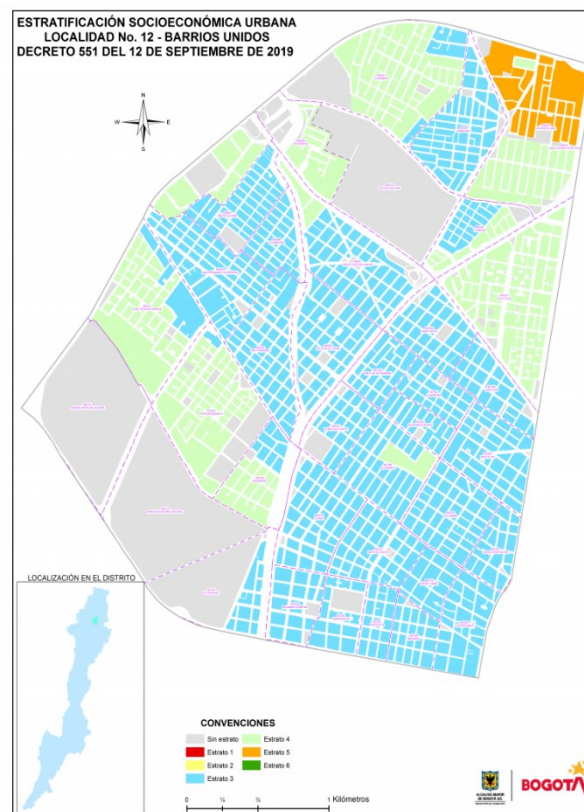
Localidad Antonio Nariño



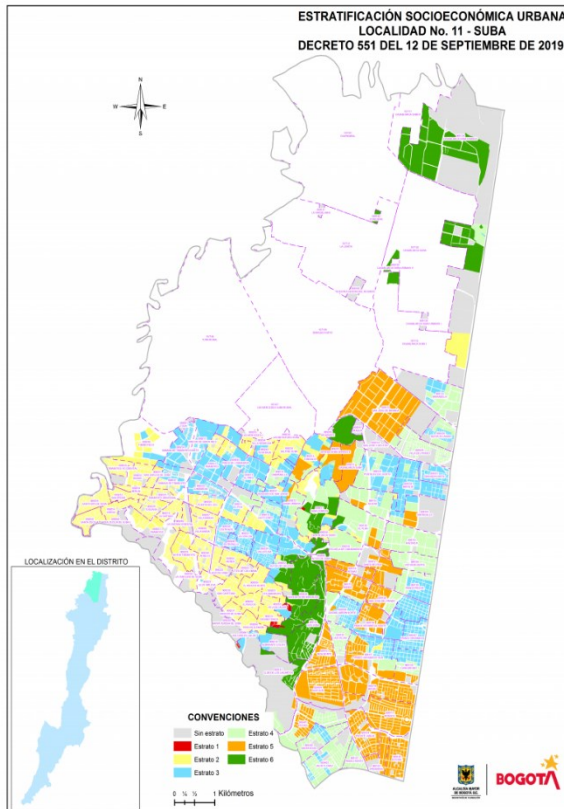
Localidad Los Mártires



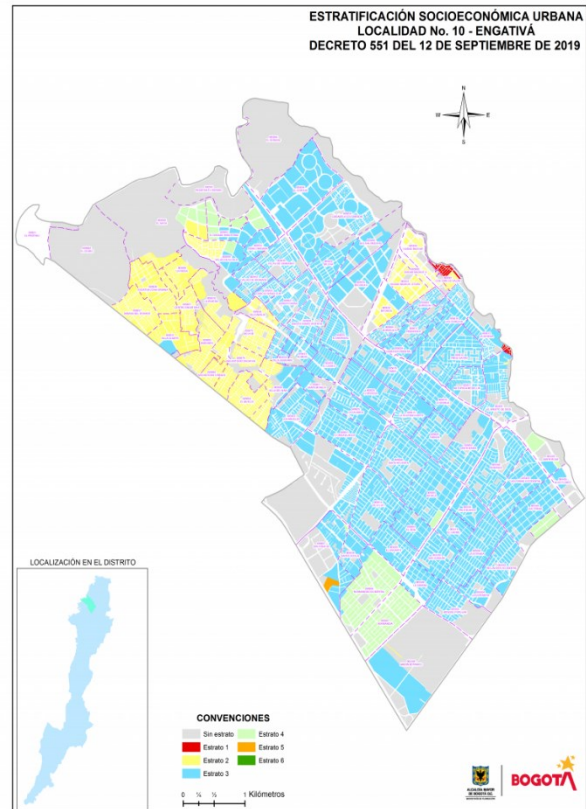
Localidad Teusaquillo



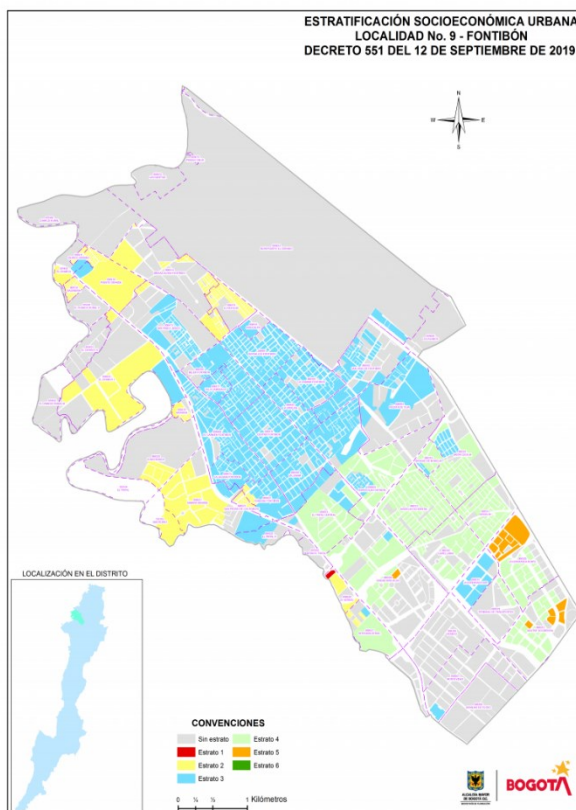
Localidad de Barrios Unidos



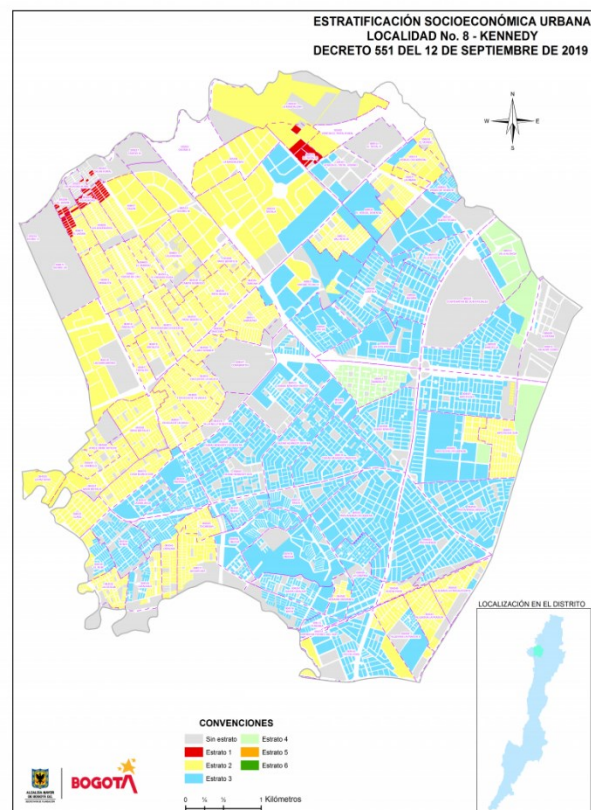
Localidad de Suba



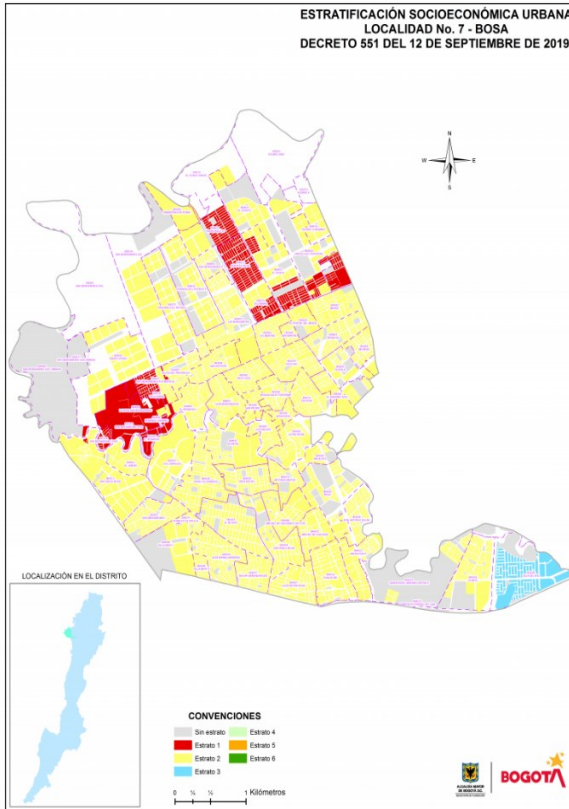
Localidad de Engivivá



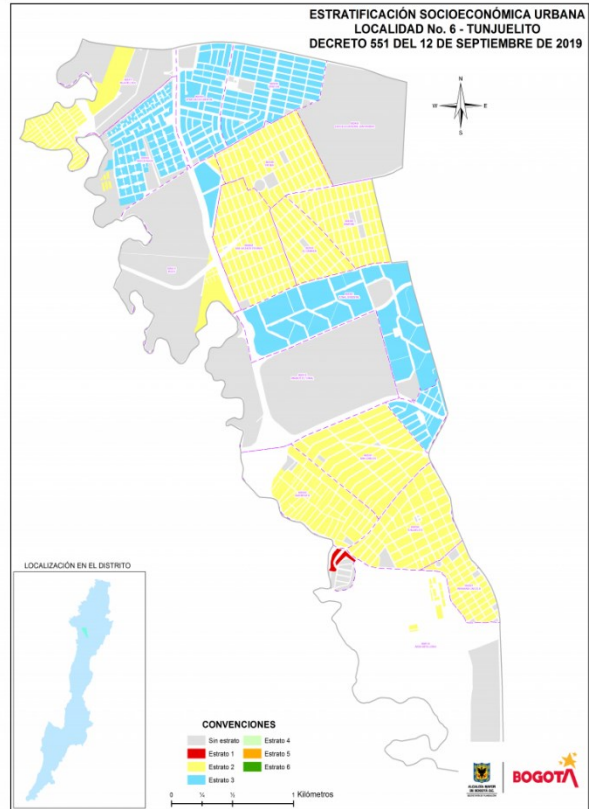
Localidad de Fontibón



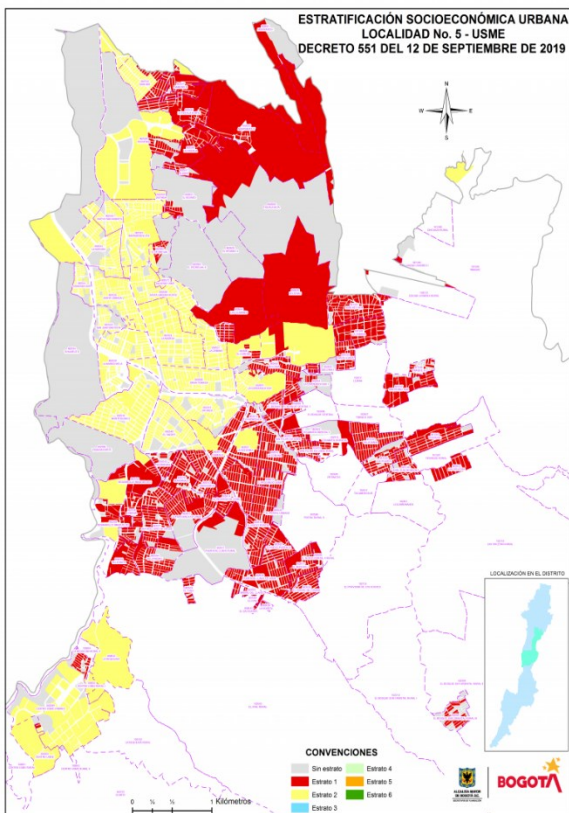
Localidad de Kennedy



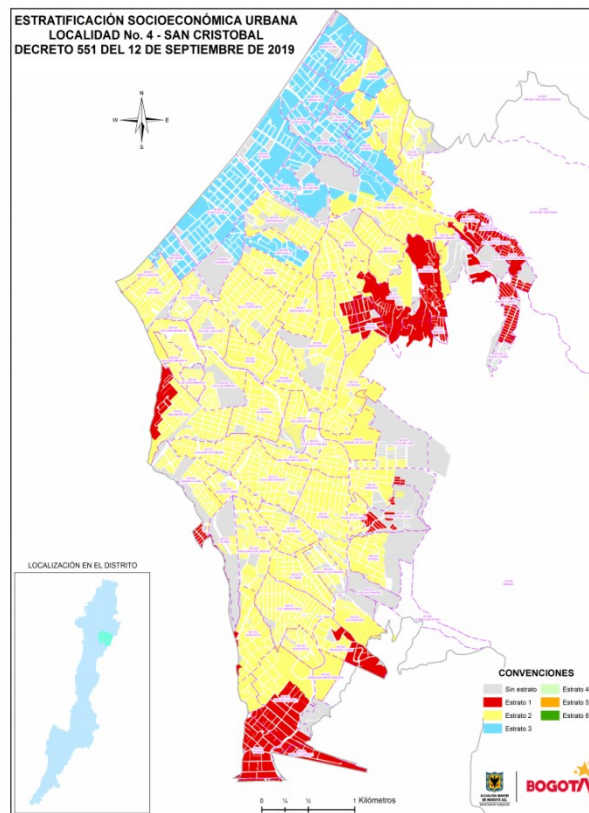
Localidad de Bosa



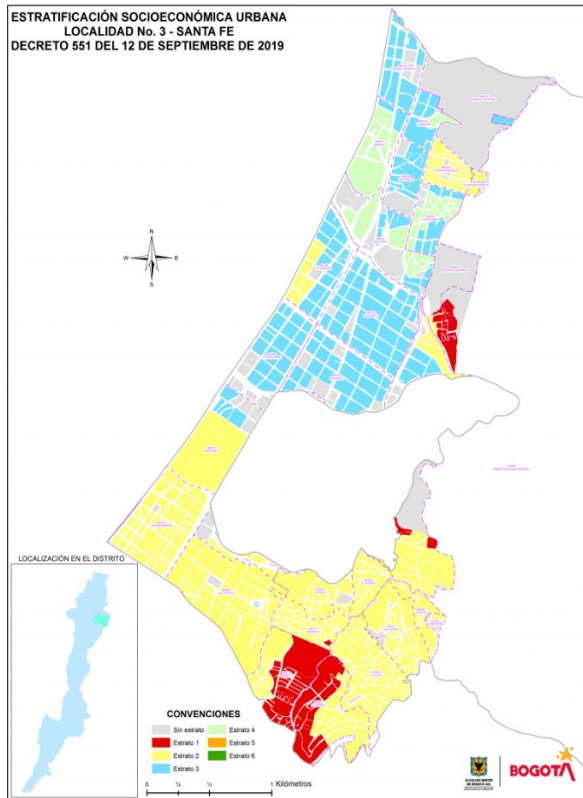
Localidad de Tunjuelito



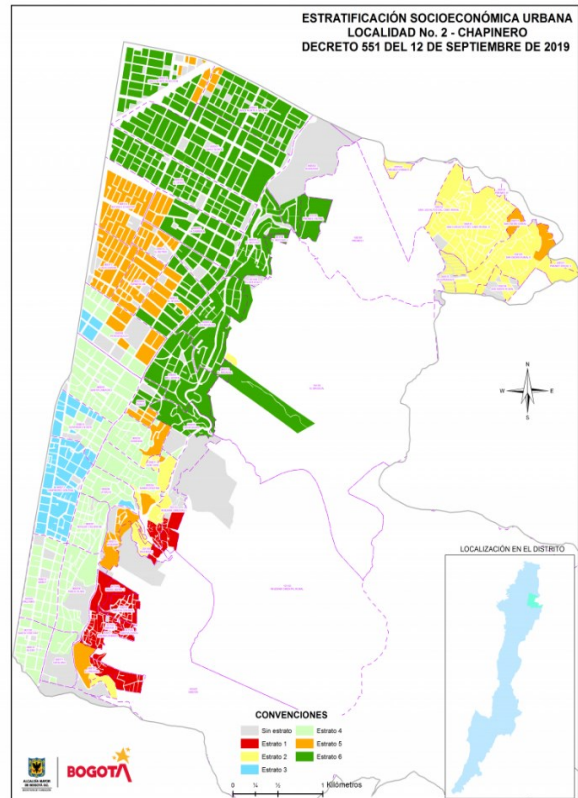
Localidad de Usme



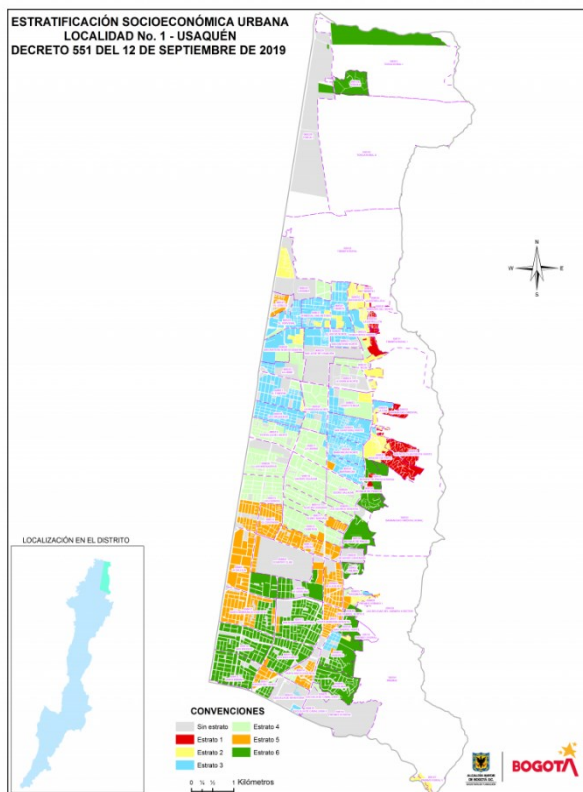
Localidad de San Cristóbal



Localidad de Santa Fe



Localidad de Chapinero



Localidad de Usaquén

Figura 3-9. Distribución espacial de los estratos socioeconómicos en las 19 localidades de Bogotá. Fuente: (Secretaría Distrital de Planeación, 2023)

Que el mayor número de manzanas de la ciudad con el **36%** pertenezcan al **estrato 2**, es el resultado del uso de la metodología diseñada por el DANE desde 2005 conforme a las disposiciones del **CONPES 3386 de 2005** (Consejo Nacional de Política Económica y Social et al., 2005) Desde entonces, el DANE actualiza los procedimientos para la aplicabilidad de la **metodología de estratificación socioeconómica (NME)**, asignando estratos conforme a la información catastral y la información del entorno recogida por las autoridades locales mediante visitas en terreno.

En la actualidad, la metodología publicada por el Grupo de Estratificación de la Dirección de Geoestadística del DANE para las zonas urbanas y los centros poblados del país, contiene: el Enfoque Conceptual (DANE, 2015a), el Manual de Realización (DANE, 2015c) y el Manual de Actualización (DANE, 2015b).

El Enfoque Conceptual brinda las pautas normativas en el marco de la **Ley 142 de 1994**, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios en Colombia (República de Colombia, 1994), y describe las razones jurídicas para distinguir entre viviendas, hogares e inmuebles. La sección quinta del enfoque enfatiza en la pertinencia de la información catastral para la determinación del valor de los inmuebles en la **Nueva Metodología de Estratificación Socioeconómica (NME)**. Es así como el sistema catastral nacional administrado por el **Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)** se acopla con los propósitos de la NME con información catastral disponible y georreferenciada. No obstante, la NME sigue manteniendo informaciones provenientes del terreno para la valoración de los inmuebles. Dichas informaciones se resumen en la Tabla 3-5.

*Tabla 3-5. Recolección de información en terreno. Fuente: (DANE, 2015a)*

Variable	Descripción
<b>Identificación de la vivienda</b>	Tipo de vivienda
	Calificación de la edificación residencial
<b>Estructura de la vivienda</b>	Armazón
	Cubierta
	Muros
	Estado de Conservación de la Estructura
<b>Acabado de la vivienda</b>	Acabado exterior de los muros
	Acabado exterior de los pisos
	Fachada
	Estado de Conservación de los Acabados
<b>Baño de la vivienda</b>	Tamaño del baño
	Enchapes del baño
	Mobiliario del baño
	Estado de Conservación del baño
<b>Cocina de la vivienda</b>	Tamaño de la cocina

Variable	Descripción
	Enchapes de la cocina
	Mobiliario de la cocina
	Estado de conservación de la cocina

Mediante el *método de regresión múltiple* el **DANE** determina el valor de los inmuebles. A manera de ejemplo, la Figura 3-10 contiene el plano factorial que se emplea para el *análisis de correspondencia múltiple* de la cubierta de la vivienda en la NME-DANE, la cual toma la clasificación nacional por capacidad de pago (estratificación de hogares) de las variables catastrales de las viviendas (DANE, 2015a).

La CUBIERTA de la vivienda es:

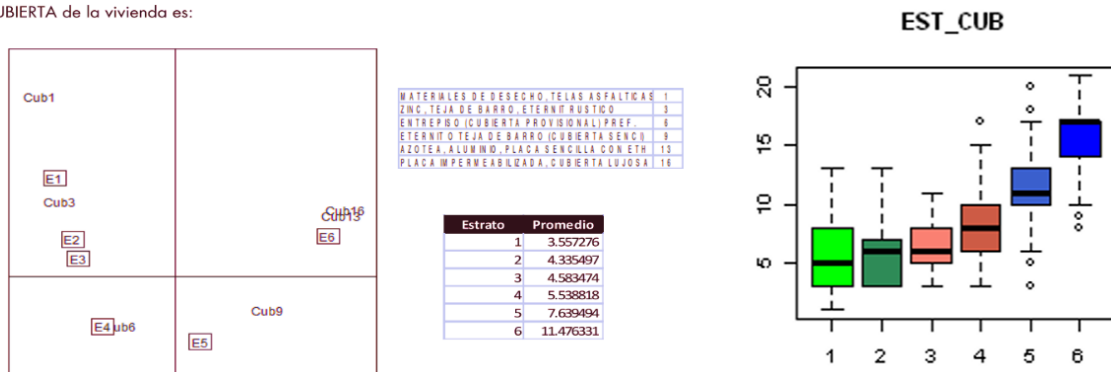


Figura 3-10. Plano factorial y box plot para ponderar la clasificación de los inmuebles. Fuente: (DANE, 2015a)

Por su parte, el Manual de Realización define la unidad de observación y caracteriza las variables objeto de la NME-DANE correspondientes a la vivienda, el entorno y el contexto urbanístico. En cada caso, se atribuyen valores a las subvariables listadas en la Figura 3-11.

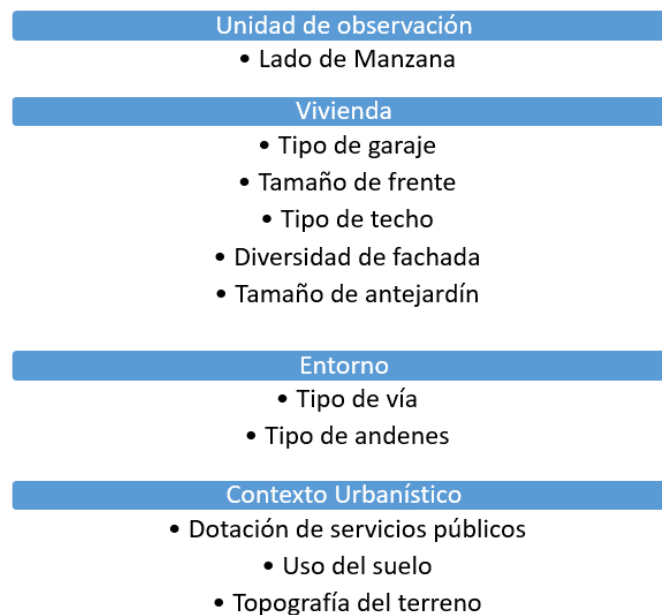


Figura 3-11. Variables y subvariables de la NME-DANE. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022)

Las **Unidades Especiales de Estratificación (UEE)** de Bogotá son administradas por la **Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD)**. En el proceso de estratificación socioeconómica urbana, las UEE corresponden al espacio geográfico con similitud física y geoeconómica. Se determinan a partir de la intersección espacial entre las **Zonas Homogéneas Físicas (ZHF)** y las **Zonas Homogéneas Geoeconómicas (ZHG)**. Las **ZHF** agrupan las zonas geográficas por topografía, uso del suelo, acceso a los servicios públicos y, estado y tipo de vías, mientras que las **ZHG**, incluyen los espacios públicos de recreación, los centros comerciales, los cuerpos de agua y las zonas impactadas por contaminación auditiva, visual y olfativa (DANE, 2015c).

A partir del procedimiento de intersección espacial de las zonas homogéneas catastrales se consigue las unidades como se muestra en la Figura 3-12.



Figura 3-12. Intersección geoespacial de la NME. Fuente: (DANE, 2015c)

Finalmente, el **Manual de Actualización** consiste en un documento guía con el procedimiento de captura de la información recolectada en terreno y su posterior incorporación en el **Sistema de Gestión de la Estratificación (SIGES)**.

**SIGES** es una plataforma del **DANE** que permite la recolección y posterior migración de los datos obtenidos en terrenos para alimentar la metodología en cada zona urbana del país.

El **Capítulo 5** amplía las actualizaciones que han propuesto varios organismos para la estratificación socioeconómica urbana, los métodos de cálculo, sus beneficios y limitaciones.

### 3.6.- CONCLUSIONES

La **Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB**, constituye un insumo de primer orden para el análisis de los contaminantes atmosféricos en la ciudad. Es un insumo de suma importancia para la gobernanza ambiental de Bogotá. La Administración Local formula políticas públicas y ejerce monitoreo, control y seguimiento atendiendo los reportes de la RMCAB.

La efectividad del **Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, PDDAB 2010 – 2020**, fue determinado a partir de diseño de indicadores junto con los reportes de la RMCAB. Las metas para fuentes fijas no se cumplieron en cerca del 50%, situación contraria se evidenció con las fuentes móviles, que sí cumplieron sus metas en un **67%**. En cuanto a la reducción de las emisiones de material particulado, las concentraciones promedio anual más altas de PM<sub>10</sub> durante los años 2013 y 2019, fueron reportadas por las estaciones de **Carvajal – Sevillana, Kennedy** y **Puente Aranda**, superando el límite máximo permisible de la normativa aplicable durante ese periodo (50 µg/m<sup>3</sup>). En cuanto a las partículas más finas durante los años 2016 y 2017, se reduce la concentración en las estaciones de la RMCAB, excepto en **San Cristóbal**, mientras para 2018 y 2019, el aumento del contaminante con concentraciones superiores a 25 µg/m<sup>3</sup>, se observa en las estaciones **Carvajal -Sevillana** y **Kennedy**.

Procesando la información suministrada por la Subdirección de Estudios Ambientales del **IDEAM** y usando **Kriging** como herramientas del Análisis Espacial del Sistema de Información Geográfico de ESRI, **ArcGIS®**, se consiguió confirmar el comportamiento del material particulado de la ciudad de Bogotá entre los años 2011 y 2019. Las concentraciones promedio reportadas cada 24 horas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> durante los años 2011 y 2019 mantuvieron una distribución espacial diferente por contaminante y año. No obstante, en los dos casos, las concentraciones más altas se registraron al occidente de la ciudad (localidades de **Bosa** y **Kennedy**) y las más bajas en la zona oriental (localidades de **Usaquén, Chapinero, Suba**).

En efecto, la estación de **Carvajal - Sevillana** registró los promedios anuales más altos de PM<sub>10</sub> en 2014 entre **77.76 µg/cm<sup>3</sup>** y **90.2 µg/cm<sup>3</sup>**, mientras las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> más altas fueron experimentadas en 2014 y en 2019, con valores que oscilaron entre, **28.1 µg/cm<sup>3</sup>** y **33 µg/cm<sup>3</sup>**, las cuales sobrepasaron el nivel máximo permisible de la OMS para el mismo tiempo de exposición de 24 horas. En general, la disminución progresiva de la concentración de PM<sub>10</sub> año tras año, sigue mejor calidad del aire como resultado de medidas de reducción diseñadas por la Autoridad Ambiental y los demás organismos involucrados, sin embargo, la



situación no es la misma para el PM<sub>2.5</sub>, reflejando un aumento considerable en el 2019 con respecto a los años anteriores.

En lo que respecta a la metodología que actualmente rige la estratificación socioeconómica en Bogotá, se concluye que el método de cálculo del **DANE** consiste en la definición de las **Unidades Especiales de Estratificación (UEE)** a partir de las **Zonas Homogéneas Físicas (ZHF)** y las **Zonas Homogéneas Geoeconómicas (ZHG)**; integradas por información topográfica, uso del suelo, acceso a los servicios públicos, estado y tipo de vías, localización de espacios públicos de recreación, centros comerciales, cuerpos de agua y zonas impactadas por contaminación auditiva, visual y olfativa (DANE, 2015c). Se trata de una metodología reduccionista que procesa información catastral de las **UEE** para asignar el estrato socioeconómico a la manzana sin incluir variables socioambientales.

Por lo anterior, en el Capítulo 5, se desarrolla con más detalle las contribuciones socioambientales que podrían nutrir la metodología.

## 4.- CORRELACIÓN ESTIMADA ENTRE LA CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA Y EL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) EN BOGOTÁ

El presente capítulo desarrolla métodos de cálculo para determinar correlaciones entre el material particulado y la condición socioeconómica de los bogotanos.

Los métodos aplicados parten de las nociones de la correlación espacial, la asociación espacial **LISA** (*Local Indicators of Spatial Association*) (Huitrón M., 2020) y la **Ley de Tobler** o **primera Ley de la Geografía**, que plantea: “*En el espacio geográfico todo se encuentra relacionado con todo, pero los espacios más cercanos están más relacionadas entre sí*” (Celemín, 2009).

Los datos utilizados proceden de la **Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB)** descritos en el **Capítulo 3** (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023), junto con los metadatos disponibles de la ciudad provenientes de los recursos de la **Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (IDECA)**, administrados por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2022a).

### 4.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO

**Establecer la correlación entre las condiciones socioeconómicas de la ciudad de Bogotá y el nivel de exposición de material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>), con los datos oficiales disponibles.**

### 4.2.- METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ALCANZAR EL OBJETIVO

Correlaciones de este tipo se han investigado en otros ambientes urbanos, encontrando correlaciones empíricas, estadísticas y geoestadísticas entre contaminación atmosférica y salud, pobreza, educación, edad, estado civil, renta, nacionalidad, clima, ... (Kim et al., 2012), (Laurent et al., 2007), (Lipfert, 2004), (Martins et al., 2004), (Mehta et al., 2014).

En el presente Capítulo se desarrollan modelos locales, haciendo uso de la correlación espacial, los indicadores locales de asociación espacial **LISA** y la noción de la **Ley de Tobler** o **primera Ley de la Geografía** de la Figura 4-1, donde “todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más cercanas están más relacionadas que las cosas distantes” (Huitrón Mendoza, 2020).

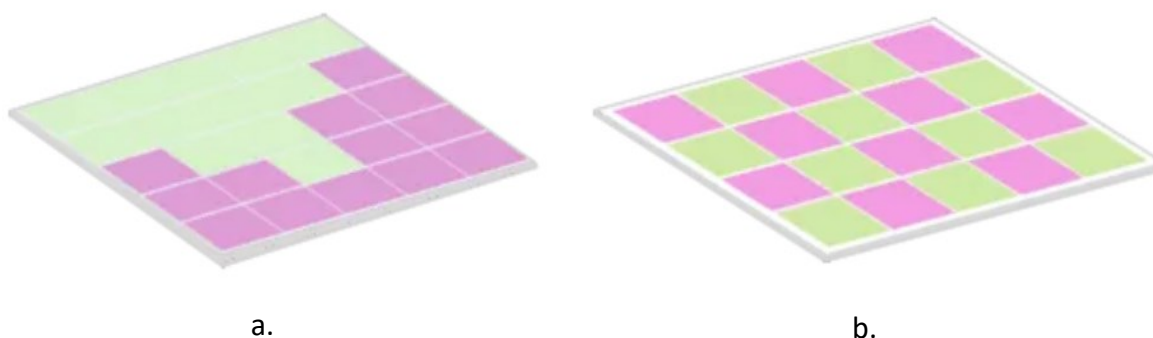


Figura 4-1. Niveles de correlación espacial según la Ley de Tobler. a. Alta; b. Baja. Fuente: (GISGeography, 2022)

Dado que se trata de un procedimiento netamente geográfico, requiere del procesamiento de metadatos procedentes de plataformas públicas con información geográfica de la ciudad. En Bogotá, la **UAECD** (UAECD, 2021) administra la información a través del **IDECA** (IDECA, 2021).

#### 4.2.1.- Tipo de estudio

La autocorrelación espacial, también conocida como regresión geográficamente ponderada, se emplea en este estudio para el diseño de las pruebas de hipótesis, el **Índice de Moran (I)**, las validaciones estadísticas, la interpretación y el reporte de los resultados. Se ha optado por este tipo de estudio porque, a diferencia de las correlaciones realizadas mediante la regresión de mínimos cuadrados, la autocorrelación espacial produce numerosos modelos locales y, por ende, múltiples regresiones, generando un modelo de regresión por cada punto de datos espaciales (Hipp & Chalise, 2015).

Con este tipo de correlación, a diferencia de la correlación empírica, se concentra el análisis en el **Índice de Moran (I)**, verificando la contribución de cada unidad espacial a la formación del valor general, así como el grado de asociación y el aporte de heterogeneidad de cada una de ellas con respecto a las demás (Asri et al., 2021), (Celemín, 2009), (Fu et al., 2014).

#### 4.2.2.- Población

Los datos espaciales publicados a nivel geográfico constituyen la población de la metodología. Tal y como se indica en el Capítulo 3, Bogotá cuenta con **19 localidades** urbanas que dividen el territorio de la ciudad y éstas a su vez se subdividen en **70** Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ). En el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, que regía hasta el 2021, se recogía: *“La Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) tiene como propósito definir y precisar el planeamiento del suelo urbano, respondiendo a la dinámica productiva de la ciudad y a su inserción en el contexto regional, involucrando a los actores sociales en la definición de aspectos de ordenamiento y control normativo a escala zonal”* (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004).

IDECA integra un conjunto de estándares, políticas, tecnologías y acuerdos institucionales que facilitan la producción, disponibilidad y acceso a la información geográfica de Bogotá por localidad y, en el mejor de los casos, por UPZ. Tanto los recursos obtenidos de *“Mapas de Bogotá”* como *“Datos abiertos de Bogotá”* disponen de datos en estos formatos: ESRI REST, WMS, WFS, HTML, GPKG, GeoJSON, SHP, KML o DXF (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2022).

#### 4.2.3.- Muestra

Como los datos de la población se encuentran reportados por las entidades del Gobierno Distrital en temáticas diversas, se optó por conformar seis grupos, previa revisión de la calidad y pertinencia de los datos. Finalmente, se seleccionaron dos individuos por cada uno de los grupos, entre ellos: **material particulado (1)**, **demografía (2)**, **salud y protección social (3)**, **economía y finanzas (4)**, **inclusión social y reconciliación (5)** y **educación (6)**.

La Tabla 4-1 describe la muestra:

Tabla 4-1: Nomenclatura de la muestra seleccionada. Fuente: Propia; a; b; c; d

Variable	ID.	Fecha	Fuente
<b>Material particulado</b>			
Concentración promedio anual de material particulado inferior a 10 µm (PM <sub>10</sub> )	001_VA	2014	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
Concentración promedio anual de material particulado inferior a 10 µm (PM <sub>10</sub> )	002_VA	2019	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
Concentración promedio anual de material particulado inferior a 2.5 µm (PM <sub>2.5</sub> )	003_VA	2014	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
Concentración promedio anual de material particulado inferior a 2.5 µm (PM <sub>2.5</sub> )	004_VA	2019	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
<b>Demografía</b>			
Densidad de la población por Unidad de Planeación Zonal (UPZ)	001_VD	2017	Laboratorio urbano de Bogotá <sup>(b)</sup>
Población en edad de trabajar	002_VD	2017	Mapas Bogotá <sup>(c)</sup>
<b>Salud y protección social</b>			
Instituciones prestadoras de salud	001_VS	2020	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
Pensionados activos del FONCEP por localidad	002_VS	2020	Datos abiertos Bogotá <sup>(a)</sup>
<b>Economía y finanzas</b>			
Ingreso per cápita	001_VE	2017	Mapas Bogotá <sup>(c)</sup>
Empresas creadas	002_VE	2018	IDECA <sup>(d)</sup>
<b>Inclusión social y reconciliación</b>			
Demografía de la población víctima por localidad	001_VI	2019	IDECA <sup>(d)</sup>
Bono de alimentación	002_VI	2019	IDECA <sup>(d)</sup>
<b>Educación</b>			
Matrícula total en colegios oficiales.	001_VM	2020	IDECA <sup>(d)</sup>
Tasa de deserción escolar colegios oficiales Bogotá	002_VM	2018	Mapas Bogotá <sup>(c)</sup>

a. (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital., 2022b); b. (Secretaría Distrital de Planeación, 2017); c. (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital., 2018); d. (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2022a).

Las variables identificadas como **001VA** y **002VA** corresponden a los datos de concentración promedio anual de material particulado inferior a 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) reportados por estación meteorológica para los años 2014 y 2019, mientras las variables **003VA** y **004VA** constituyen los datos de concentración promedio anual de material particulado inferior a 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>), para los mismos años. Este set de datos contiene la concentración de material particulado de las estaciones de la **RM CAB** tal y como se indica en la Figura 4-2.

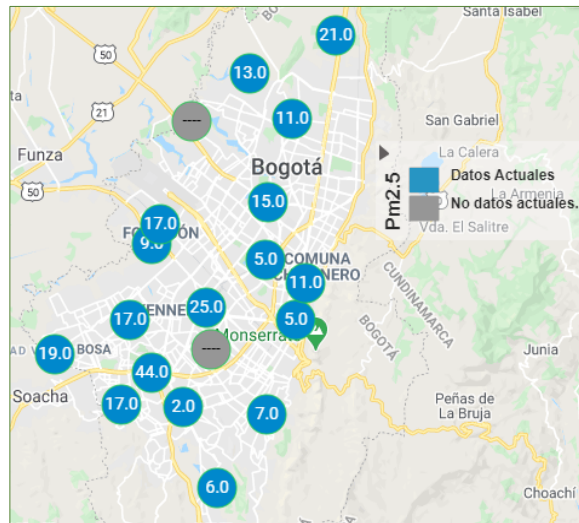


Figura 4-2. Ubicación de las estaciones meteorológicas de Bogotá indicando el índice IBOCA para PM<sub>2.5</sub> (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023)

En coordenadas geográficas, la Tabla 3-1 del **Capítulo 3** recoge la localización geográfica de cada una de las estaciones meteorológicas funcionales de la ciudad según lo reportado por la **RM CAB**.

En el segundo grupo, **Demografía**, se han seleccionado los datos provenientes de las capas “Densidad de la población por Unidad de Planeación Zonal (UPZ)” y la “Población en edad de trabajar”, cada una identificada para el estudio como **001\_VD** y **002\_VD**, respectivamente. La primera de las capas tiene información por UPZ acerca de población, composición y densidad urbana para la ciudad de Bogotá al año 2009 y, aunque el periodo inicial es de 2009, se tomaron los datos de 2017 publicados por la Secretaría de Planeación de Bogotá en el Laboratorio Urbano. En cuanto a **002\_VD**, el panel que resume la información geográfica empleada para este estudio se muestra en la Figura 4-3.

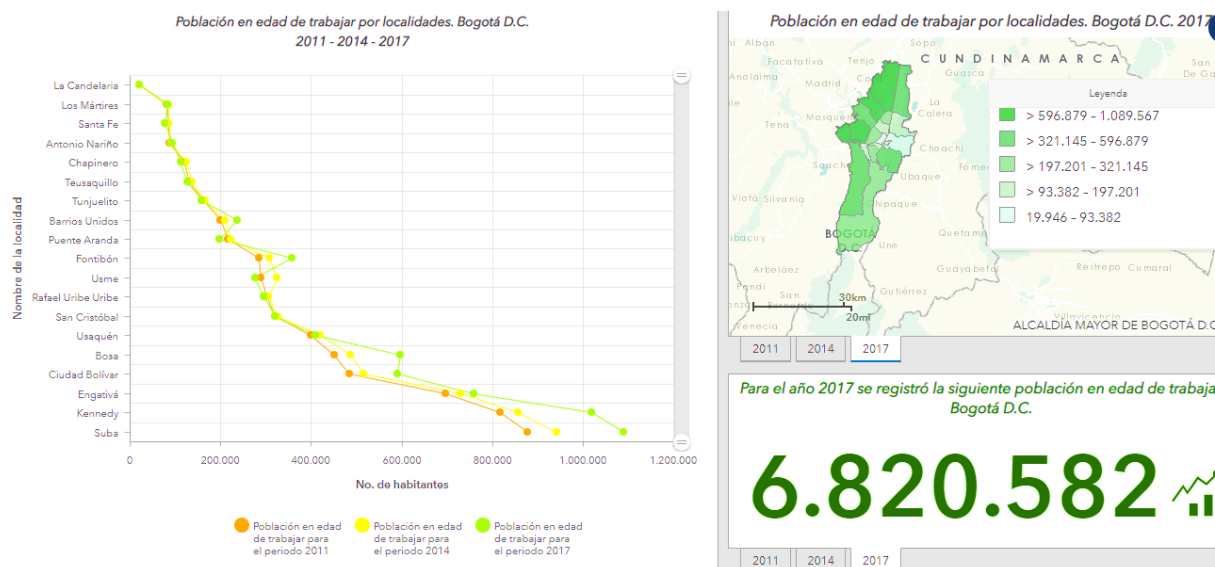


Figura 4-3: Población en edad de trabajar (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, 2022)

Para el grupo de **Salud y protección social**, se descargaron los datos de las “Instituciones prestadoras de salud” (**001\_VS**) y los “Pensionados activos por localidad” (**002\_VS**). Los datos de **001\_VS** contienen información geográfica organizada por localidad referente al conjunto de entidades que han sido aprobadas por la Secretaría Distrital de Salud para prestar el servicio de forma parcial en 2020, junto con los procedimientos que demanden el Plan Obligatorio de Salud (POS), mientras la información recogida en **002\_VS** corresponde a los datos públicos relevantes de la población pensionada activa según el Fondo de Prestaciones Económicas, Cesantías y Pensiones (FONCEP), reportados del año 2020.

Por su parte, el “Ingreso per cápita” (**001\_VE**) y las “Empresas creadas” (**002\_VE**), conforman el grupo de **Economía y finanzas** con datos procedentes en los dos casos de la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico; el primero de ellos muestra el ingreso de la población de la ciudad de 2017, y el segundo subgrupo muestra la cantidad de compañías en Bogotá que han creado su registro mercantil en el año 2018.

En el aspecto social, los subgrupos analizados son “Demografía de la población víctima del conflicto por localidad” identificado como **001\_VI** y “Bono de alimentación” como **002\_VI**. En la primera capa se encuentra la información de la población de víctimas del conflicto armado en el distrito capital a nivel localidad del 2019. La capa **002\_VI** muestra las medidas de ayuda humanitaria de alimentación que la Alta Consejería para los Derechos de las Víctimas, Paz y Reconciliación (ACDVPR), otorga mediante un bono a las víctimas del Conflicto Armado Interno que llegan a la ciudad y cumplen con los requisitos de ley por localidad para el año 2019 (República de Colombia, 2011).

Finalmente, el grupo de **Educación** lo integran las capas **001\_VM** y **002\_VM** siendo éstas la “Matrícula Total en Colegios Oficiales” del año 2020 y la “Tasa de Deserción Escolar Colegios Oficiales Bogotá” de 2018. La matrícula total es el registro que permite organizar y controlar el proceso de matrícula a nivel general en todos los ciclos educativos, incluyendo la matrícula en población con discapacidad. Con el sistema integrado de matrícula **SIMAT**, impulsado por el Ministerio de Educación, es posible conocer los estudiantes que han sido matriculados en las instituciones oficiales y no oficiales de la ciudad, en el marco de la política de cobertura educativa de la Secretaría de Educación del Distrito (Unidad Administrativa

Especial de Catastro Distrital, 2022). La misma secretaría también reporta la segunda capa seleccionada, la cual contiene el cociente entre el número de alumnos por UPZ, que desertaron el curso en el que estaban matriculados en el año 2018 sobre el total de matriculados (aprobados+ reprobados + abandonos) en este mismo periodo de tiempo para entidades no oficiales. Este indicador varía entre 0 y 100.

#### 4.2.4.- Instrumentación

El estudio se realizó haciendo uso del software **GeoDa**<sup>®</sup> (Anselin, 2003) y el Sistema de Información Geográfico de ESRI, ArcGIS<sup>®</sup>. El primer software fue desarrollado por el Centro de Ciencias Sociales espacialmente Integradas (CSISS) y el Centro Nacional de Información y Análisis Geográficos desde 1993, para conseguir la armonización entre ArcInfo de ESRI y SpaceStat<sup>®</sup>. Consiste en un entorno interactivo que combina mapas con gráficos estadísticos para el análisis de datos espaciales. De manera adicional, se usó la aplicación de ArcGIS<sup>®</sup> de Autocorrelación Espacial de Moran *I*, disponible a través de las herramientas “*Analyzing Patterns*”, con el objetivo de medir simultáneamente la autocorrelación espacial en función de las ubicaciones y sus características. Estas herramientas han sido empleadas recientemente por varios autores para el estudio de patrones espaciales en contextos específicos (Fu et al., 2014), (Hipp & Chalise, 2015).

#### 4.2.5.- Método analítico

Las dos herramientas empleadas calculan el **Índice de Moran**, evaluando si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio. Las salidas de las herramientas son el valor del índice junto con una puntuación *z* y un valor *p-value* para validar el estadístico de prueba de dos colas y evaluar la significancia de dicho índice. Este tipo de autocorrelación es multidireccional y multidimensional, pero, a diferencia de los coeficientes de correlación, no mide exclusivamente la correlación perfecta. La estructura del índice de Moran (*I*) para la autocorrelación espacial está dada por (Celemin, 2009):

$$I = (n / S_o) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i / \sum_{i=1}^n z_i^2 \quad (4-1)$$

Donde  $S_o$  es la suma de los elementos de la matriz de pesos:

$$S_o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (4-2)$$

$Z$  representa desviaciones de la media  $(x_i - \bar{x})$  o  $(x_j - \bar{x})$ ;

$x_i$  es el valor de una variable en una unidad espacial  $y$ ,

$x_j$  es el valor de la variable en otra localización, normalmente las vecinas a  $x_i$ .

Según el índice obtenido, se pueden definir patrones espaciales y tipos de dispersión. Para ello, **GeoDa**<sup>®</sup> complementa el resultado de **ArcGIS**<sup>®</sup>, permitiendo analizar las agrupaciones de la información con su respectiva significancia mediante gráficos con cuatro cuadrantes y una línea con pendiente igual a 1 (Figura 4-4).

Las matrices de pesos espaciales por contigüidad empleadas para el estudio desde **GeoDa**<sup>®</sup> son de tipo “*Reina de orden 1*”, semejante a la pieza de ajedrez, donde los vecinos de cada unidad espacial están a un paso de distancia entre sí y comparten vértice o arista:

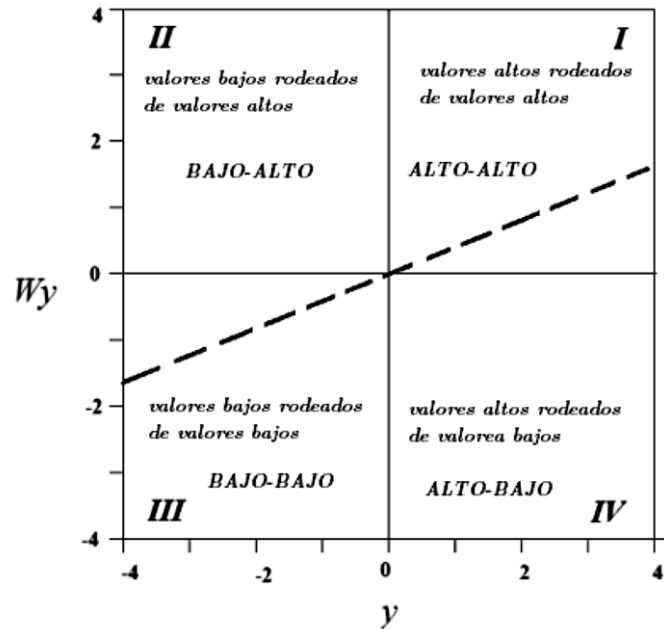


Figura 4-4: Gráfica de Moran. Fuente: (Huitrón M., 2020)

Una vez arrojados los cálculos y las gráficas para cada variable o subgrupo seleccionado por parte de las herramientas, se siguen los pasos para evaluar estadísticamente los resultados haciendo el planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), donde la  $H_0$  es de no autocorrelación espacial ( $I \cong 0$ ) y la  $H_a$  es de autocorrelación espacial ( $I \neq 0$ ). Después de dicho planteamiento, se elige el nivel de significancia o máximo de nivel de error tolerado. En este caso, se ha optado por un nivel de significancia del 5% con un valor  $\alpha = 0.05$  y nivel de confianza del 95%.

Con lo anterior, se determina la zona de rechazo y no rechazo de la  $H_0$ , siendo una prueba de dos colas la esperada. A partir de eso, se rechaza  $H_0$  si el estadístico de prueba está en la región crítica; de lo contrario, no se rechaza  $H_0$ . Además, el valor  $z$  complementa la inferencia porque un valor positivo indicará que los datos están espacialmente agrupados, mientras un valor negativo denota un modo competitivo entre dato y dato. El valor  $z$ , a ese nivel de significancia y en una distribución normal, es de  $\pm 1.96$  (Huitrón M., 2020).

#### 4.2.6.- Resultados

- **Análisis del índice de Morán univariante**

El tratamiento de cada una de las variables permitió recolectar los resultados de la Tabla 4-2, para validar si hay patrones espaciales en los datos, antes de continuar con el análisis del **Índice I de Morán** bivalente entre el material particulado y el resto de las variables.

Del primer grupo, solamente los patrones de asociación espacial de las variables **001\_VA** y **004\_VA** son estadísticamente significativos y tienden a estar agrupados en el espacio, mientras en las variables **002\_VA** y **003\_VA** no se da el mismo comportamiento. Si bien el  $I$



de Morán empírico guarda distancia con el estimado en los dos casos, los valores de  $z$  recaen en la región de aceptación de  $H_0$  (1.6233, -0.3210). Eso significa que la distribución de los datos en **002\_VA** y **003\_VA** no se debe a estructuras espaciales, sino a la casualidad.

En el grupo (2), la variable **001\_VD** no pasó el estadístico de prueba porque el valor  $p$ -value se alejó de cero (0.14825) y el valor de  $z$  se encontró lejos del valor de referencia fijado para el estadístico, situándose en la zona de aceptación de la  $H_0$ . Es importante indicar que la salida de ArcGIS® indicó dispersión aleatoria (zona *random*), mientras que en GeoDa®, el software por defecto, eliminó la matriz de pesos antes de reproducir la gráfica. En cuanto a la segunda variable de este grupo, los resultados demostraron que la distribución para **002\_VD** no se debe a la casualidad, sino que se debe a estructuras especiales, generando un *input* para proceder con el análisis del *I* de Morán bivalente.

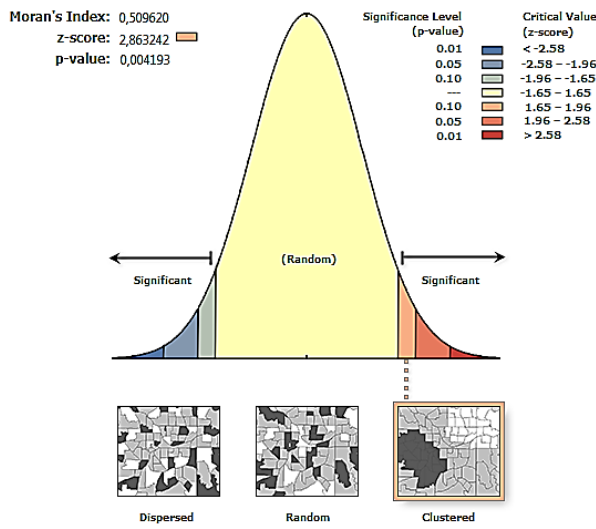
De acuerdo con la evidencia estadística del grupo (3), la variable **002\_VS** presenta un valor de  $z$  crítico, con un 95% de confianza, en el área de aceptación de  $H_0$ , lo cual significa que no existe autocorrelación espacial. Además, se cumplen otras condiciones como índices de Moran empíricos con valores muy cercanos al estimado y  $p$ -value alejado de cero (0.18100). Caso contrario sucede con la otra variable del grupo; la distribución de la variable **001\_VS** no es producto del azar y se mantiene para el análisis bivalente.

Tabla 4-2: Resumen de resultados calculados en ArcGIS® y en GeoDa®. Fuente: Propia

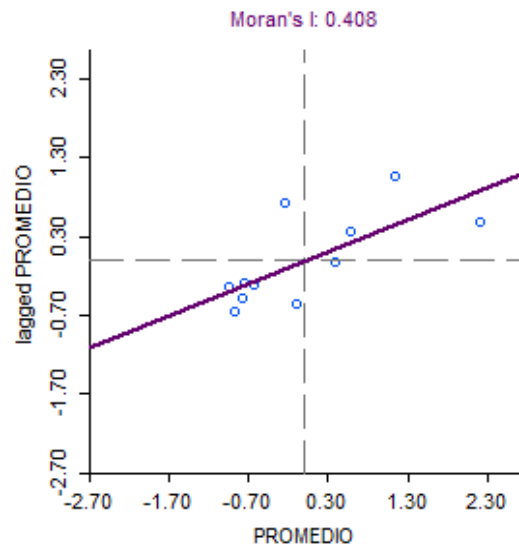
Grupo	Variable	GeoDa®				ArcGIS®			
		I Moran estimado	sd	z-value	p-value	I Moran estimado	z-score	p-value	>%
1	<b>001_VA</b>	0.408	0.1596	3.2018	0.00400	0.50962	2.86324	0.00419	1
1	<b>002_VA</b>	0.191	0.1727	1.6233	0.06700	0.28615	1.72267	0.08495	10
1	<b>003_VA</b>	-0.155	0.1651	-0.3210	0.40900	0.04847	0.67559	0.49929	-
1	<b>004_VA</b>	0.270	0.1319	2.7484	0.00600	0.30310	2.20311	0.02759	5
2	<b>001_VD</b>	0.276	0.0582	4.9354	0.00100	1.14458	1.44575	0.14825	*
2	<b>002_VD</b>	0.277	0.1407	2.3885	0.01900	0.07858	3.09375	0.00197	1
3	<b>001_VS</b>	0.062	0.0087	7.1072	0.00100	0.11145	8.09659	0.00000	1
3	<b>002_VS</b>	0.068	0.1423	0.8824	0.18100	0.03424	2.04783	0.04057	5
4	<b>001_VE</b>	0.492	0.1341	4.0739	0.00100	0.06290	2.72506	0.00643	1
4	<b>002_VE</b>	0.339	0.1401	2.8085	0.01300	0.06946	2.87810	0.00400	1
5	<b>001_VI</b>	0.381	0.1366	3.2227	0.00500	0.13304	2.38189	0.01722	5
5	<b>002_VI</b>	0.463	0.1381	3.7768	0.00300	0.10509	2.03587	0.04176	5
6	<b>001_VM</b>	0.670	0.0285	23.574	0.00100	0.20769	30.2246	0.00000	1
6	<b>002_VM</b>	0.093	0.1221	1.1754	0.11800	0.00732	1.41679	0.15654	-

Para los grupos restantes (4), (5) y (6), las dos variables en cada uno de los casos mantienen patrones de asociación espacial dado la prueba de hipótesis verificada, con excepción de la última de las variables del grupo 6, correspondiente a **002\_VM**, que queda descartada para la estimación del *Índice de Moran* bivalente teniendo en cuenta que los cálculos discrepan

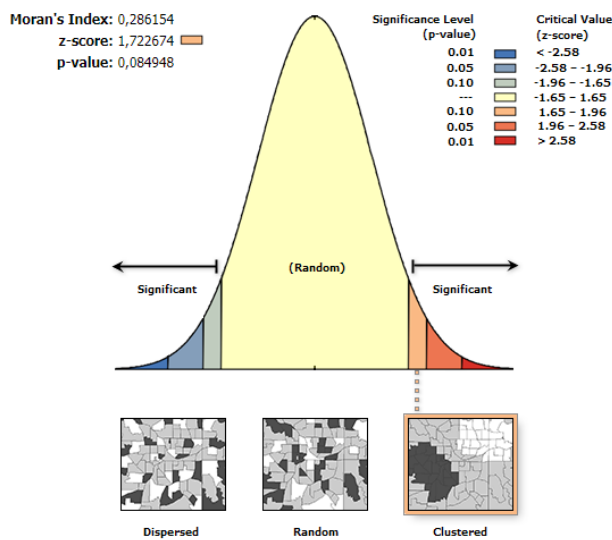
de una herramienta a otra y, a su vez, cuenta con un *p-value* alejado de cero, así como un valor *z-value* cercano al *z* crítico establecido para la prueba estadística, entre -1.96 y 1.96.



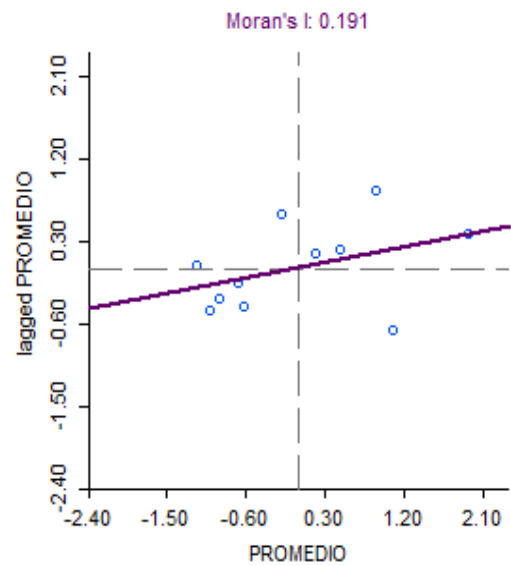
001\_VA(a)



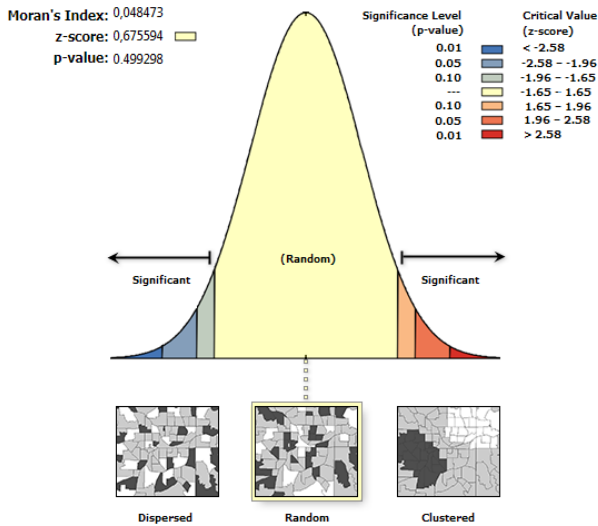
001\_VA(b)



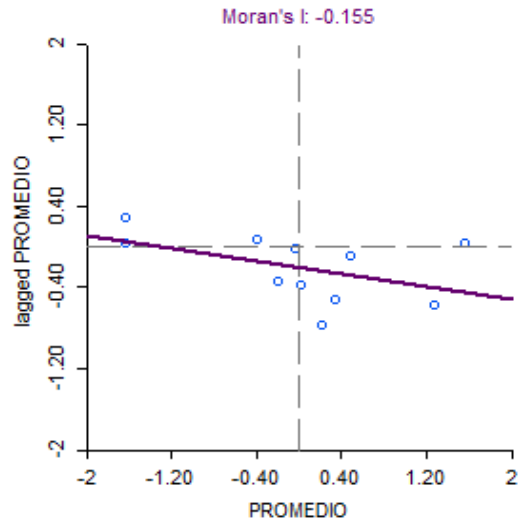
002\_VA(a)



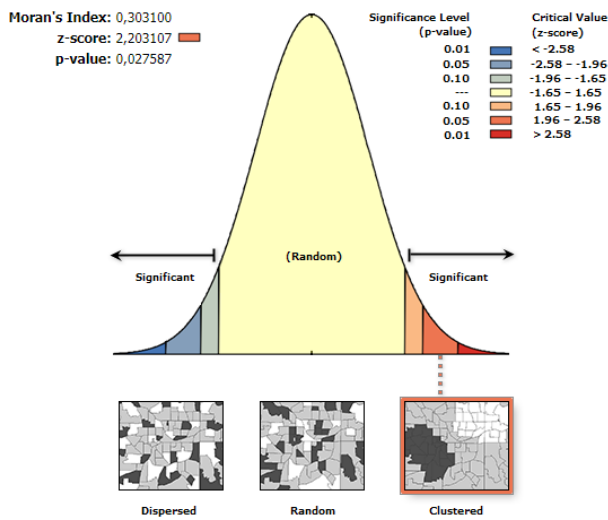
002\_VA(b)



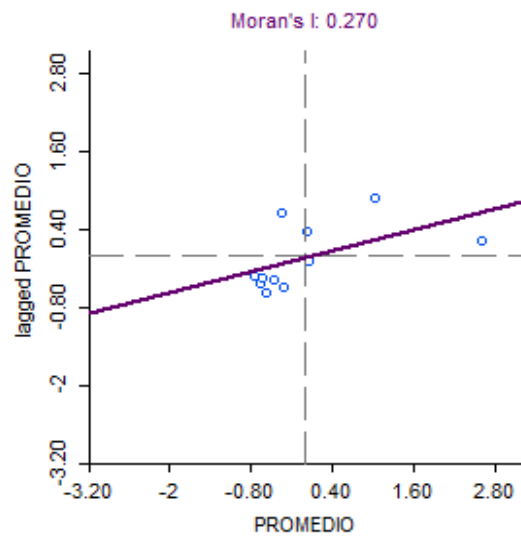
003\_VA(a)



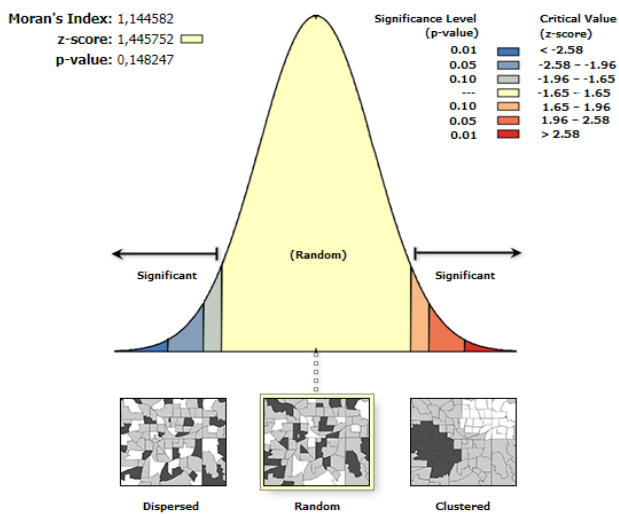
003\_VA(b)



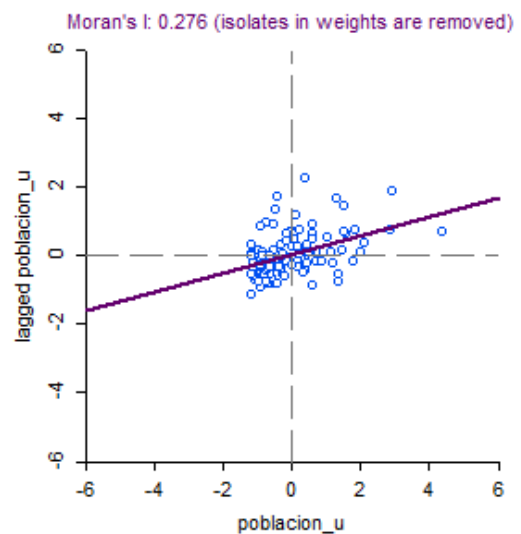
004\_VA(a)



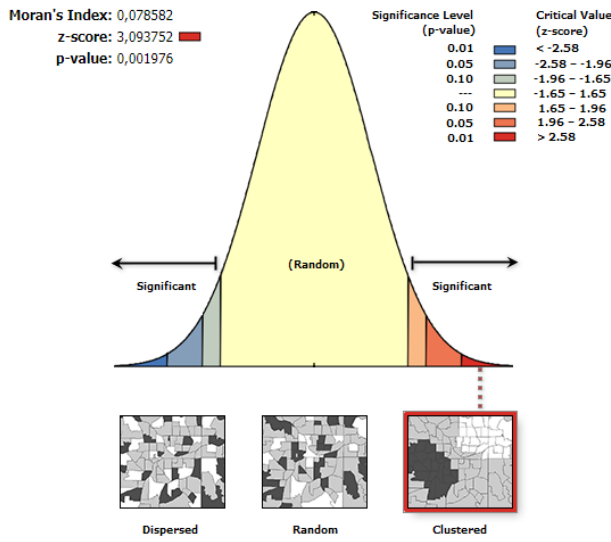
004\_VA(b)



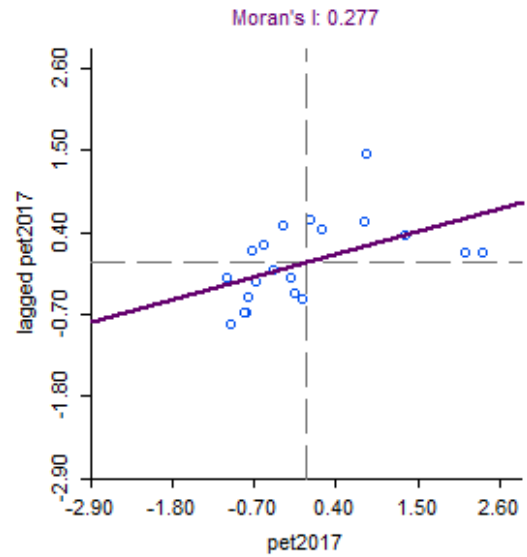
001\_VD(a)



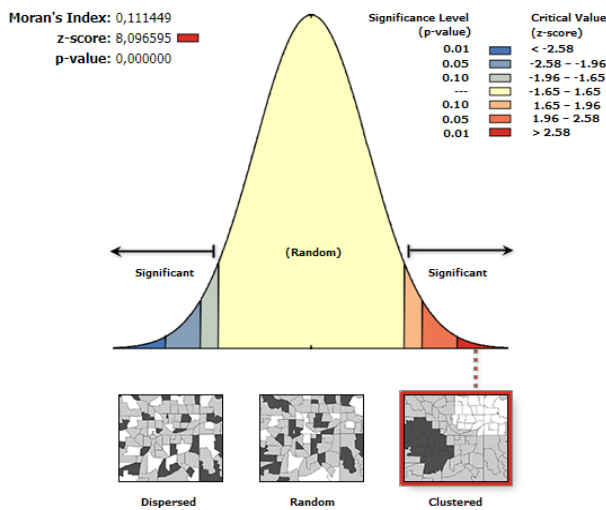
001\_VD(b)



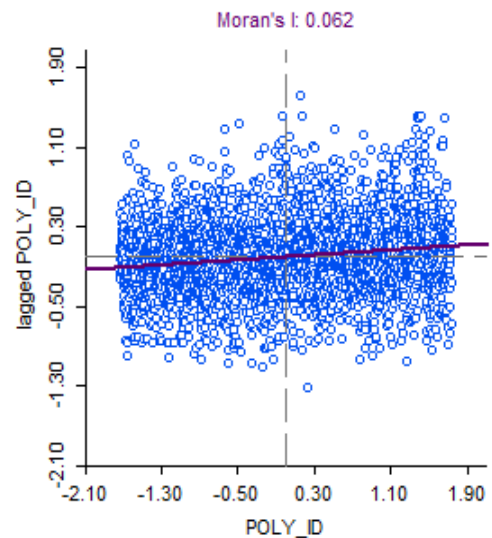
002\_VD(a)



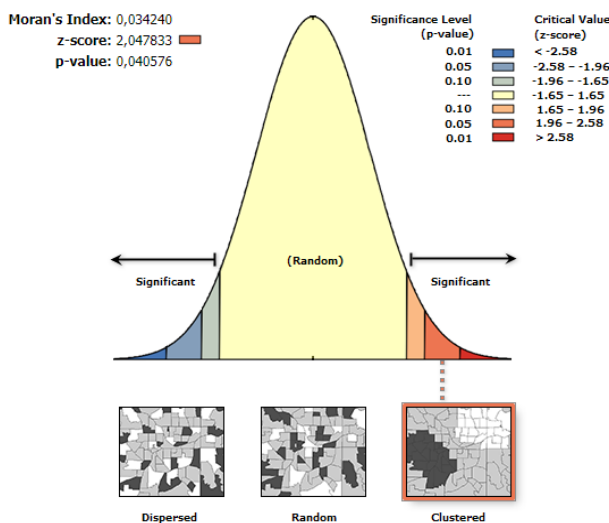
002\_VD(b)



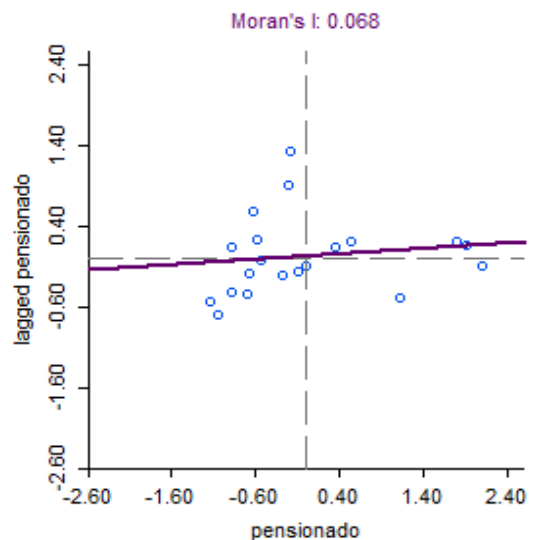
001\_VS(a)



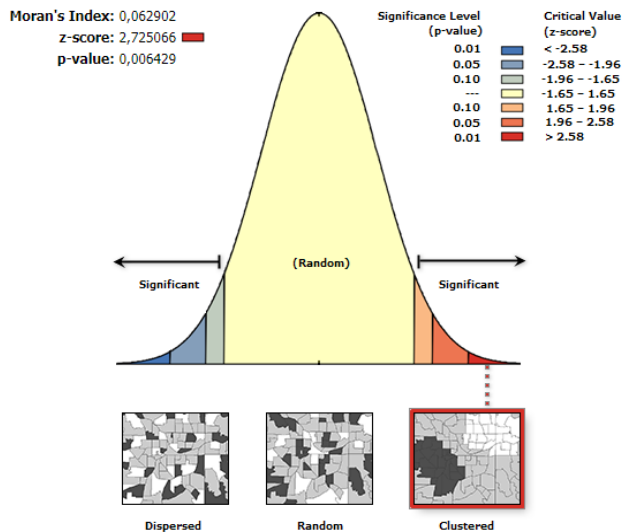
001\_VS(b)



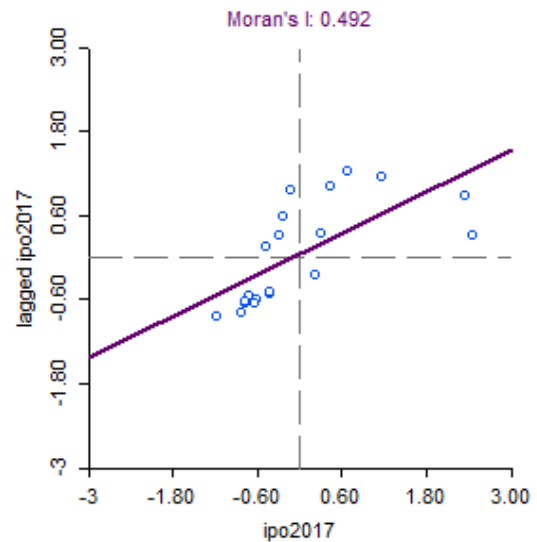
002\_VS(a)



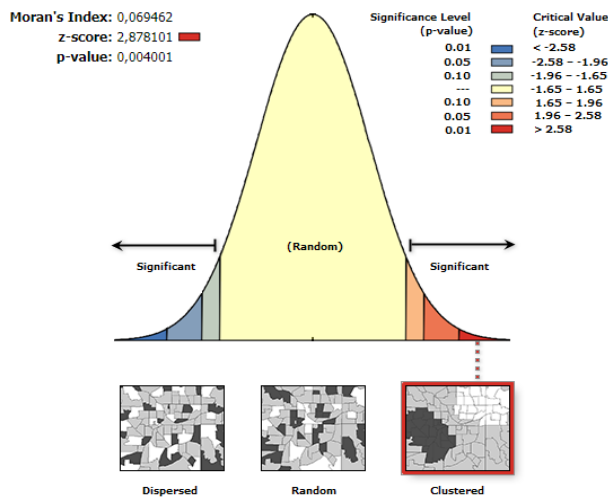
002\_VS(b)



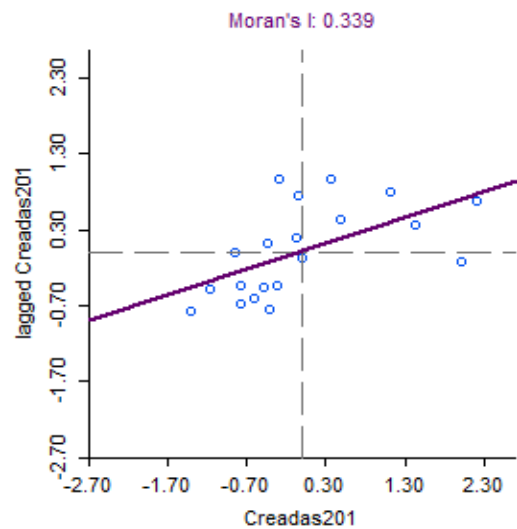
001\_VE(a)



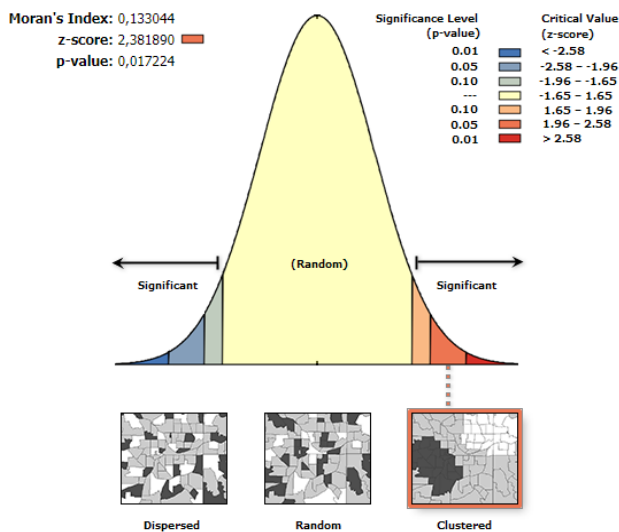
001\_VE(b)



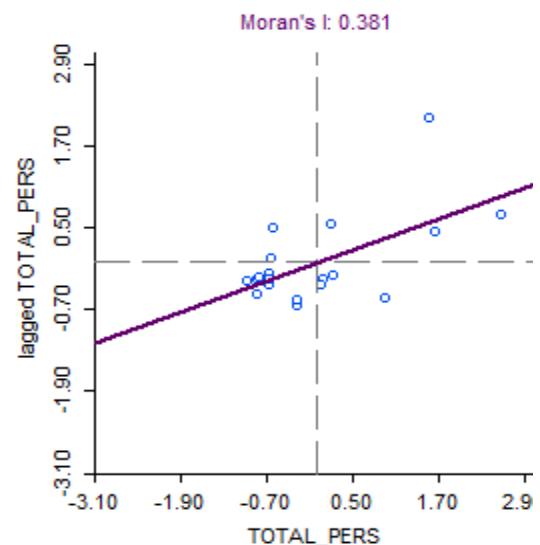
002\_VE(a)



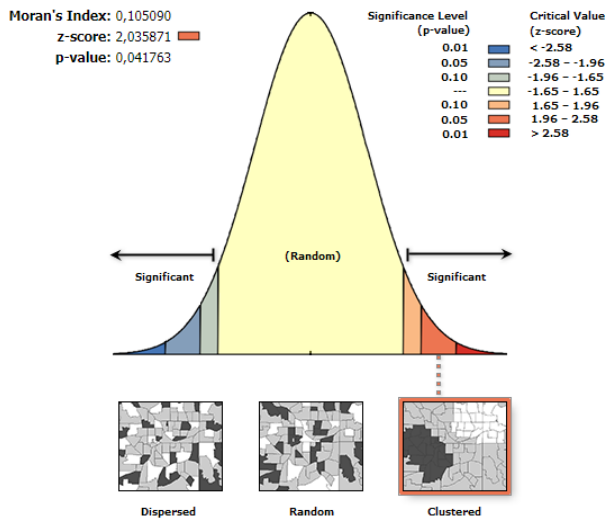
002\_VE(b)



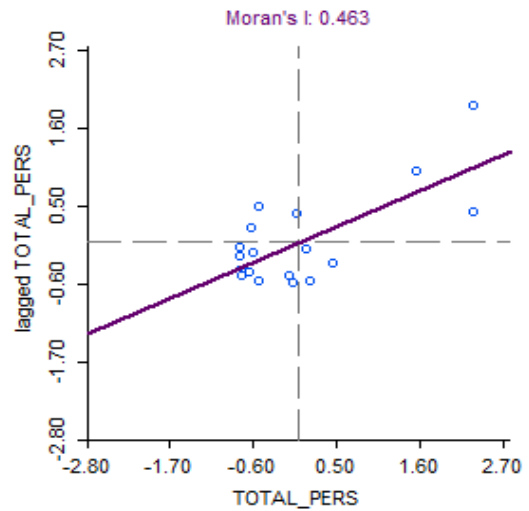
001\_VI(a)



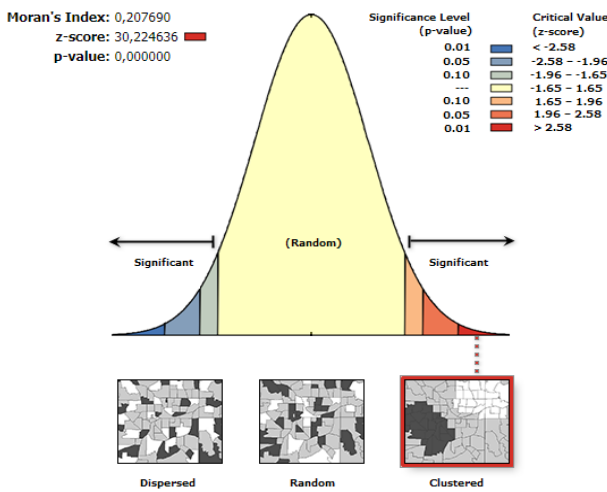
001\_VI(b)



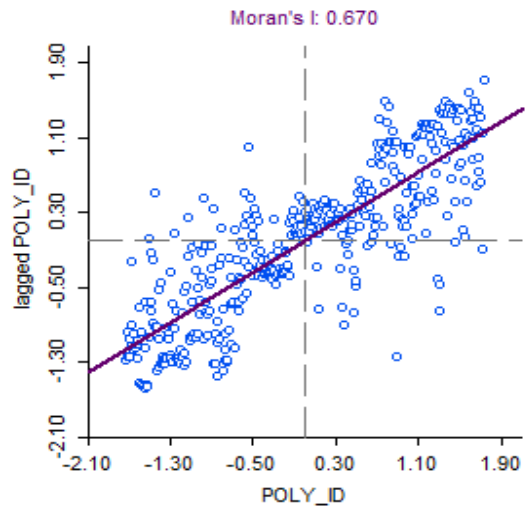
002\_VI(a)



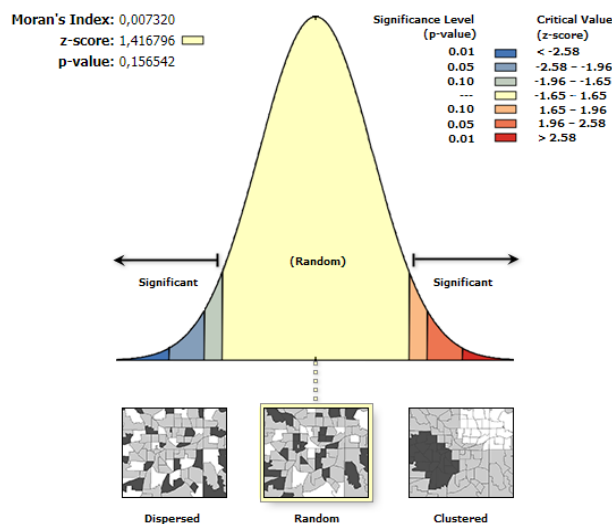
002\_VI(b)



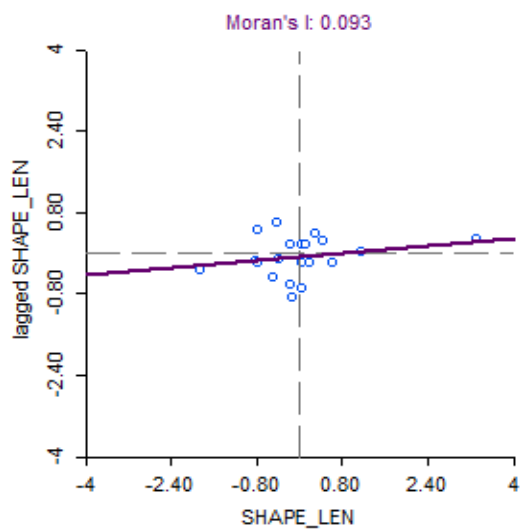
001\_VM(a)



001\_VM(b)



002\_VM(a)



002\_VM(b)

Figura 4-5. Gráficos de ArcGIS® (a) y de GeoDa® (b). Fuente: Propia

- **Análisis del índice de Morán bivalente**

Partiendo de los resultados anteriores, se procedió a calcular nuevamente los criterios, pero esta vez para verificar si existe autocorrelación espacial entre la concentración de material particulado y el resto de las variables que presentaron autocorrelación espacial.

El estadístico de prueba empleado en el análisis univariante, así como el peso y la contigüidad en **GeoDa**<sup>®</sup> (Reina de orden 1) se mantuvo para el análisis bivalente. En cada caso, se verificaron tres aspectos: i) que el I de Moran empírico estuviera lo suficientemente alejado del I de Moran simulado, ii) que **p-value** se encontrara cercano a cero y, iii) la verificación el valor crítico z en la zona de rechazo o no rechazo de la **H<sub>0</sub>**.

La Tabla 4-3 resume los parámetros para el estadístico de prueba:

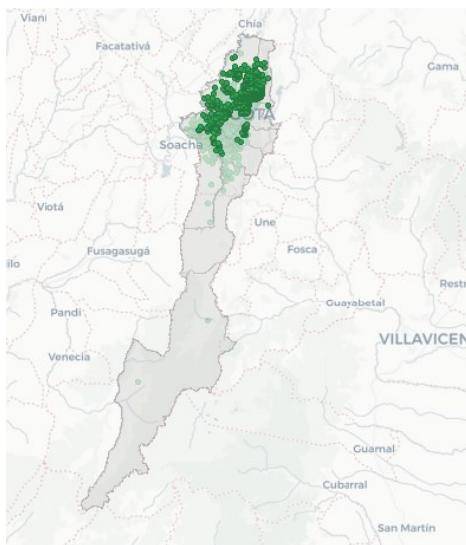
*Tabla 4-3: Resumen de resultados calculados por GeoDa<sup>®</sup> para el análisis bivalente. Fuente: Propia; GeoDa<sup>®</sup>*

Variables	I Moran estimado	sd	z-value	p-value
001VA: 002_VD	0.173	0.2020	1.2034	0.12600
004VA: 002_VD	0.028	0.1861	0.4751	0.30000
001VA: 001_VS	0.121	0.0193	21.336	0.00100
004VA: 001_VS	0.111	0.0192	20.314	0.00100
001VA: 001_VE	-0.505	0.2665	-2.1465	0.01900
004VA: 001_VE	-0.311	0.2486	-1.4179	0.07000
001VA: 002_VE	0.233	0.1208	2.2328	0.02800
004VA: 002_VE	0.218	0.1201	2.1212	0.03500
001VA: 001_VI	-0.065	0.1932	-0.6801	0.22200
004VA: 001_VI	-0.020	0.1930	-0.4386	0.27600
001VA: 002_VI	-0.047	0.1033	-0.3030	0.38300
004VA: 002_VI	-0.036	0.1009	-0.1716	0.45100
001VA: 001_VM	0.257	0.0345	7.4454	0.00100
004VA: 001_VM	0.255	0.0341	7.4662	0.00100

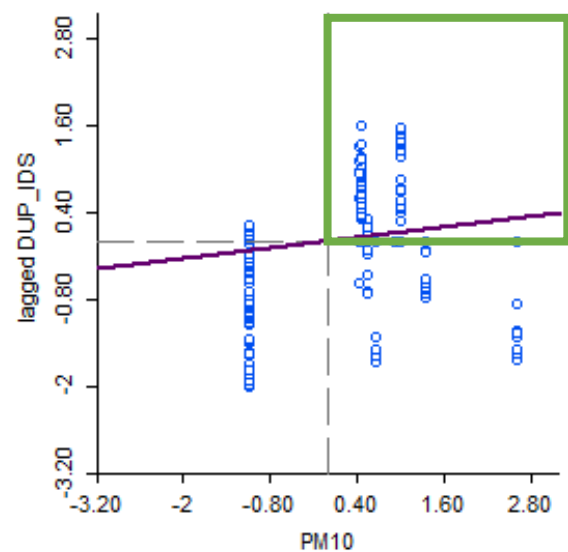
Si bien algunas de las variables individuales presentaban autocorrelación espacial en el análisis univariante, al combinar las dos variables y proceder con el cálculo bivalente, se encontró correlación espacial en siete tratamientos. Se obtuvo evidencia estadística de correlación espacial entre el material particulado **PM<sub>10</sub>** y **001\_VS, 001\_VE, 002\_VE** y **001\_VM**, mientras para el otro contaminante, es decir, para **PM<sub>2.5</sub>**, se encontraron patrones de asociación espacial solamente con **001\_VS, 002\_VE** y **001\_VM**.

La Figura 4-6 recoge el reporte gráfico suministrado por **GeoDa**<sup>®</sup>, después del cálculo del **I de Moran**. De dicha figura, se infiere que la única correlación especial que mostró un valor **z**

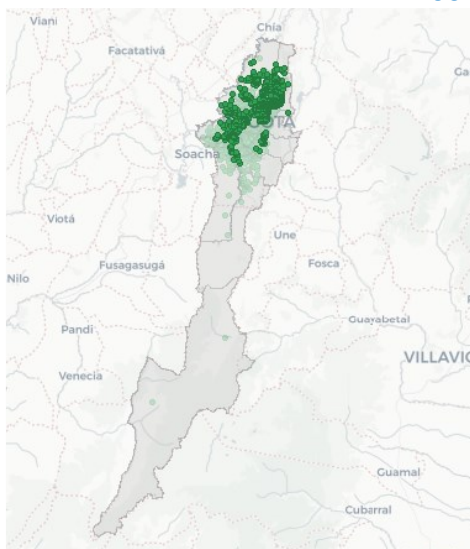
negativo fue la nombrada como **001\_VA & 001\_VE**, lo que supone que hay datos agrupados en un modo competitivo; es decir, los valores altos repelen a otros valores altos y los valores negativos repelen a otros valores negativos. El resto de las correlaciones espaciales presentaron valores  $z$  positivos, lo que significa que los datos están agrupados en algún modo. En esa condición, las gráficas **001\_VA & 001\_VS**, **004VA & 001\_VS** y **004\_VA & 002\_VE**, muestran altas frecuencias en los datos del primer cuadrante, lo que sugiere que los valores altos procedentes de las dos variables están rodeados entre sí por los valores más altos. Todo lo contrario, sucede en las gráficas **001\_VA & 002\_VE**, **004\_VA & 001\_VM** y **001\_VA & 001\_VM**, que recaen sobre el tercer cuadrante, donde los valores bajos de una de las variables están rodeados por los valores bajos de la otra.



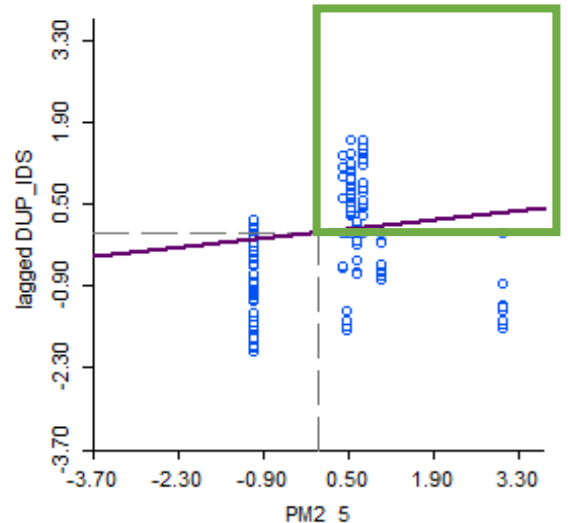
Moran's I: 0.121 (isolates in weights are removed)



**001\_VA & 001\_VS**

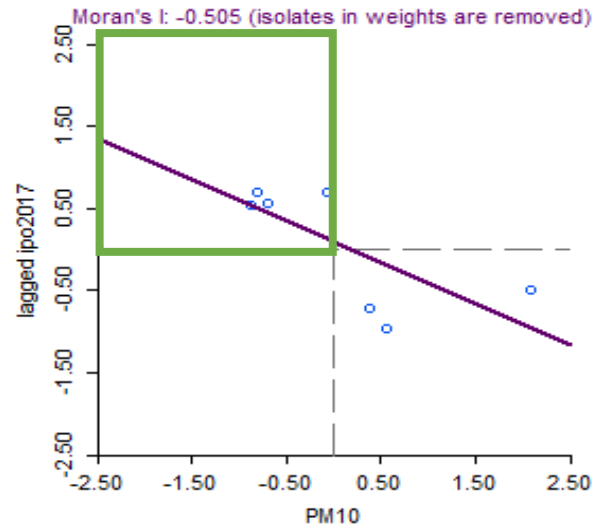
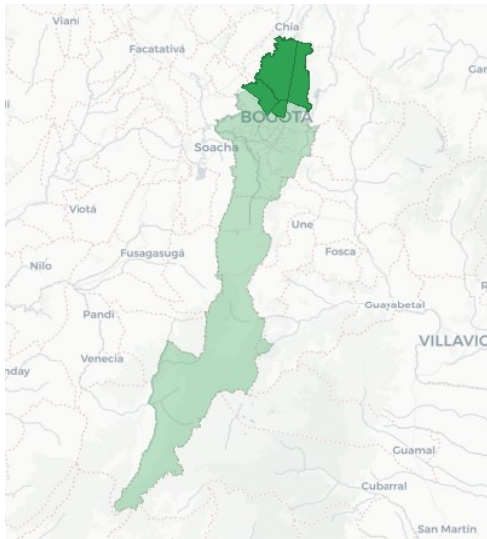


Moran's I: 0.111 (isolates in weights are removed)

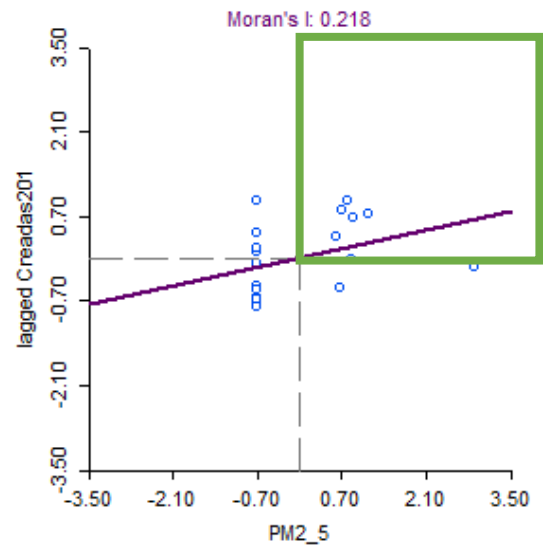
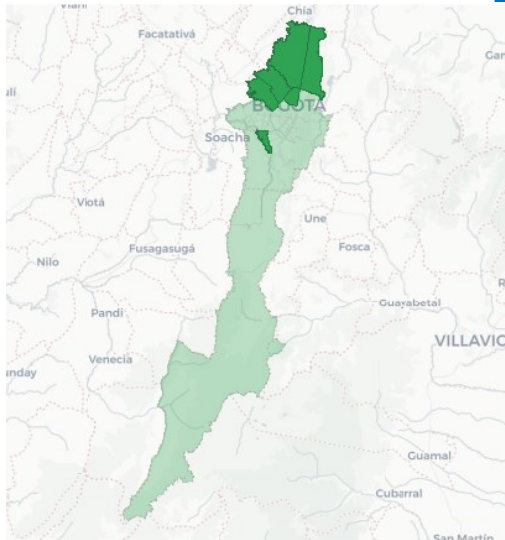


**004VA & 001\_VS**

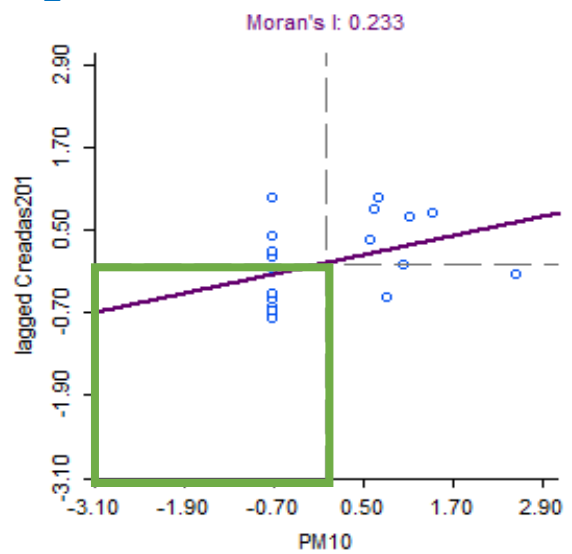
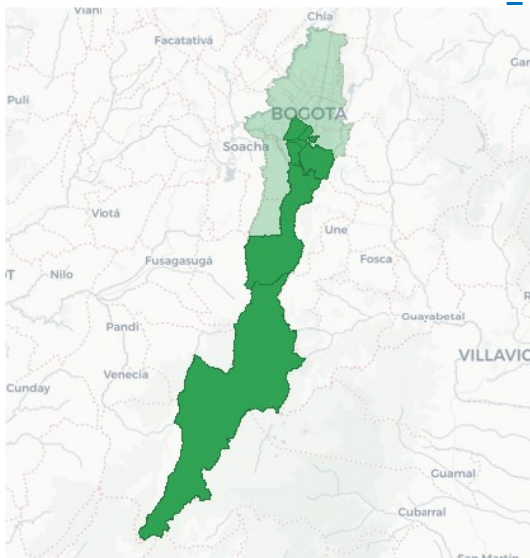




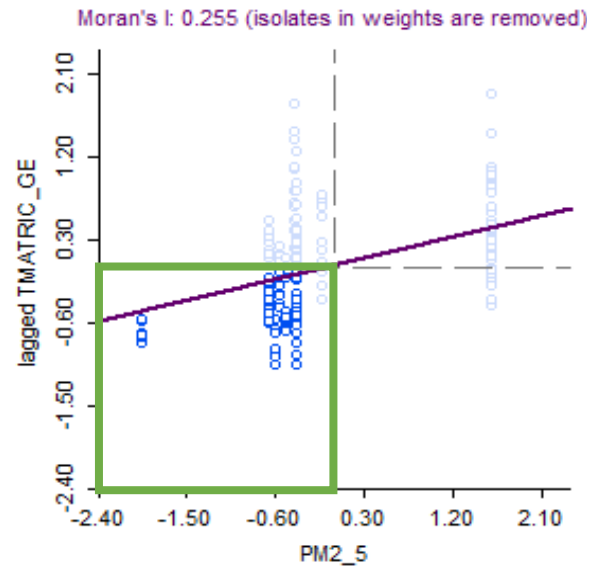
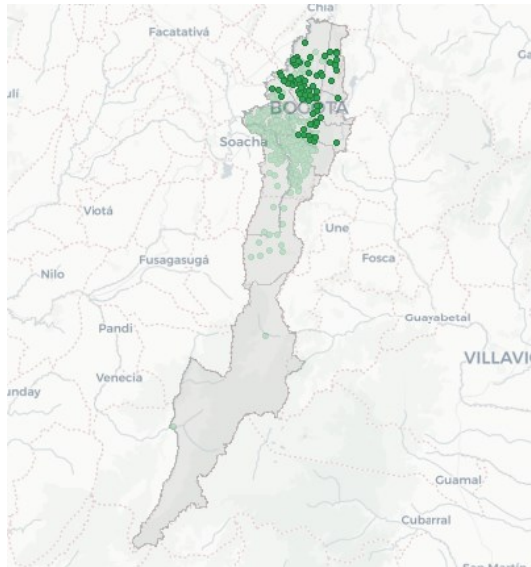
001\_VA & 001\_VE



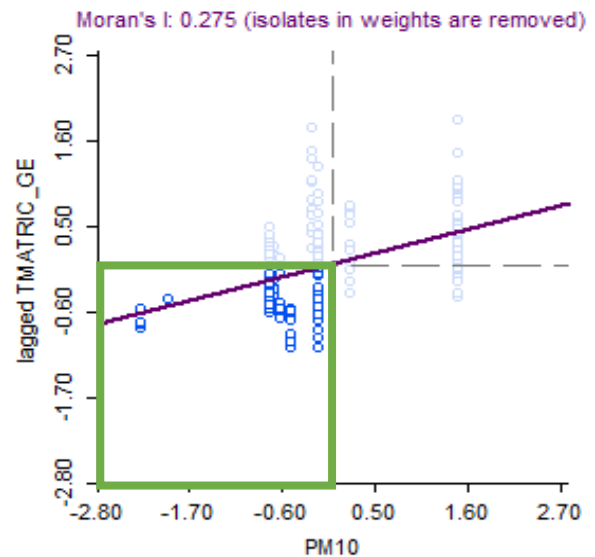
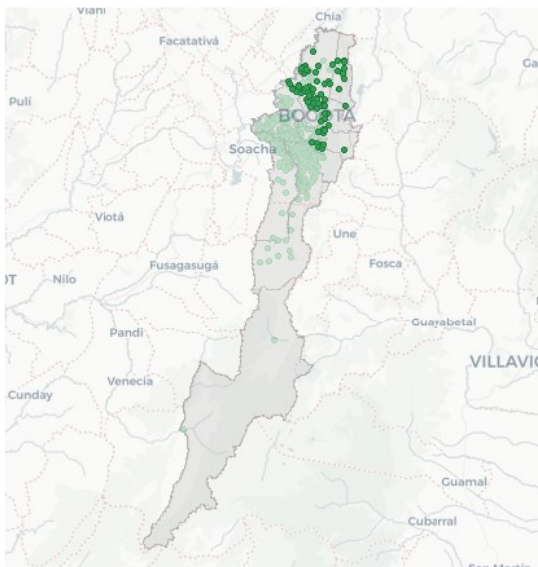
004\_VA & 002\_VE



001\_VA & 002\_VE



004\_VA & 001\_VM



001\_VA & 001\_VM

Figura 4-6. Índice de Moran e histogramas de cada una de las correlaciones. Fuente: Propia; GeoDa®

Los resultados del presente numeral fueron expuestos el **XXV Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyecto** organizado por la Asociación de los profesionales de la Dirección e Ingeniería de Proyectos de España (AEIPRO) en el mes de julio de 2021 (**Anexo D**).

### 4.3.- CONCLUSIONES

La concentración promedio anual de los **contaminantes atmosféricos (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>)** censadas por la **RMCAB** en las **19 localidades** de Bogotá se sometieron a correlación espacial con la densidad de la población por UPZ (2017), población en edad de trabajar (2017), instituciones prestadoras de salud (2020), pensionados activos (2020), ingreso per cápita (2017), empresas creadas (2018), demografía de la población víctima por localidad (2019), bono de alimentación (2019), matrícula total en colegios oficiales (2020) y finalmente, tasa de

deserción escolar en colegios oficiales (2018). Se optó por dicha selección dada la heterogeneidad en las fechas de los metadatos y los formatos de descarga disponibles en los recursos del IDECA. En ese sentido, se ha atendido a la recomendación hecha por (Laurent et al., 2007), asumiendo mayor cantidad de variables socioeconómicas en estudios de este tipo.

En primer lugar, se analizaron individualmente los datos seleccionados de la muestra a través de GeoDa®. Se encontró un agrupamiento espacial significativo de la concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> del año 2014 y PM<sub>2.5</sub> del 2019, a nivel localidad en Bogotá. Sin embargo, la evidencia estadística no fue suficiente para concluir lo mismo para PM<sub>10</sub> del año 2019 y PM<sub>2.5</sub> de 2014. En el grupo de variables que integraba aspectos demográficos, sólo los datos de población en edad de trabajar pertenecientes de 2017 son estadísticamente significativos y tienden a estar agrupados en el espacio, lo que implicó su uso posterior en el análisis del Índice de Morán bivariante. Situación semejante presentaron las variables de instituciones prestadoras de salud, con datos de 2020, el ingreso per cápita de 2017, las empresas creadas en 2018, así como la demografía de la población víctima por localidad del año 2019, el bono de alimentación del mismo año y la matrícula total en colegios de 2020, exceptuando la tasa de deserción escolar de colegios del grupo de educación de 2018, por caer en la zona de aceptación de la hipótesis nula (H<sub>0</sub>).

Para el análisis bivariante, se calcularon los indicadores LISA a través de GeoDa®. De acuerdo con los resultados, existe correlación espacial entre PM<sub>10</sub> (2014) y las instituciones prestadoras (2020), el ingreso per cápita (2017), las empresas creadas (2018) y la matrícula total en colegios oficiales (2020). En cuanto a PM<sub>2.5</sub> (2019), se infiere que la relación de dicha concentración con las instituciones prestadoras (2020), las empresas creadas (2018) y la matrícula total en colegios oficiales (2020), no se debe a la casualidad, sino a estructuras espaciales entre ellas.

Adicionalmente, resulta de interés ahondar en la correlación encontrada en el tercer cuadrante de las gráficas de Morán, dado que indican que los valores más bajos de concentración de PM<sub>10</sub> (2014) se presentaron en los sitios de Bogotá donde se han creado menos empresas y se han matriculado menos jóvenes en colegios oficiales.

Por su parte, en el cuadrante uno, la correlación espacial indica que la población expuesta a las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> (2019) más altas se presentaron en las zonas con mayores unidades prestadoras de salud y más empresas creadas. Estas notables diferencias en los cuadrantes se deben posiblemente a la divergencia en la temporalidad de los datos dada la limitación de los recursos disponibles. Es por ello, que en los próximos estudios de ponderación geográfica de este tipo es recomendable extender el análisis a periodos de tiempo semejantes, normalizar, proyectar y ampliar la batería de las variables, conforme las plataformas cartográficas lo permitan.

Es importante precisar que los recursos de IDECA se encuentran en construcción y son alimentados periódicamente por todas y cada una de las entidades distritales que conforman el gobierno local.

## 5.- MEJORAS A LA ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA DE BOGOTÁ

En el **Capítulo 3** se abordaron los principales fundamentos de la metodología de estratificación actual de Colombia y en concreto la zona urbana de Bogotá, y, partiendo de ello, se propone a continuación, una serie de consideraciones que podrían tener repercusiones en las próximas actualizaciones.

Las actualizaciones están reguladas por acuerdos distritales cada cinco años y permiten armonizar la metodología de estratificación socioeconómica urbana y rural, sin embargo, el marco conceptual debe replantearse, después de treinta años, resulta insuficiente para alcanzar equidad socioambiental en los territorios.

### 5.1.- OBJETIVO DEL CAPÍTULO

**Elaborar una propuesta de mejora, en el marco de la equidad ambiental, que permita determinar la estratificación socioeconómica urbana de Bogotá.**

### 5.2.- METODOLOGÍA ACTUAL (NME-DANE)

Tal y como se indicó en el **Capítulo 3**, los principios que motivaron la estratificación socioeconómica consignadas en la Constitución Política de Colombia y posteriormente en las leyes: 142 de 1994 (República de Colombia, 1994), 505 de 1999 (República de Colombia, 1999), 689 de 2001 (República de Colombia, 2001) y 732 de 2002 (República de Colombia, 2002), pretenden la **homogenización de criterios de igualdad social, la redistribución de ingresos, la simplificación y transparencia de los recursos, así como la administración de las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios.**

La metodología actual diseñada por el DANE (**NME-DANE**) requiere de algunas consideraciones subjetivas para su aplicación en todo el territorio nacional. El DANE reconoce dicha subjetividad al citar en su **Manual de Realización** que, “ (...) Existen sesgos (valoraciones subjetivas), conscientes e inconscientes, difíciles de evitar y que pueden alterar o prolongar en forma innecesaria la revisión de los resultados preliminares”. No obstante, la participación del CPE involucra un número plural de evaluadores, minimizando el efecto de las consideraciones subjetivas individuales”, y, “ (...) En la evaluación de las condiciones promedio de los grupos conformados en cada escenario, se emplea la distribución de frecuencias de las viviendas calificadas en cada subzona urbana, la confrontación con fuentes secundarias sobre indicadores socioeconómicos del municipio (el factor de NBI por vivienda inadecuada sobre todo) y, además, la evaluación (por parte de expertos conocedores) de los registros fotográficos que para tal se le solicita a las alcaldías”, aludiendo en una de sus notas explicativas a la expresión de Engels “la prueba del pudín es comérselo” (DANE, 2015b).

En términos reduccionistas, la **NME-DANE** que rige las zonas urbanas de todo el territorio nacional, se resumen así:

$$UEE = ZHG + ZHF \quad (5-1)$$

Siendo,

**UEE:** Unidades Espaciales de Estratificación (en Bogotá, las define la Unidad Administrativa de Catastro Distrital -UAECD)

ZHG: Zonas Homogéneas Geoeconómicas

ZHF: Zonas Homogéneas Físicas

### 5.3.- PROPUESTAS DE MEJOR PARA LA METODOLOGÍA DE ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA ACTUAL (NME-DANE)

Las propuestas metodológicas que se han propuesto en los últimos años para actualizar la **NME-DANE** difieren en cuanto a la unidad de análisis empleada: **la vivienda** o el **hogar**. Son dos marcos de referencia que han motivado muchas investigaciones sin alcanzar una aplicación directa en el país. Esa integración ha resultado una tarea ardua para los organismos responsables, se trata de una problemática socioambiental compleja (Martinez Romero & Esparza Olguin, 2020).

La actualización de la metodología de estratificación urbana ha sido el interés de la Secretaría Distrital de Planeación (SDP) en la ciudad de Bogotá, por eso han plantado el uso del **valor unitario integral a cada predio (VUI)** y el **Índice Multidimensional de Focalización (IMF)**, ésta última priorizando en el hogar a diferencia del **VUI** que prioriza en la vivienda.

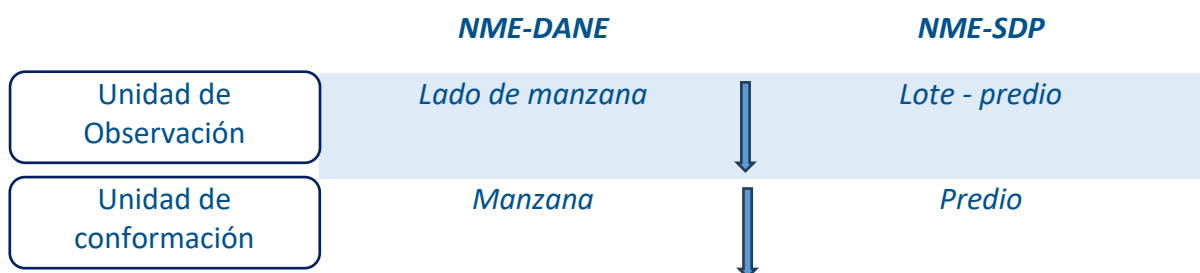
A continuación, se describen cada una de las propuestas hechas por la Secretaría Distrital de Planeación de la ciudad en compañía de otras entidades.

#### 5.3.1.- Metodología NME-SDP

En 2022, la Secretaría Distrital de Planeación (SDP) de Bogotá adscrita al Departamento Nacional de Planeación (DNP), uno de los organismos de orden nacional encargados de la implementación de la normativa en materia de estratificación socioeconómica, diseñó una nueva metodología de estratificación socioeconómica para zonas urbanas (NME-SDP) que pretende aminorar los errores de exclusión (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).

El nuevo enfoque de la NME-SDP recoge información de diversas fuentes, entre ellas se destaca, el trabajo realizado por **Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos**, ONU-hábitat, realizado entre 2015 y 2017 (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2016) y, la **Encuesta Multipropósito (EM)** de los años 2011, 2014 y 2017. La primera fuente de información brinda herramientas para cobrar los servicios públicos domiciliarios de acuerdo con la capacidad de pago del hogar dejando de lado la estratificación, mientras la EM provee insumos para la caracterización de la calidad de vida y las condiciones socioeconómicas del hogar.

El punto de inflexión la NME-DANE y la NME-SDP es la información catastral. Todos los estudios coinciden en la importancia de dicha información para determinar la capacidad de pago de los ciudadanos, sin embargo, es la única variable coincidente. En la Figura 5-1 se presentan las diferencias entre las dos metodologías.



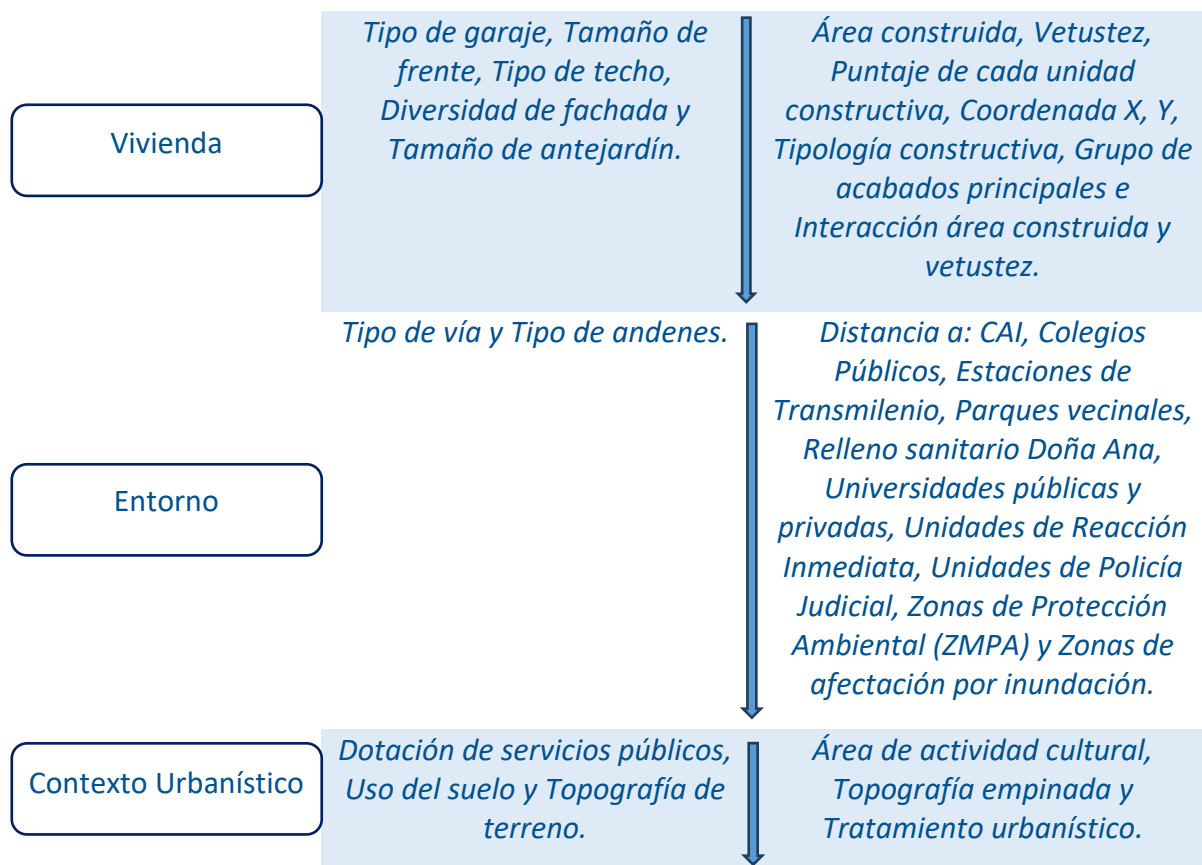


Figura 5-1. Comparación entre NME-DANE y NME-SDP. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022)

- **Modelo estadístico e indicadores de la NME-SDP**

La unidad de observación entre las metodologías difiere notablemente, en el caso de la NME-SDP, se determina un *valor unitario integral* a cada predio (VUI), calificando las características físicas y del entorno del inmueble en términos económicos (\$/m<sup>2</sup>). A diferencia de los datos catastrales utilizados en la NME-DANE, el VUI se construye con la información predial catastral urbana de las unidades residenciales administrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y se excluye el estrato socioeconómico que pueda estar asociado a dicho valor catastral.

La estimación del VUI para los predios en propiedad horizontal obedece a la siguiente ecuación:

$$VUI_{PH,i} = \frac{AT_i}{AC_i} \quad (5-2)$$

Dónde,

*PH*: Propiedad horizontal

*AT<sub>i</sub>* : Avalúo total del predio

*AC<sub>i</sub>*: Área construida, m<sup>2</sup>

Por el contrario, los predios que no están en propiedad horizontal están definidos como se indica:

$$VUI_{NPH,i} = VUT_i + VUCP_i \quad (5-3)$$

Siendo,

$VUT_i$ : Valor del m<sup>2</sup> de terreno en el predio  $i$ , extraído directamente de la base de datos catastral

$NPH$ : Predios que no tienen propiedad horizontal<sup>1</sup>

$VUCP_i = \frac{\sum_{j=1}^k VUC_{ij} * AC_{ij}}{\sum_{i=1}^k AC_{ij}}$ : Promedio ponderado del valor unitario de construcción entre el área total de la unidad  $j$  dentro del predio  $i$  y con  $k$  unidades residenciales.

En cuanto al modelo estadístico empleado para el cálculo del **VUI**, la NME-SDP se basa en modelos lineales generalizados (MLG), en particular, propone el uso de un modelo Gamma con funciones de enlace logarítmicos naturales y la aplicación de modelos bayesianos-BIC (Akaike, Schwarz) para evaluar la calidad de valores ajustados frente a los valores observados.

Como se indicó anteriormente, la UAECD estima los valores catastrales para los predios de Bogotá y lo hace también a partir de MLG, pero usa cerca de 180 variables predictoras incluyendo el estrato socioeconómico.

Son marcadas las diferencias entre la metodología de estimación de la **VUI** y la empleada por la UAECD, ver Tabla 5-1.

*Tabla 5-1: Comparación entre la estimación VUI y la información catastral. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022)*

Descripción	Valor Unitario Integral VUI	Valor Catastral
Modelo catastral	MLG	MLG
Variables predictoras	± 70	± 180
Uso del estrato socioeconómico como variable	No	Si
Tipo de variables	Parsimonioso	Dicotómicas - binarias
Estimación de PH y NPH	Diferenciados – transformación logarítmica	Homologados - Sesgos debido al estrato

El modelo de la SDP, en términos generales, está dada por la siguiente función exponencial:

$$E(VUI_i) = f(I_i, U_i, D_i, \beta) \quad (5-4)$$

En dónde,

$VUI_i$ : Valor esperado del indicador para el predio  $i$

$I$ : Características inherentes a la unidad residencial

$U$ : Características particulares dada la ubicación del predio

<sup>1</sup> Regulada por la Ley 675 de 2001, por medio de la cual se expide el régimen de propiedad horizontal.

$D$ : Distancia a los hitos de la ciudad

$\beta$ : Parámetros generados por la estimación<sup>2</sup>.

Como insumo para la cantidad de variables independientes empleadas para el modelo, la SDP toma de referencia las variables seleccionadas por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) en 2018 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022). La Tabla 5-2 incluye los pesos en cada una de las variables.

*Tabla 5-2: Variables incluidas en el modelo desarrollado por la SDP. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).*

Variable	Descripción	Peso
Puntaje	Puntaje catastral	18.81
Vetustez	Edad de la construcción predominante	10.02
Área de uso x Vetustez	Interacción área por vetustez	6.59
COL_PUB	Distancia colegios públicos	5.72
CAI	Distancia a los Comandos de Atención Inmediata de la Policía (CAI)	5.71
RSDJ	Distancia al Relleno Sanitario de Doña Juana (Dos zonas de influencia a $\geq 4500$ m)	4.97
ZHF_4_TRT_CONSOL	Tratamiento urbanístico de cuarta consolidación	4.42
URI_UPJ	Distancia a las Unidades de Reacción Inmediata (URI)	4.35
DIST_PKBOLSIL	Distancia a parques (zonas recreativas)	4.33
COORDENADA_X	Coordenadas X del lote donde se localiza el predio	4.14
GA2	Grupos de acabados 2	4.14
UNIVERS	Distancia a universidades públicas y privadas	3.89
ZHF_4_TRAT_MEJ	Tratamiento urbanístico de mejoramiento integral	3.28
TIP2	Tipología constructiva 2	2.60
ESTACTM	Distancia al sistema integrado de transporte, estación de Transmilenio más cercana	2.89
AREA_USO	Área construida del predio	2.53
COORDENADA_Y	Coordenada Y del lote donde se ubica el predio	1.97
PKVECIN	Distancia parque vecinal	1.88
ZHF_4_TRAT_CONSERV	Tratamiento urbanístico de 4 conservación	1.88

<sup>2</sup> Para los valores  $\beta$  se considera que el VUI tiene una distribución gamma con una distribución sesgada hacia la derecha.



Variable	Descripción	Peso
AREA_ACT5	Área de actividad central	1.74
ZHF_1213_21	Comercial y de servicios 1 vecinal	1.64
ZHF_4_TRAT_RENOV	Tratamiento urbanístico de 3 renovación urbana	0.83
AMENAZAI	Índice de amenaza (baja y alta)	0.7
ZHF_6_TOPOG_EMP	Topografía empinada	0.5
ZMPA	Distancia a Zonas de Manejo y Preservación Ambiental	0.48

La única variable de carácter ambiental incluida en el modelo es la ZMPA, justamente la variable de menor peso, lo que supone poca relevancia a los aspectos ambientales en la toma de decisiones en este sentido. Por el contrario, las variables relacionadas con el valor catastral y las distancias a lugares puntuales son la que mantienen los pesos más altos en el modelo. Baranzini *et al.*, Lora *et al.* y Muellbaeur, también incluyen las distancias en la valoración de inmuebles de este tipo (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).

Una vez estimado el **VUI**, se subdividen los resultados en seis grupos atendiendo las disposiciones de la **Ley 142 de 1994** tal y como se muestra en la Figura 5-2. Conforme la distribución espacial obtenida, las localidades ubicadas al nororiente de la ciudad presentan los valores **VUI** más altos de la ciudad, lo que significa que los inmuebles en esas unidades territoriales gozan de características físicas y entorno favorables por unidad de área (\$/m<sup>2</sup>) comparados con el resto.

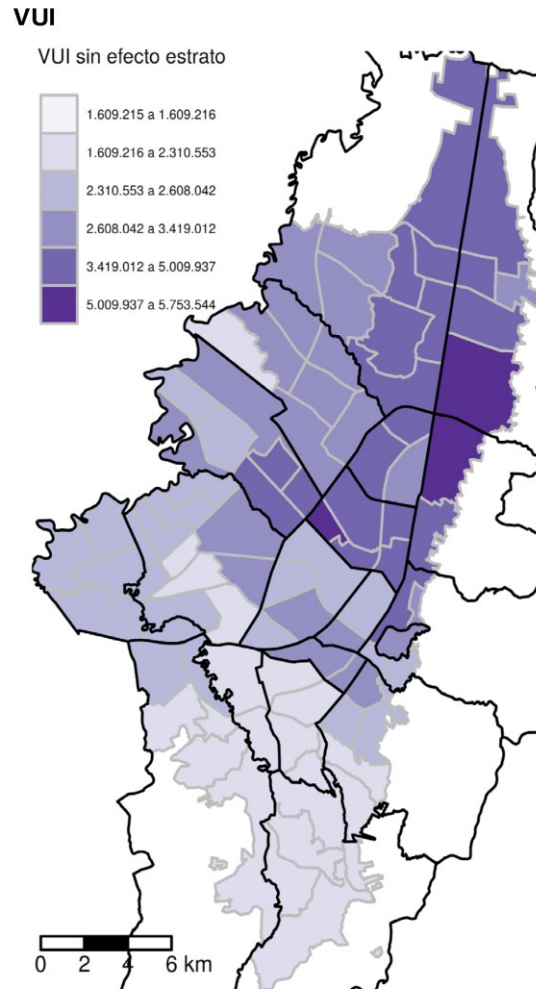


Figura 5-2. Distribución geoespacial del índice VUI en Bogotá. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022)

- **Comparación de los resultados del modelo NME-SDP con los indicadores de bienestar de Bogotá**

La validación del modelo de la SDP incluye la consideración de criterios relativos al proxy de errores de inclusión y exclusión. Esta validación consiste en la comparación de los resultados obtenidos con las medidas de bienestar y la calidad de vida. Aunque el **VUI** potencializa la valoración de las viviendas, es notorio que se aleja de la estimación de las capacidades de pago de los hogares. Ante esa disonancia, la SDP propone complementar el análisis con algunos índices como: la línea de pobreza, la pobreza multidimensional, el Sisbén IV, el índice de la capacidad de pago (ICP), el índice de bienestar social (IBS), etc. No obstante, cada uno de esos indicadores proceden de fuentes diferentes por lo que es difícil alcanzar una comparación directa entre ellas (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022) .

### SISBÉN

El Sisbén es un mecanismo de política económica utilizado en Colombia desde 1997 conforme las disposiciones del **CONPES 3877** (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016). El programa ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo, siendo el Sisbén IV, la versión que

más se acerca a las condiciones de los hogares por incluir en el método de cálculo, el ingreso de estos:

$$\ln y_i = X_i \cdot \beta_\tau + \mu_{\tau i} \quad (5-5)$$

Y,

$$Q_\tau((W_i : W_i)) = X_i \cdot \beta_\tau \quad (5-6)$$

Donde,

$X_i$ : Incluyen los factores demográficos, mercado laboral, vivienda, tenencia de activos y salud

$\mu_{\tau i}$ : Error que involucra otros factores emergentes

$\beta_\tau$ : Vector de parámetros para predecir el ingreso a partir del Sisbén

El Sisbén es de suma importancia para la mayoría de los habitantes de la ciudad de Bogotá, según datos de 2010, 2,496,235 personas encuestadas están reportadas en el Sisbén III y 2,692,405 en el Sisbén IV (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022). Una vez encuestadas, los hogares quedan clasificados según las condiciones socioeconómicas.

Existen cuatro grupos en el Sisbén:

- **Grupo A:** pobreza extrema (población con menor capacidad de generación de ingresos).
- **Grupo B:** pobreza moderada (población con mayor capacidad de generar ingresos que los del grupo A).
- **Grupo C:** vulnerable (población en riesgo de caer en pobreza).
- **Grupo D:** población no pobre, no vulnerable.

Según cifras de 2022, la mayor cantidad de hogares encuestados en Bogotá se concentran en los Grupos B y C. La mayoría de los hogares en las localidades de Ciudad Bolívar (8,6%) y Santa Fe (8,5%), son del Grupo A. En Antonio Nariño y Engativá se encuentran menos hogares pobres extremos. La mayor parte de los hogares encuestados del Grupo C se encuentran ubicados en las localidades de Teusaquillo (53,9%), Engativá y La Candelaria, ambas con un 50,9% (Secretaría Distrital de Planeación, 2022).

### Línea de pobreza (LP) y la Pobreza Multidimensional (PoM)

Los índices de LP y PM no guardan consistencia alguna con el Sisbén llegando a ser contradictorias sus tendencias. La SDP lo resume así: *“Para un hogar es indiferente su ubicación en la línea de pobreza, pero sí es fundamental el puntaje Sisbén. La persona sabe muy bien cuáles son las implicaciones económicas que tiene salir del Sisbén, mientras que no conoce, ni le interesa saber, si es clasificada como pobre en la estadística. Para el hogar, la LP y la PM son asuntos que no le preocupan. En cambio, el puntaje Sisbén determina los subsidios que tocan directamente la calidad de su vida cotidiana”* (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).

### Índice de capacidad de pago (ICP)

Este índice ha sido ampliamente desarrollado por la SDP desde 2012 y parte de la teoría de Engel, en la que el hogar prioriza en los bienes de básicos de consumo y luego, de ser posible, obtiene bienes de segunda necesidad sólo cuando aumentan los ingresos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).

El IBS es un indicador que está a cargo del DANE y se calcula mediante el análisis de correspondencias múltiples entre los siguientes factores estandarizados (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022):

$$IBS = \frac{\text{hogar} + \text{vivienda} + \text{sanitarias} + \text{fluctuaciones} + \text{dotación}}{5} \quad (5-7)$$

Finalmente, la Tabla 5-3 compara las variables de bienestar descritas y el modelo de estratificación propuesto por la SDP mediante la formulación del **VUI**. Los resultados muestran una tendencia congruente entre el estrato estimado y los indicadores de bienestar calculados.

*Tabla 5-3: Comparación entre la nueva metodología (VUI) y los indicadores de bienestar. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).*

Estrato (VUI)	Gasto promedio hogar al mes (COP\$)	IBS	ICP (%)	LP (%)	PoM (%)
1	978 802	0.75	40.9	23.8	8.3
2	1 191 000	0.79	29.4	17.6	6.5
3	1 463 633	0.81	20.6	12.4	4.6
4	2 048 997	0.85	10.1	8.2	3.4
5	3 888 345	0.91	0.9	4.3	3.2
6	6 065 254	0.93	0.4	3.7	3.5

Las tendencias reflejan mayor bienestar conforme aumenta el estrato y es justamente lo que pretende alcanzar la **NME-SDP**. Sin embargo, la comparación no es del todo directa teniendo en cuenta que la fuente de información es diferente y procede de métodos de cálculo diferentes.

La estimación del gasto promedio del hogar al mes se obtuvo con datos de la **EM 2017** identificando entre otras cosas, la elasticidad de los gastos que requieren mayor demanda en los hogares bogotanos clasificando dicha demanda en: alimentos, vestuario, educación, recreación, salud, servicios públicos domiciliarios, transporte, comunicación y vivienda. La SDP detectó a partir de funciones de demanda (Curvas de Engel) que los hogares bogotanos priorizan el pago de sus servicios públicos antes de gastar en salud o educación. Es decir, que son inelásticos los alimentos, los servicios públicos y la vivienda. La elasticidad también puede repercutir en el estrato socioeconómico porque se debe evitar que los hogares reduzcan gastos en salud y educación para suplir sus servicios públicos domiciliarios, los cuales van aumentando de tarifa a medida que aumenta su estrato.

### 5.3.2.- Metodología NME-SDP-ONU-Hábitat

Desde el 2015, la SDP construye junto con la ONU-Hábitat un modelo teórico con base en el **Indicador Multidimensional de Focalización (IMF)**, con el propósito de acercarse a una valoración aproximada de los hogares. Los parámetros que utiliza la ecuación provienen de varias fuentes administrativas tales como: el registro civil, catastro, información de

PILA/RUAF<sup>3</sup>, SIU, SNIES/SIMAT, RUNT, localización de personas con discapacidad y víctimas del conflicto (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022).

La estimación del **IMF** está dada por:

$$IMF = \frac{I-GE}{N} \quad (5-8)$$

Siendo,

*I*: Ingresos familiares disponibles

*GE*: Gastos específicos “imprescindibles” para una familia

*N*: Número de los miembros de una familia

Los resultados del nuevo modelo se recogen en un Informe Final publicado por la SDP como resultado de varios informes anuales con los alcances detallados en la Tabla 5-4:

*Tabla 5-4: Alcances de los diferentes informes de la ONU-Hábitat. Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2016)*

Año	Alcance	Producto
2015	Propuesta de Implementación de un Nuevo Sistema de Asignación de Subsidios y Contribuciones en Servicios Públicos Domiciliarios.	1-Análisis de las Experiencias Normativas Internacionales de los Diferentes Mecanismos de Asignación de Subsidios en Servicios Públicos Domiciliarios
		2-Análisis Comparativo de los Diferentes Estudios y Propuestas Alternativas al Sistema de Asignación de Subsidios en Servicios Públicos Domiciliarios (SDP)
		3-Descripción de las Fuentes de Información y Propuesta Conceptual de Variables a emplear para la Construcción de un Índice Multidimensional en la Asignación de Subsidios
2016		4-Propuesta de Indicador Multidimensional de Focalización (IMF) e Informe Final

El informe concluye que, atendiendo las situaciones actuales de las zonas urbanas del país, es apremiante que el Estado diseñe un nuevo esquema de subsidios y contribuciones que no esté supeditado a los Servicio Públicos Domiciliarios, sino que responda al gasto social del país. En ese orden de ideas, la estratificación socioeconómica tal y como está concebida debería desaparecer. Eso significa que los hogares se clasificarían directamente como sujetos de subsidios o contribuciones en función de la declaración de renta universal lo que permitiría

<sup>3</sup> Hace referencia a la Planilla Integrada de Liquidación de Aportes de obligatorio cumplimiento para los aportantes que cotizan al Sistema de Seguridad Social Integral y Parafiscales.

identificar la capacidad de pago de los hogares para el establecimiento real de impuestos y subsidios (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2016).

### 5.3.3.- Hoja de ruta de la mesa de expertos

A finales del año 2020, se conformó una mesa de expertos convocada por el DANE y el DNP para generar una hoja de ruta en la estratificación socioeconómica del país teniendo como punto de partida la metodología aplicada. Los resultados se recogen en un informe conformado por: i) el contexto del marco normativo, ii) varias propuestas de ajuste metodológico de la estratificación, iii) recomendaciones con respecto a ajustes del instrumento de focalización de subsidios, iv) la hoja de ruta para la implementación de las recomendaciones identificadas y finalmente, v) acciones para la estratificación rural (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2021).

La mesa de expertos convocada por el Gobierno Nacional diseñó la **Hoja de Ruta** del **Anexo G**, proponiendo acciones en tres componentes: coordinación de política, ajuste metodológico y política de focalización. El punto de partida de la hoja de ruta es la construcción de un **CONPES** que contenga las recomendaciones de los expertos y conceda roles nuevos a los organismos en el proceso acorde a la distribución de la Figura 5-3.

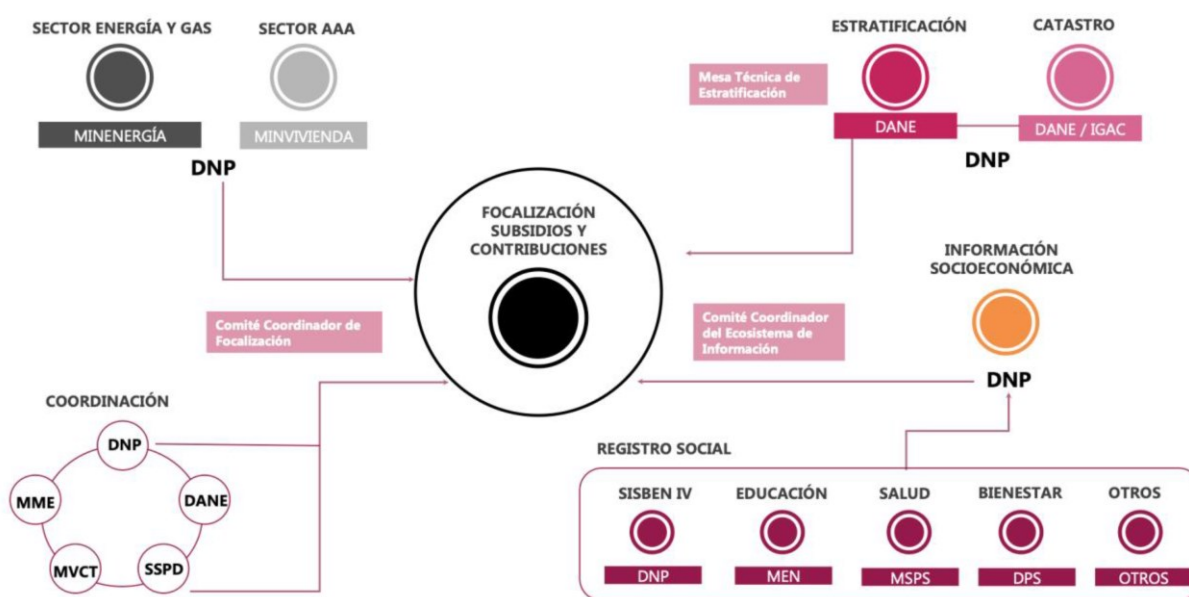


Figura 5-3. Interacción de los organismos involucrados en el proceso de la estratificación.  
Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2022)

En el primer componente es necesario la creación de tres comités diferentes cada uno con responsabilidades y metas diferentes, estos son:

- **Comité Coordinador de Focalización**, integrado por representantes del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, DNP, DANE y SSPD.
- **Mesa técnica de Estratificación**, conformada por un grupo de académicos expertos en diferentes áreas.
- **Comité Coordinador del Ecosistema de Información**, a cargo de entidades administradoras de los sistemas de información, entre ellos: SINIC, SGESCO, SIU, SISBEN IV, principalmente.

En lo que respecta al segundo componente, la mesa de expertos propone la aplicación de la “estratificación repotenciada” para la asignación de subsidios y contribuciones a los servicios públicos domiciliarios. Las acciones en ese componente incluyen:

- Convergencias con la actualización catastral por considerarse el insumo principal en la estratificación.
- Activación de la Mesa Técnica de Estratificación con personal cualificado para abordar el procesamiento de información socioeconómica robusta proveniente de los hogares, así como la puesta en marcha de la “estratificación repotenciada”.
- Comunicación periódica con los Comités Permanentes de Estratificación.
- Fortalecimiento del Sistema de Gestión de la estratificación socioeconómica y las Coberturas de Servicios Públicos Domiciliarios - SIGESCO<sup>4</sup>

La política de focalización es el objetivo del tercer componente el cual busca complementar al estrato con información socioeconómica conforme lo dispuesto en el Artículo 297 de la Ley 1955 de 2019, por el cual se expide el [Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”](#) (República de Colombia, 2022a).

Ante la reciente aprobación del proyecto de ley del [Plan Nacional de Desarrollo \(PND\) 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”](#), dicha política de focalización deberá ser complementada con el [modelo de catastro multipropósito](#) (República de Colombia, 2022b).

## 5.4.- INSUMOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA NME-DANE URBANA

### 5.4.1.- Modelo catastral multipropósito

El reciente [modelo catastral multipropósito](#) contempla nuevos paradigmas en cuanto a la administración de los predios y por ende la información catastral, un insumo predominante en la estratificación socioeconómica del país.

#### Antecedentes

A partir de la [Ley 2294 del 19 de mayo de 2023](#), por la cual se expide el [Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026](#), por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo (PND), “Colombia potencia Mundial de la Vida” (República de Colombia, 2022b) y la Política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural y urbano [CONPES 3859](#) (Consejo Nacional de Política Económica y Social et al., 2016), el [Instituto Geográfico Agustín Codazzi \(IGAC\)](#) ha emprendido acciones conjuntas con otras entidades a nivel intergubernamental para construir una herramienta capaz de ordenar la información catastral del territorio nacional.

A partir del año 2018, el [IGAC](#) inicia el modelo de catastro multipropósito con la ejecución del piloto [LADM\\_COL](#) para el Sistema de Administración de Tierras, atendiendo las disposiciones de la norma ISO 19152:2012 y con la participación de la [Superintendencia de Notariado y](#)

---

<sup>4</sup> Es un sistema en desarrollo del DANE que pretende conseguir la interoperabilidad entre las entidades a cargo de la estratificación y la supervisión de la focalización de subsidios y contribuciones, en concreto, conseguir sinergias entre: el DANE, las alcaldías y la SSPD.

**Registro (SNR) y la Cooperación Suiza.** Las principales características definidas del modelo se presentan en la Figura 5-4:



Figura 5-4. Características de Catastro Multipropósito en Colombia. Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023)

En el mes de mayo de 2023, las plenarios del Senado y la Cámara de Representantes de Colombia, aprobaron el **Plan Nacional de Desarrollo-PND 2022-2026**, con las metas a cumplir por parte del Gobierno en cuanto a administración de los recursos y los presupuestos designados para el país. Como resultado de los diálogos regionales vinculantes realizados en varias regiones del país, se conformaron acciones en ordenamiento territorial, seguridad, derechos humanos, economía, cambio climático y convergencia rural. Una de las metas más ambiciosas de la ley recientemente aprobada, es el avance del catastro multipropósito en 70% del territorio nacional para ampliar coberturas en zonas rurales aisladas del país (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

En concreto, los artículos del PND que indican los alcances del modelo catastral multipropósito son (República de Colombia, 2022b):

**“ARTÍCULO 30.** Modifíquese el artículo 79 de la Ley 1955 de 2019, el cual quedará así:

**Artículo 79.** *Naturaleza y organización de la gestión catastral. La gestión catastral es un servicio público prestado directamente por el Estado, que comprende un conjunto de operaciones técnicas y administrativas orientadas a la adecuada formación, actualización, conservación y difusión de la información catastral con enfoque multipropósito, para contribuir a la prestación eficiente de servicios y trámites de información catastral a la ciudadanía y a la administración del territorio en términos de apoyo para la seguridad jurídica del derecho de propiedad inmueble, el fortalecimiento de los fiscos locales y el apoyo a los procesos de planeación y ordenamiento territorial.*



*La gestión catastral está a cargo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- en su condición de máxima autoridad catastral nacional y de los entes territoriales y esquemas asociativos de entes territoriales que aquel habilite a solicitud de parte, previo cumplimiento de las condiciones que garanticen su idoneidad como prestadores del servicio público. (..)" (Énfasis fuera de texto).*

*“ARTÍCULO 31. ORGANIZACIÓN DE LA GESTIÓN CATASTRAL. La gestión catastral es un servicio público prestado directamente por el Estado, que comprende un conjunto de operaciones técnicas y administrativas orientadas a la adecuada formación, actualización, conservación y difusión de la **información catastral con enfoque multipropósito**, para contribuir a la prestación eficiente de servicios y trámites de información catastral a la ciudadanía y a la administración del territorio en términos de la seguridad jurídica del derecho de propiedad inmueble, el fortalecimiento de los fiscos locales, apoyar los procesos de planeación y ordenamiento territorial, con perspectiva intercultural.”*

*“ARTÍCULO 33. ADECUACIÓN INSTITUCIONAL DE LA POLÍTICA DE CATASTRO. El gobierno nacional, en concertación con los pueblos y organizaciones indígenas y con las comunidades negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras, realizará la adecuación institucional de las entidades que hacen parte de la política de Catastro multipropósito”.*

El actual PND hace énfasis en la necesidad de fortalecer la información catastral del país para garantizar la prestación de los servicios públicos domiciliarios, el derecho de propiedad de los inmuebles y el ordenamiento del territorio, incluyendo por primera vez y de manera directa, a las comunidades indígenas.

La meta catastral del Plan Nacional de Desarrollo requiere la integración de información geoespacial entre el IGAC, el DANE, y las Unidades Territoriales involucradas. La información catastral adecuadamente administrada podría contribuir a largo plazo a la metodología de estratificación socioeconómica NME-DANE empleada por cerca de 30 años y migrar hacia una caracterización de las condiciones de la población considerando su capacidad de pago, así como su calidad de vida, entendiendo ésta última como todas aquellas variables socioambientales que proporcionan bienestar y equidad social, económica y ambiental.

### Entidades responsables

El rol del IGAC en el **modelo catastral multipropósito** es primordial; es el organismo ejecutor de la herramienta y el responsable de proveer de información catastral al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, INCODER, la Unidad de Restitución de Tierras, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y la Unidad de Consolidación Territorial.

Los principales beneficios del modelo son (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020):

- La identificación de todos los involucrados en los predios (propietarios, arrendatarios, ocupantes, poseedores, cuidadores, etc.)
- La seguridad jurídica en las transacciones inmobiliarias
- El mejoramiento de la gestión ambiental de las Corporaciones Autónomas Regionales y Parques Nacionales
- La caracterización de los linderos, forma de los predios, ubicación, etc.
- La titulación y recuperación de las tierras a las víctimas del conflicto

- El fortalecimiento de los procesos de restitución de tierras
- La devolución de los predios a las víctimas del conflicto
- La planificación de los procesos de gestión del riesgo
- El ordenamiento de los territorios
- La planificación de las inversiones en los municipios

El nuevo modelo pierde rigidez con respecto a los procesos de actualización catastral realizados con anterioridad, en los cuales era necesaria la recolección de datos en terreno identificando las características de los inmuebles (acabados, linderos, componentes físicos, económicos y jurídicos), tal y como sucede en la estratificación socioeconómica. En ese sentido, la prioridad deja de ser jurídica para ser multisistémica, es decir, se espera que cada predio cuente con los atributos necesarios para gestionar el territorio de forma transversal. Algunos de los atributos son: la georreferenciación, la ubicación, la condición física, la condición en el mercado inmobiliario, los ocupantes, los propietarios, los arrendatarios, los poseedores, la titulación y recuperación de las tierras, los procesos inmersos de control de riesgos, las inversiones, la gestión ambiental, etc.

La ejecución del modelo requiere la sinergia entre los organismos vinculantes, entre ellos, el [Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural](#), [INCODER](#), [Unidad de Restitución de Tierras](#), la [Unidad de Planificación Rural Agropecuaria](#), la [Unidad de Consolidación Territorial](#), el [Ministerio de Ambiente](#), los [Parques Nacionales Naturales](#), las [Corporaciones Autónomas Nacionales](#) y todas aquellas entidades vinculadas con la planificación y el ordenamiento del territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018).

### **Implicaciones en la estratificación socioeconómica**

Para la presente investigación se entabla comunicación oficial con el [Departamento de Gestión Catastral](#) del [IGAC](#), para la conocer el posible alcance que podría tener el nuevo modelo en la estratificación socioeconómica del país y la inclusión de variables ambientales.

Mediante [radicado n° 3287](#) del 29 de mayo de 2023 ([Anexo E](#)), el IGAC confirma que dadas las disposiciones del [Decreto 2220 de 1993](#), es responsabilidad del DANE analizar la información catastral que le suministra el IGAC como insumo para la estratificación socioeconómica. En ese sentido, el IGAC enfatiza que no es posible que el nuevo modelo de catastro multipropósito permita en un largo plazo, determinar la estratificación económica del país porque, entre otras cosas, va en contra de las disposiciones de la Ley 142 de 1994.

En un segundo comunicado, [radicado n° 2362](#) del 25 de mayo de 2023 ([Anexo E](#)), el mismo organismo indica nuevamente que el Modelo Extendido Catastral Registro (LADM\_COL, en su versión 4°), no contempla variables ambientales, sin embargo, reconoce que son insumos secundarios no obligatorios en los procesos de conservación, formación y actualización catastral para el componentes físico, jurídico y económico de los predios. De todas formas, en la respuesta, el IGAC recalca que el Modelo Extendido de Ordenamiento Territorial a cargo del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, sí incluye variables de estratificación socioeconómica y que las variables ambientales de los Modelos Extendidos Ambientales se encuentran en construcción por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En consecuencia, dada la importancia que tiene la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) en la implementación del modelo de catastro multipropósito, el reto consiste en que el ICDE como administrador de los datos conforme el modelo núcleo [LADM\\_COL](#) con objetos únicos territoriales legales (OTL) que contengan información de

carácter ambiental en cada uno de los modelos extendidos para que sean interoperables entre sí.

#### 5.4.2.- Encuesta Multipropósito de Bogotá (EM)

De conformidad con las disposiciones del **Acuerdo 573 de 2014**, es responsabilidad de la Secretaría Distrital de Hacienda y la Secretaría Distrital de Planeación, poner en marcha cada **cuatro años** el análisis de las principales variables económicas y sociales que afectan la **capacidad de pago** de los contribuyentes en Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2014). En consecuencia, la Administración Distrital decide implementar la Encuesta Multipropósito (EM) desde el 2011.

La EM consiste en la aplicación de operaciones estadísticas que tienen como propósito recabar datos socioeconómicos relacionado con el entorno de los hogares bogotanos. Dicha información representa un insumo importante para la ciudad y sus alrededores porque permite a otros organismos estimar indicadores en calidad de vida y la toma de decisiones en política pública (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021).

Desde la primera versión en 2011, se han realizado encuestas posteriores en 2014, 2017 y 2021, que han permitido medir la evolución de las condiciones de vida en diferentes unidades territoriales (municipio, localidad, unidades de planeamiento zonal o UPZ). La EM del primer año sólo consideró las **19 localidades** urbanas de la ciudad, luego en el año 2014 se extendió la encuesta a las cabeceras municipales de **31 municipios** del departamento de Cundinamarca. Para el año 2017, se amplió la desagregación geográfica incluyendo unidades territoriales de diferente escala, en concreto, **73 UPZ** con **17 agrupaciones de UPZ** y localidades con suelo rural, entre ellas, **Sumapaz** y **7 localidades adicionales**. A su vez, se aumentó el número de cabeceras municipales a **37 municipios** con sus respectivas cabeceras de provincia. Finalmente, en 2021 se mantuvo la misma desagregación geográfica, superando las UPZ en **80** y disminuyendo las agrupaciones de UPZ en **15** así como también se amplió a las zonas urbanas a **21 municipios** de Cundinamarca. De forma periódica se amplía la cobertura tanto en zonas rurales como urbanas, siendo la UPZ la unidad territorial más empleada para este tipo de estudios.

Los resultados de la EM se encuentran disponibles a través del **visor interactivo** publicado por la Secretaría Distrital de Planeación y elaborado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), tal y como se muestra en la Figura 5-5. El **visor** cuenta con la posibilidad de acceder a indicadores anuales por municipio, localidad y UPZ en el entorno urbano y rural de forma independiente. Adicionalmente, contiene informes descargables en formato Excel, cuadros de salida, microdatos, formularios, diccionarios y especificaciones de validación.

Inicio    Indicadores    Descarga de datos

SECRETARÍA DE PLANEACIÓN    BOGOTÁ



## Visor de la Encuesta Multipropósito de Bogotá y la región

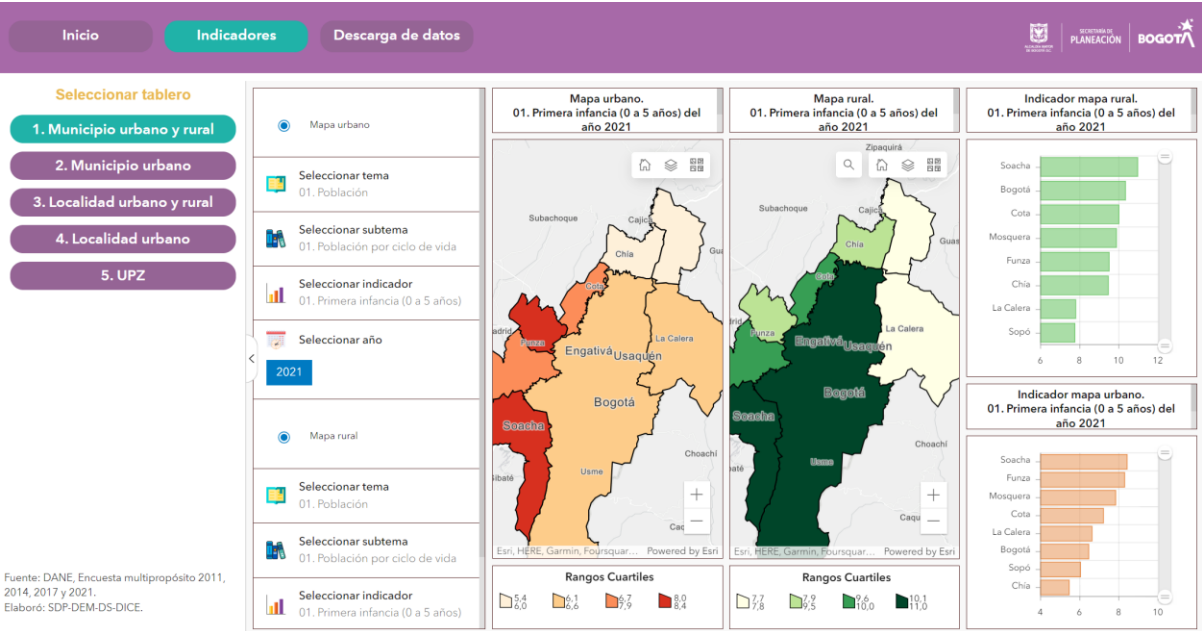


Figura 5-5. Visor de la Encuesta Multipropósito (EM). Fuente: : (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

La encuesta está conformada por **13 secciones** y en total **376 preguntas** para caracterizar las condiciones socioeconómicas de los entrevistados A manera de ejemplo, el **Anexo H** presenta el formulario empleado en el año 2017 y la Tabla 5-5 resume su contenido.

Tabla 5-5: Secciones que conforman la Encuesta Multipropósito (EM) de 2017. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

Sección	Descripción	Nº Preguntas
A	Identificación	19
B	Datos de la vivienda y su entorno	16
C	Condiciones habitacionales del hogar	44
D	Servicios públicos domiciliarios	32
E	Composición del hogar y demografía	27
F	Salud	45
G	Atención integral de los niños y niñas menores de 5 años	34
H	Educación	32
I	Uso de tecnologías de la información	15
J	Participación en organizaciones y redes sociales	13
K	Fuerza de trabajo	59
L	Percepción sobre las condiciones de vida y el desempeño institucional	28
M	Gastos del hogar	12
<b>TOTAL</b>		<b>376</b>

En cuanto a los indicadores descargables en versión Excel, según el índice de la Figura 5-6, la información anual está clasificada en seis secciones:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9	<b>Indicadores Encuesta Multipropósito 2011, 2014, 2017 y 2021</b>							
10								
11	<b>Índice</b>							
12								
13	1 <a href="#">Indicadores por municipio, año y clase (urbano o rural)</a>							
14	2 <a href="#">Tabla dinámica indicadores por municipio, año y clase (urbano o rural)</a>							
15	3 <a href="#">Indicadores por localidad, año y clase (urbano o rural)</a>							
16	4 <a href="#">Tabla dinámica indicadores por localidad, año y clase (urbano o rural)</a>							
17	5 <a href="#">Indicadores por UPZ y año</a>							
18	6 <a href="#">Tabla dinámica indicadores por UPZ y año</a>							
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

Figura 5-6. Índice disponible de los indicadores de la EM. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

La información recolectada en el formulario de la EM es expresada por año y por unidad territorial en 13 temas y estos son:

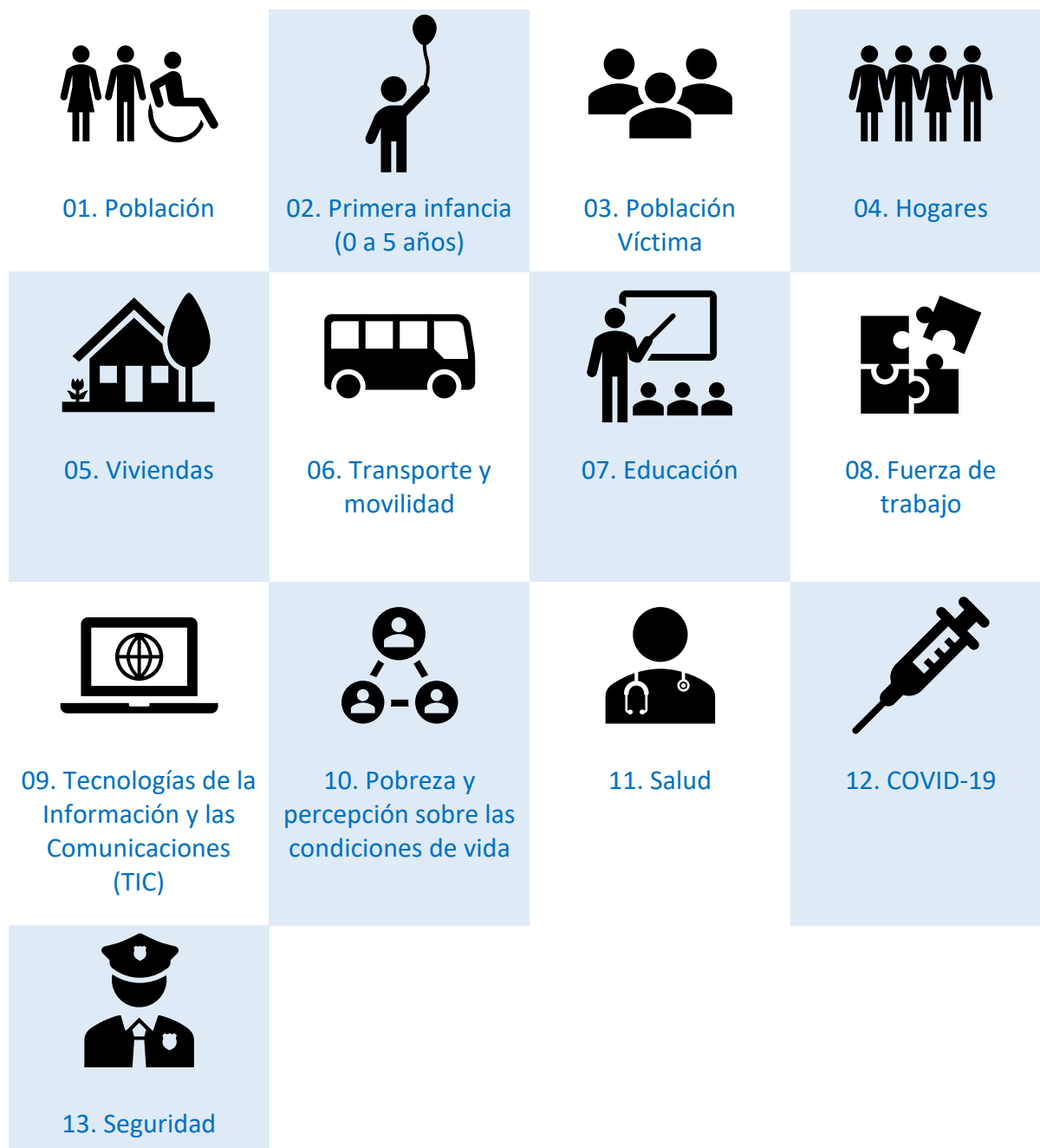


Figura 5-7. Temas definidos en la EM. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

Cada tema está desagregado en subtemas y éstas a su vez en variables o indicadores. En cifras, la Tabla 5-6 resume la cantidad de datos que conforman la Encuesta Multipropósito reflejando un aumento anual significativo en el número de las variables.

Tabla 5-6: Contenido del archivo Excel descargable con los indicadores de la EM. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

Año	Clase	Municipios		Localidad		UPZ	
		Subtemas	VARIABLES	Subtemas	VARIABLES	Subtemas	VARIABLES
2011	Urbano	50	162	50	162	-	-
	Rural	-	-	-	-	-	-
2014	Urbano	56	198	56	194	-	-
	Rural	-	-	-	-	-	-
2017	Urbano	60	205	60	204	60	204
	Rural	60	207	60	207	-	-
2021	Urbano	82	273	82	272	82	272
	Rural	82	277	82	276	-	-

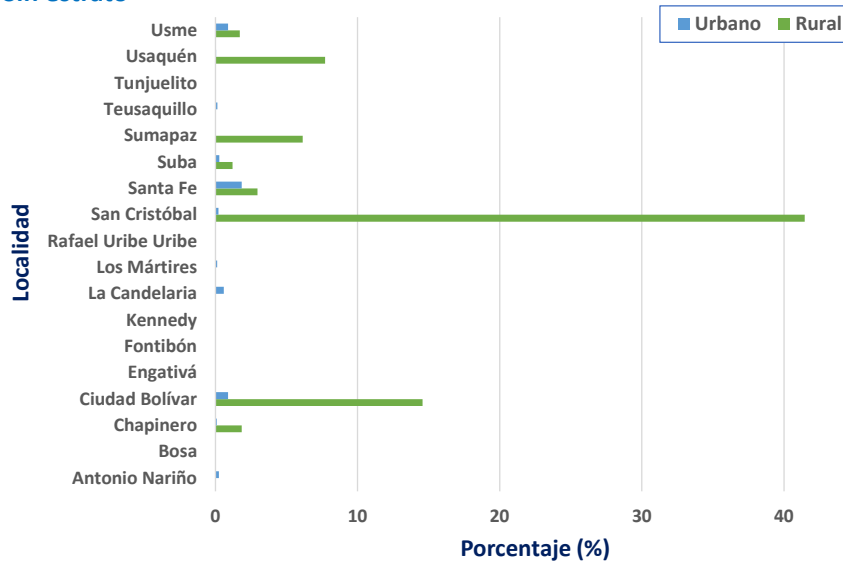
Es importante resaltar que la EM contiene la estratificación socioeconómica por eso reporta el porcentaje de personas en cada uno de los estratos por unidad territorial, año y clase. Como ejemplo, la pantalla de la Figura 5-8 identifica el porcentaje de personas ubicadas en la zona urbana en los estratos (1-6) y sin estrato en los años 2011, 2014, 2017 y 2021:

Promedio de valor				Año			
Tema	Subtema	Variable	Unidad de medida	2011	2014	2017	2021
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 1	(% personas)	10,5	10,8	10,0	8,6
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 2	(% personas)	39,1	36,3	35,5	35,7
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 3	(% personas)	37,8	41,2	39,0	38,7
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 4	(% personas)	16,7	16,7	23,6	19,4
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 5	(% personas)	5,5	5,6	6,5	6,8
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Estrato 6	(% personas)	16,5	17,8	17,1	9,0
01. Población	04. Población por estrato socioeconómico	Sin estrato	(% personas)	1,1	0,3	0,1	0,3

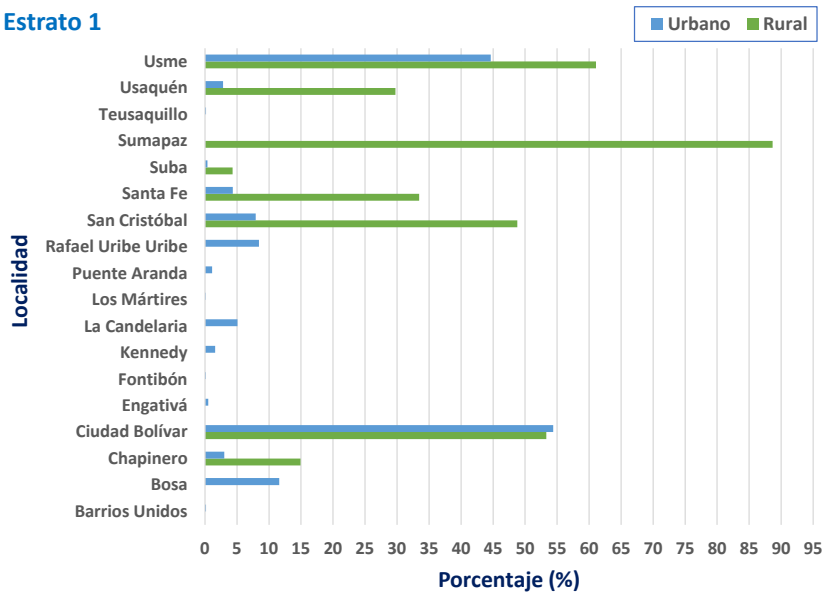
Figura 5-8. Tabla dinámica obtenida de la EM con la participación porcentual de la población urbana por estrato socioeconómico y año. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

Los datos de estratificación obtenidos de la EM-2017 son tabulados en la presente investigación con el propósito de analizar la evolución de la estratificación socioeconómica en Bogotá. Los resultados por localidad son graficados en la Figura 5-9:

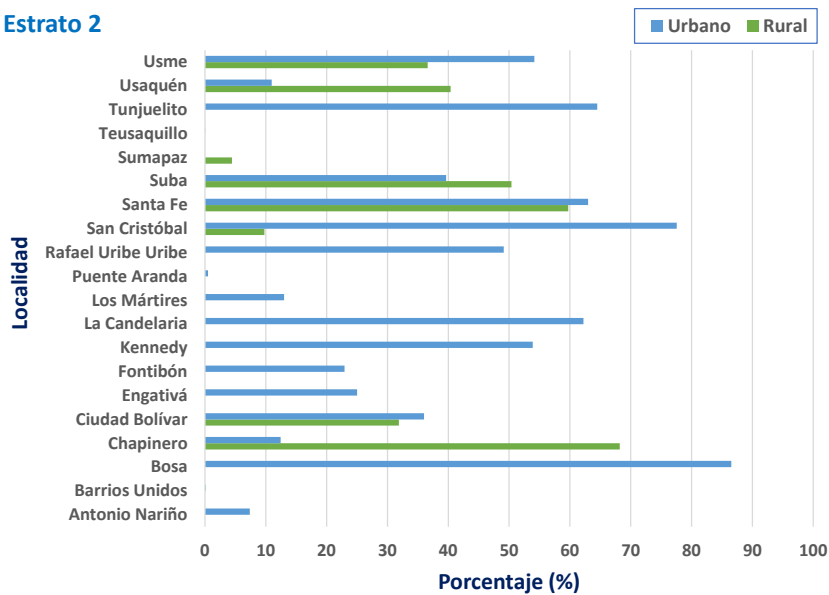
Sin estrato



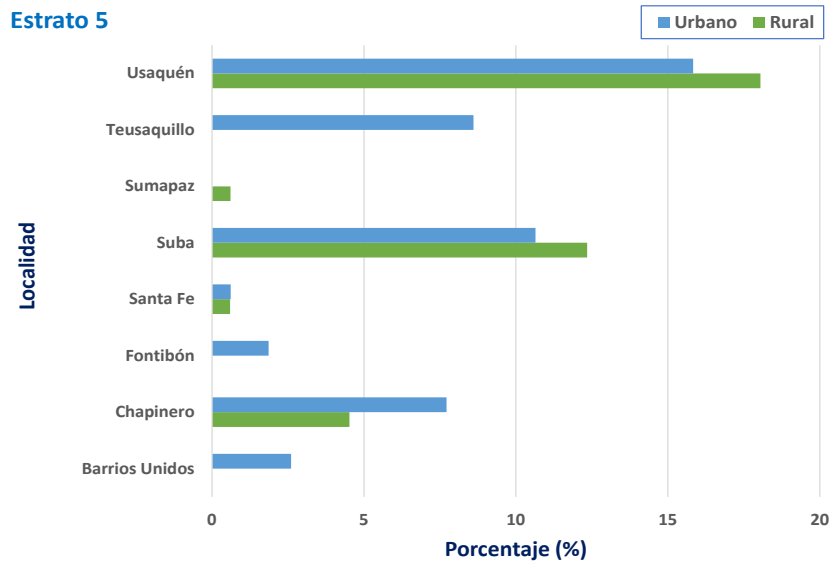
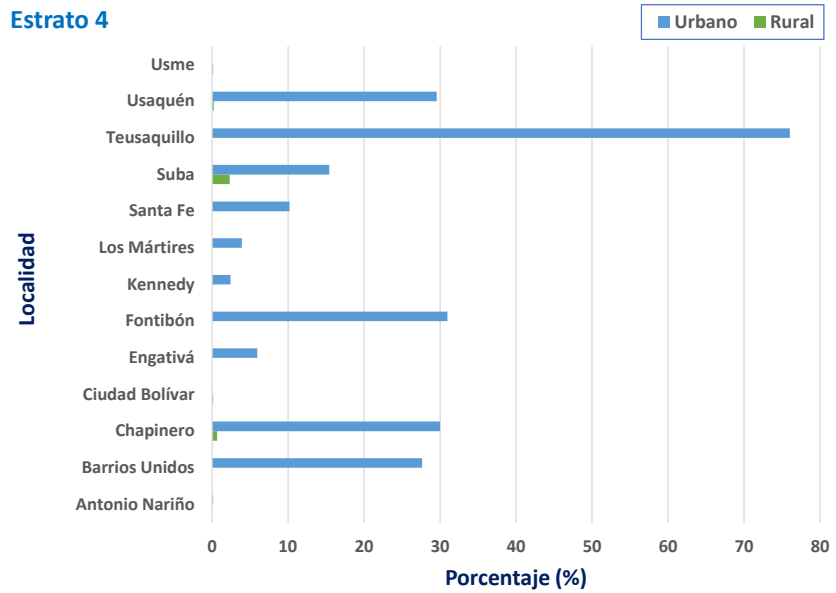
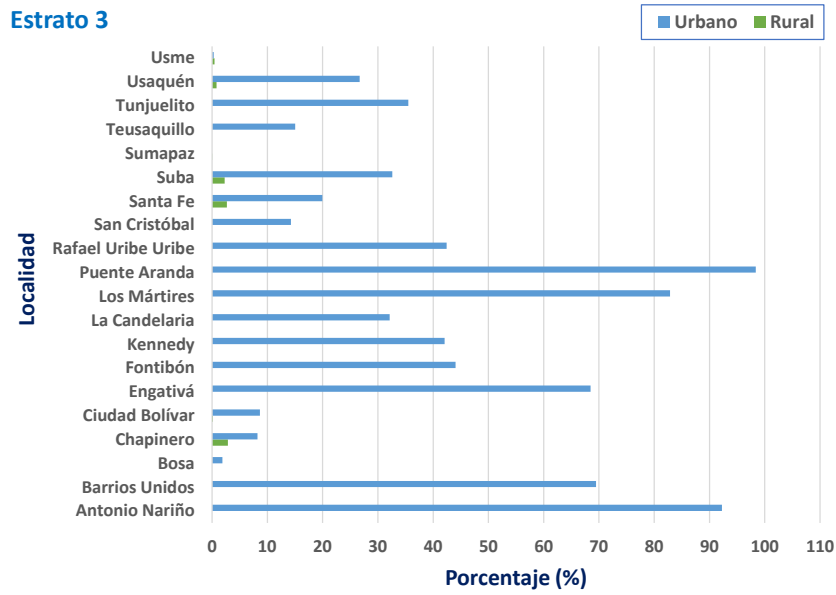
Estrato 1



Estrato 2







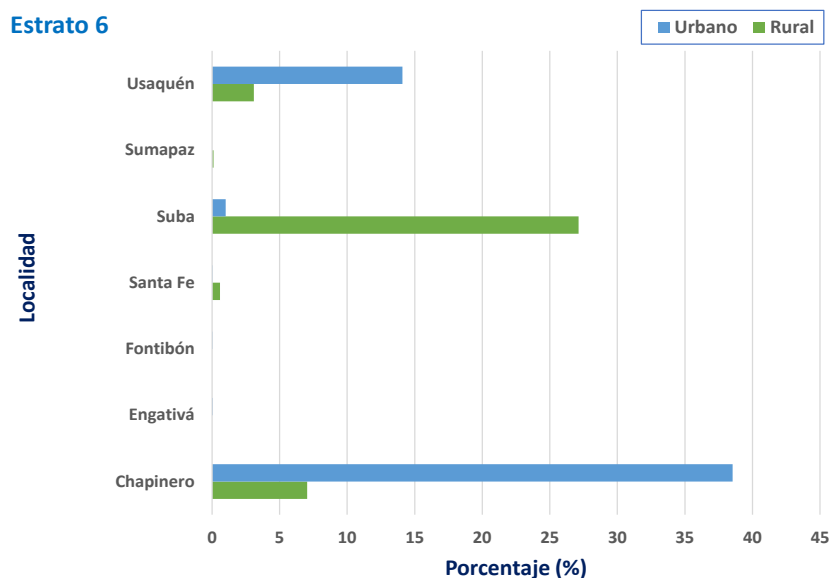


Figura 5-9. Comparación de la estratificación socioeconómica en zonas urbanas y rurales por localidad.

Se infiere que en la localidad de **San Cristóbal** más del 40% de la población que reside en suelos de uso rural, no reportan estrato socioeconómico, así como sucede en menor medida en las localidades de **Ciudad Bolívar**, **Usaquén** y **Sumapaz**. En lo que respecta a las localidades restantes, la gran mayoría del territorio de la ciudad está estratificada en suelo urbano.

En el **Estrato 1**, el 90% de la población ubicada en zona rural de la localidad de **Sumapaz** pertenece a ese estrato y en orden decreciente le siguen las localidades de **Usme**, **Ciudad Bolívar**, **San Cristóbal**, **Santa Fe** y **Usaquén**. La localidad de **Ciudad Bolívar** también comparte el primer lugar en participación en la zona urbanizable en más de un 50% junto con las localidades de **Usme** y **Bosa**.

Con respecto al **Estrato 2**, más de la mitad de las localidades en las zonas urbanas pertenecen a ese estrato. Superando en 50%, la participación de la población en suelo urbano se encuentra de mayor a menor, en las localidades de **Bosa**, **San Cristóbal**, **Tunjuelito**, **Usme**, **Santa Fe**, **La Candelaria** y **Kennedy**. En esa misma condición, pero en zonas rurales están las localidades de **Chapinero**, **Santa Fe**, y **Suba**.

La clasificación en el **Estrato 3** es prácticamente urbana sin zonas rurales de consideración. En cerca de 18 localidades, la población pertenece a ese estrato, a excepción de las localidades ya mencionadas que son en su mayoría estratos 1 y 2 (Usme y Sumapaz). **Puente Aranda** encabeza la lista en este estrato después de las localidades de **Antonio Nariño** y **Los Mártires**.

En el **Estrato 4** la lista de las localidades se reduce notablemente situando en esta clasificación a población de zonas urbanas, siendo **Teusaquillo** la más representativa (75%).

Las zonas con suelo rural reaparecen en la distribución del **Estrato 5**, en concreto, en las localidades de **Usaquén**, **Suba** y **Chapinero**, coincidiendo con porcentajes similares en la zona urbana de las mismas localidades. A diferencia del resto de localidades, sólo la localidad de Teusaquillo reporta población en zona urbana con participación incipiente por parte de las localidades de **Barrios Unidos**, **Fontibón** y **Santa Fe**.

Finalmente, en el **Estrato 6** sólo existen reportes en las localidades de **Usaquén** y **Chapinero**, con participación tanto urbana como rural y una exclusiva participación de población rural en la localidad de **Suba**.

## 5.5.- METODOLOGÍA SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA ESTRATIFICAR LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ

### 5.5.1.- Antecedentes

Las medidas descritas en el numeral 5.3 del presente Capítulo relacionadas con la actualización de la estratificación socioeconómica de Bogotá focalizan sus esfuerzos en la definición de “**vivienda repotenciada**” o en “**hogar repotenciado**”, con la escasa y/o nula participación de información medioambiental en esas propuestas.

Para la presente investigación decidimos consultar directamente al DANE, las razones por las cuales no se consideran variables de carácter ambiental en la **NME**. La consulta se hace en el mes de julio de 2021.

A través del radicado n° 20212430182561 (**Anexo E**), el **DANE** responde al cuestionamiento indicando que las primeras metodologías diseñadas por la SDP para Bogotá involucraban los focos de contaminación, pero que dichos focos dejaron de considerarse porque la medición de la afectación resultaba compleja para su inclusión en el proceso de recolección masiva y, por ende, una evaluación simplificada resultaba subjetiva. Al respecto, se infiere que la subjetividad es parte inherente de la metodología, por eso la inclusión de una variable como la concentración de partículas (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>) podría ser un desafío a mediano y largo plazo para disminuir los errores de exclusión del país.

La incorporación de variables como el material particulado, monitoreado y reportado por el **IDEAM**, no implicaría subjetividad, por el contrario, contribuiría al conocimiento de las características socioambientales de la población en un marco institucional de justicia ambiental (Moreno, 2010). En ese sentido, la presente metodología integra variables socioambientales obtenidas de entidades oficiales que podrían contribuir a la estratificación socioeconómica de Bogotá.

En un intento por acercar las metodologías existentes a un enfoque socioambiental, se describe a continuación una alternativa que incluye variables medioambientales, en un escenario teórico y con un alcance exclusivamente urbano.

### 5.5.2.- Tipo de estudio

Ante la necesidad de emplear una herramienta versátil que permita conseguir una posible de estratificación socioeconómica urbana en los que se deban tener en cuenta varios criterios y múltiples alternativas, partiendo de opiniones subjetivas, decidimos optar por el uso del método cuantitativo de análisis jerárquico o **Analytic Hierarchy Process (AHP)**.

El **método cuantitativo AHP** fue desarrollado por **Thomas L. Saaty** en 1980 para tomar decisiones en problemas complejos de criterios múltiples. Es un procedimiento en el cual se proporciona información subjetiva para atribuir la importancia relativa a cada uno de los criterios definidos y a su vez, se especifica la preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión (Toskano Hurtado, 2005). La Figura 5-10 describe de manera esquemática el enfoque jerárquico indicado anteriormente:

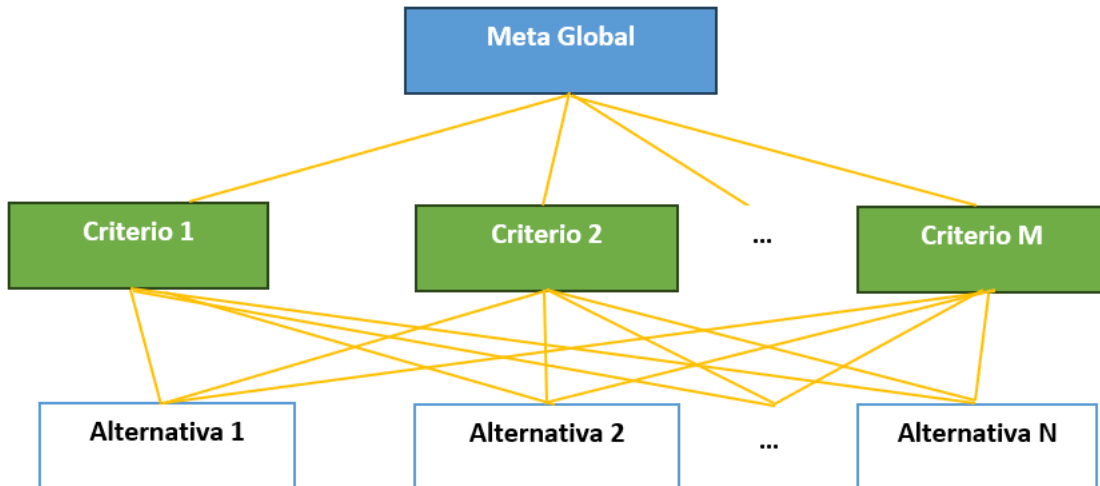


Figura 5-10. Árbol de jerarquías del método AHP. Fuente: (Nantes, 2019).

Este método de decisión multicriterio es muy ventajoso frente a otros métodos teniendo en cuenta las características señaladas en la Figura 5-11:

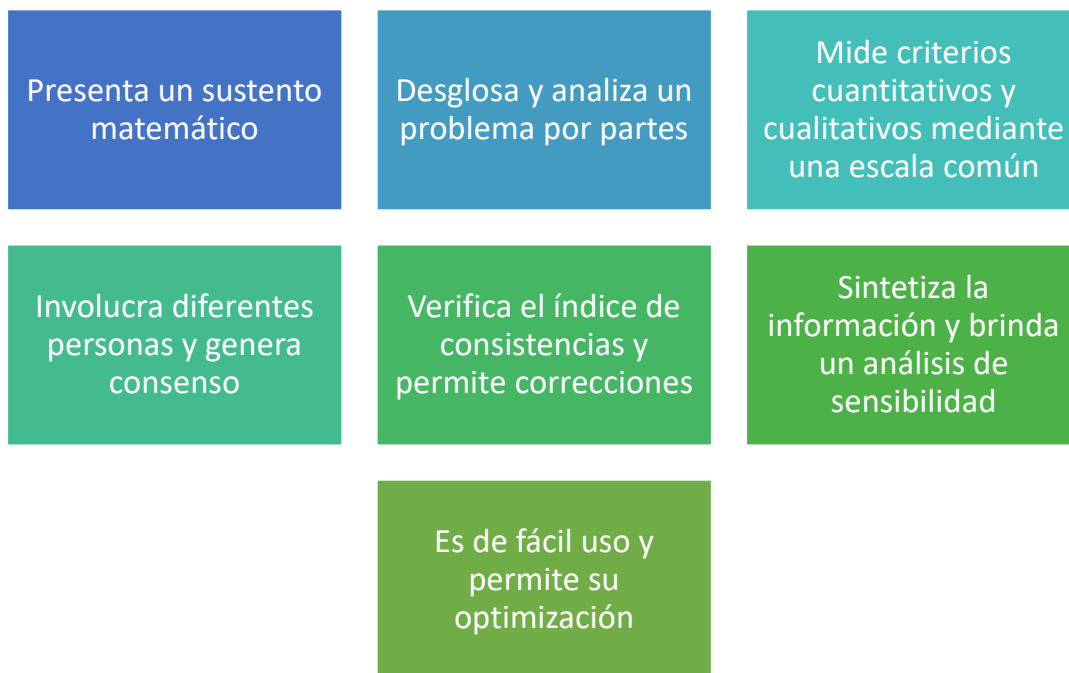


Figura 5-11. Ventajas de método AHP. Fuente: (Toskano Hurtado, 2005)

### Procedimiento general del AHP (Toskano Hurtado, 2005)

El procedimiento integrado para ejecutar la herramienta es el siguiente:

1. Estructurar el modelo jerárquico: Definición del problema, identificación de la meta, los criterios, los subcriterios y las alternativas.
2. Priorizar los elementos del modelo jerárquico
3. Realizar comparaciones binarias entre los elementos
4. Asignar “pesos a los elementos”

5. Determinar el ranking de las alternativas de acuerdo a los pesos dados
6. Sintetizar
7. Realizar un análisis de sensibilidad

Una vez ejecutado el procedimiento, los actores involucrados pueden tomar decisiones ante un problema complejo.

### Base matemática del AHP (Toskano Hurtado, 2005)

La base matemática del AHP consiste en determinar el **promedio geométrico** de las opiniones grupales en la toma de decisiones ante un cuestionamiento particular. Busca satisfacer la relación recíproca al comparar dos elementos.

En el AHP es necesario que los actores involucrados otorguen una preferencia o una prioridad a cada alternativa teniendo en cuenta la contribución de cada criterio.

El método AHP consiste en una matriz cuadrada (**A**) con comparaciones pareadas de alternativas o criterios. Sea  $a_{ij}$  el elemento ( $i, j$ ) de **A**, para  $i = 1, 2, \dots, n$  y  $j = 1, 2, \dots, n$ . **A** es una matriz de comparaciones pareadas de  $n$  alternativas, donde  $a_{ij}$  es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón  $i$  cuando se le compara con la alternativa de la columna  $j$ . Entonces, cuando  $i = j$ , el valor de  $a_{ij}$  será igual a 1, porque la alternativa se está comparando con ella misma.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5-9)$$

Ahora, se cumple que  $a_{ij}a_{ji} = 1$ , por eso:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5-10)$$

### Principios del AHP (Gómez Osorio & Cabrera Orejuela, 2008)

**Principio de Descomposición:** Con este método un problema complejo se puede estructurar en subproblemas jerárquicos con dependencias conforme el nivel de descomposición en que se encuentren. Se comparan los pares en escalas de 1 a 9, siendo ésta una escala razonable para distinguir las preferencias entre dos alternativas en las condiciones descritas en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7: Escala fundamental de preferencias Fuente: (Toskano Hurtado, 2005)

Intensidad/ Calificación	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las actividades contribuyen de igual forma al objetivo.

Intensidad/ Calificación	Definición	Explicación
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta e incuestionable.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Cuando i tiene un valor respecto a j igual a un entero de los indicados arriba, entonces el valor de j respecto a i es igual a 1/a

Los valores 2,4,6, y 8 se emplean cuando no es factible definir con claridad la preferencia entre los factores, se consideran valores intermedios de preferencia.

**Juicios comparativos:** Este principio hace referencia a las comparaciones biunívocas que se consigue con el método donde todos los elementos se combinan en parejas con respecto al criterio principal de un subgrupo.

**Composición jerárquica o síntesis de prioridades:** Brinda la posibilidad de encontrar prioridades globales a partir de prioridades locales.

#### Axiomas del AHP (Gómez Osorio & Cabrera Orejuela, 2008)

Los axiomas que dan sustento al AHP son:

**Axioma nº 1:** Condición recíproca, es decir,  $a_{ij} = 1/a_{ji}$

**Axioma nº 2:** Condición de homogeneidad donde los elementos que se comparan son de la misma jerarquía o magnitud.

**Axioma nº 3:** Condición de jerarquía o dependencia que experimentan los elementos de dos niveles consecutivos.

**Axioma nº 4:** Condición relacionada con las expectativas de orden y rango, representadas en criterios y alternativas.

#### Síntesis del AHP (Toskano Hurtado, 2005)

Entre tanto, la **síntesis** se consigue con los siguientes pasos:

**Paso nº 1:** Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

**Paso nº 2:** Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de la columna obteniendo la matriz de comparaciones pareadas normalizada.

**Paso nº 3:** Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relacionadas con los elementos que se comparan.

Para conseguir la síntesis es necesario priorizar los criterios con respecto a una meta definida o global, así:

$$\begin{array}{l} \text{Criterio 1} \\ \text{Criterio 2} \\ \dots \\ \text{Criterio m} \end{array} \begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{bmatrix} \quad (5-11)$$

Después se halla la matriz de prioridades que integra las prioridades de cada alternativa en términos de cada criterio con  $m$  criterios y  $n$  alternativas:

$$\begin{array}{l} \text{Alternativa 1} \\ \text{Alternativa 2} \\ \dots \\ \text{Alternativa n} \end{array} \begin{array}{cccc} \text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \dots & \text{Criterio m} \\ \left[ \begin{array}{cccc} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{array} \right] & & & \end{array} \quad (5-12)$$

Siendo,  $P_{ij}$  la prioridad de la alternativa  $i$  con respecto al criterio  $j$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$  y,  $j = 1, 2, \dots, m$ .

En conclusión, la matriz resultante para cada alternativa se compone del producto entre la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios como se muestra en la ecuación 5-13.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Pg_1 \\ Pg_2 \\ \dots \\ Pg_n \end{bmatrix} \quad (5-13)$$

Siendo  $Pg_i$  la prioridad global de la alternativa ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

### Consistencia en el AHP (Cr), (Toskano Hurtado, 2005)

Una vez aplicado el método es importante determinar su consistencia y así medir la calidad de la decisión final. Cabe mencionar que existirá cierta inconsistencia porque se trata de juicios de valor proporcionados por las personas involucradas en la toma de decisiones o decisores.

Si la consistencia es favorable se puede dar por terminado el proceso, sin embargo, en caso contrario, el decisor debe replantear los juicios otorgados y repetir el proceso.

En términos matemáticos, existe consistencia en una matriz **A** ( $n \times n$ ), si  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , para ( $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ ). Para ello, todas las columnas y filas de **A** deben ser dependientes, es decir, mantener un sistema  $n \times n$ .

En primer lugar, la consistencia requiere la estimación de una segunda **matriz normalizada N (nxn)** que conmuta con su transpuesta (Sea M es una matriz simétrica, antisimétrica u ortogonal, es normal si  $MM^T=M^TM$ ).

La **matriz normalizada** de elementos  $w_{ij}$  para  $(i, j = 1, 2, \dots, n)$  está definida así:

$$N = \begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (5-14)$$

Para alcanzar la comparación se determina el inverso de **N** a partir de **A**, de la siguiente forma:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5-15)$$

Finalmente, para que **A** sea consistente debe darse la siguiente condición: **AW=nW**, es decir:

$$\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_1 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5-16)$$

Con pesos relativos en el vector columna de **W**, se puede demostrar que:

$$A \bar{W} = n_{max} \bar{W} \quad (5-17)$$

Siendo,  $n_{max} \geq n$ .

El valor  $n_{max}$  se obtiene al calcular el vector columna **A** y después sumando sus elementos a partir de la siguiente ecuación:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j = n_{max} \bar{w}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5-18)$$

Y como,  $\sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1$ , entonces,

$$\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j) = n_{max} \sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1 \quad (5-19)$$

Entre más se aproxime  $n_{max}$  a  $n$ , más consistente es la matriz de comparación **A**.

En conclusión, el **AHP** determina la consistencia hallando la razón entre el **Índice de consistencia** de A y el **Índice de consistencia aleatorio**, es decir hallando  $Cr$ :

$$Cr = \frac{C_i}{R_i} \quad (5-20)$$

En donde,

$$C_i = \frac{n_{max} - n}{n - 1} \quad (5-21)$$

Por su parte, el valor  $R_i$  o **índice de consistencia aleatoria** está definido en función del número de elementos que se comparan y asume los valores de la Tabla 5-8:



Tabla 5-8: Estimaciones para el índice de consistencia aleatorio en AHP. Fuente: (Toskano Hurtado, 2005)

Número criterios (n)	Valor Ri*	Ri = 1,98 * (n-2)/n
3	0.52	0.66
4	0.89	0.99
5	1.11	1.19
6	1.25	1.32
7	1.35	1.41
8	1.4	1.49
9	1.45	1.54
10	1.49	1.58
11	1.51	1.62
12	1.54	1.65
13	1.56	1.68
14	1.57	1.70
15	1.58	1.72

El valor de la tercera columna en la tabla previa corresponde al cociente empleado en la literatura por algunos autores (Toskano Hurtado, 2005).

A partir del valor  $Cr$ , se descartan juicios inconsistentes reconsiderando los valores originales de la matriz. Valores de 0.10 o inferiores evidencian un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas, en consecuencia:

$$Cr \leq 0.10 : \text{Consistencia}$$

$$Cr > 0.10 : \text{Inconsistencia}$$

### 5.5.3.- Muestra

Para definir la muestra se opta por el uso de datos de la **Encuesta Multipropósito (EM)** de Bogotá descrita en el numeral 5.4.2. La base de datos de la EM dispone de una amplia batería de variables para los años 2014, 2017 y 2021. Adicionalmente, la información se encuentra distribuida por unidades territoriales: municipio, localidad y UPZ y a su vez, por tipo de zona: urbana o rural (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021).

En aras de conseguir comparabilidad en el modelo planteado, decidimos seleccionar por cada tema una variable de tipo urbano procedente del año 2017. La Tabla 5-9 y de manera complementaria el **Anexo I**, contienen las variables que conforman los criterios del **AHP** diseñado para determinar posibles escenarios de **estratificación socioeconómica en la zona urbana de Bogotá**.

*Tabla 5-9: Resumen de los criterios seleccionados de la EM y aspecto asignado para el método AHP. Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)*

Tema	Subtema	Variable	Aspecto
1. Población	Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	Social
2. Primera infancia	Enfermedades prevalentes	Tos	Ambiental
3. Población víctima	Víctimas del conflicto armado	Es víctima	Social
4. Hogares	Déficit de vivienda	Total	Económico
5. Viviendas	Tipo de vivienda	Cuarto	Económico
6. Transporte y movilidad	Tiempo de desplazamiento para ir a trabajar		Ambiental
7. Educación	Nivel educativo (estudios terminados)	Universitaria completa	Social
8. Fuerza de trabajo	Tasa de desempleo (TD)		Económico
9. Tecnología de la información y las comunicaciones (TIC)	Uso de internet		Económico
10. Pobreza y percepción sobre las condiciones de vida	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)		Económico
11. Salud	Percepción de la calidad del servicio de salud	Muy buena	Social
12. COVID-19	-	-	-
13. Seguridad	Percepción general de la seguridad	Mejor	Social

Decidimos extraer los datos del año 2017 para usar los *ráster* elaborados en el numeral 3.3.4 con las distribuciones espaciales de las concentraciones promedio anuales de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. Con respecto al orden de preferencias de cada criterio, la Tabla 5-10 resume cada uno de los criterios considerados, así como el aspecto otorgado y el respectivo orden. A nuestro juicio, 1 corresponde al criterio de mayor importancia y 13 al de menor importancia.

Tabla 5-10: Orden de preferencias otorgado para el método AHP. Fuente: Propia

Criterio	Descripción	Aspecto	Orden
C1	Población migrante en los últimos 5 años	Social	3
C2	Nivel educativo (estudios terminados)	Social	7
C3	Percepción de la calidad del servicio de salud	Social	12
C4	Percepción general de la seguridad	Social	13
C5	Déficit de vivienda	Económico	5
C6	Tipo de vivienda	Económico	4
C7	Tasa de desempleo (TD)	Económico	6
C8	Uso de internet	Económico	11
C9	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	Económico	1
C10	Enfermedades respiratorias prevalentes	Ambiental	2
C11	Tiempo de desplazamiento para ir a trabajar	Ambiental	10
C12	Concentración promedio anual PM <sub>2.5</sub>	Ambiental	9
C13	Concentración promedio anual PM <sub>10</sub>	Ambiental	8

En términos generales el mapa jerárquico aplicado a la presente propuesta pretende alcanzar la meta de la Figura 5-12:

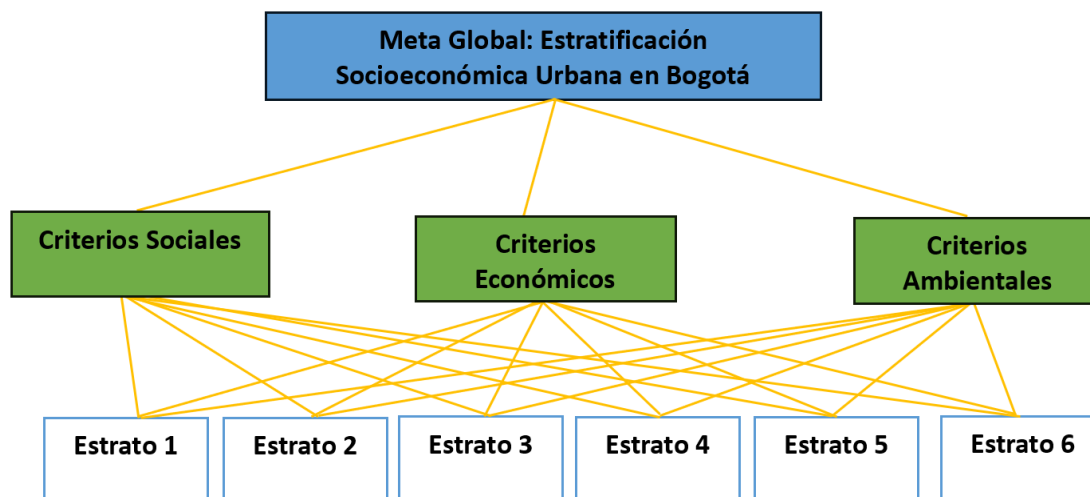


Figura 5-12. Esquema jerárquico AHP para la presente investigación. Fuente: Propia

Del archivo descargable en Excel con la batería de los indicadores de la EM extraemos los datos de interés en una nueva hoja de procesamiento tal y como se muestra en la Tabla 5-11. La tabla recoge la información en **2 525 filas** y **6 columnas**, de éstas últimas se distinguen el tema, el subtema, la variable, el código municipal, el nombre de la localidad y el valor del indicador.

Tabla 5-11. Aspecto de la base de datos de la EM con los indicadores urbanos de 2017.

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

	A	B	C	D	E	F
1	Tema	Subtema	Variable	Código municipio	Nombre localidad	Valor
230	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	1	Usaquén	7,0
231	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	2	Chapinero	9,4
232	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	3	Santa Fe	5,8
233	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	4	San Cristóbal	2,1
234	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	5	Usme	1,9
235	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	6	Tunjuelito	2,1
236	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	7	Bosa	4,2
237	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	8	Kennedy	3,4
238	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	9	Fontibón	4,3
239	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	10	Engativá	3,1
240	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	11	Suba	4,0
241	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	12	Barrios Unidos	4,7
242	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	13	Teusaquillo	6,2
243	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	14	Los Mártires	3,3
244	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	15	Antonio Narí	2,2
245	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	16	Puente Arand	3,3
246	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	17	La Candelaria	6,9
247	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	18	Rafael Uribe	2,5
248	01. Población	02. Población migrante en los últimos 5 años	Total migrantes	19	Ciudad Bolívar	3,0
249	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	1. Contributivo	1	Usaquén	87,8
250	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	3. Especial o de excepción	1	Usaquén	2,9
251	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	2. Subsidiado	1	Usaquén	8,2
252	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	4. No sabe, no informa	1	Usaquén	1,1
253	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	1. Contributivo	2	Chapinero	86,1
254	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	3. Especial o de excepción	2	Chapinero	3,1
255	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	2. Subsidiado	2	Chapinero	10,0
256	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	4. No sabe, no informa	2	Chapinero	0,8
257	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	1. Contributivo	3	Santa Fe	62,1
258	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	3. Especial o de excepción	3	Santa Fe	2,2
259	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	2. Subsidiado	3	Santa Fe	34,9
260	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	4. No sabe, no informa	3	Santa Fe	0,8
261	11. Salud	02. Régimen de afiliación a salud	1. Contributivo	4	San Cristóbal	65,8

#### 5.5.4.- Instrumentación y método

La instrumentación tuvo lugar en dos etapas. En primer lugar, se procesó manualmente en una hoja de Excel el **método AHP** considerando las formulaciones de las matrices, el orden de preferencia y los criterios de la Tabla 5-10. Y, en segundo lugar, se ingresa la información calculada en la herramienta **AHP** dispuesta en **ArcGIS®** para la generación de los mapas.

- **Estructuración del modelo jerárquico en hoja Excel**

El procesamiento inició con el cálculo de las diferencias entre dos órdenes de criterios por considerar pertinente para el objetivo buscado. A partir de esa diferencia, se determina la matriz de criterios [C] con escala 1-9 y posteriormente, la matriz normalizada. De la última matriz, definimos el vector de peso de los criterios,  $[Ws]=[C]x[W]$ , y la **Consistencia** de la matriz de criterios [C] con la siguiente razón:  $[Cons]=[Ws]/[W]$ .

Para la validación del método, se estima la **Razón de Consistencia (Cr)**, a partir de la ecuación 5-19. Con valores de  $Cr < 0.1$  consideramos **válido** el modelo.

- **Distribución espacial**

Para esta etapa, se ingresan los resultados de la hoja Excel en la herramienta **AHP** de la versión 10.8.2 de **ArcGIS®** conforme se visualiza en la Figura 5-13.

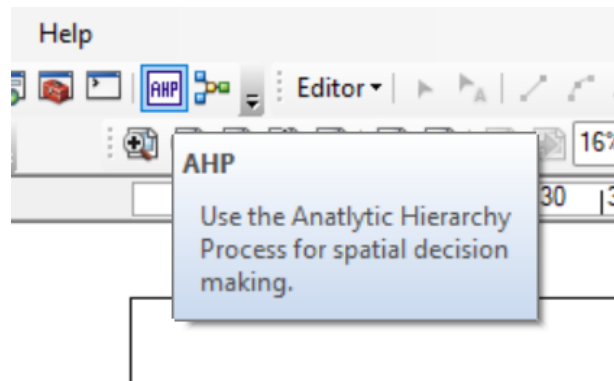


Figura 5-13. Herramienta AHP disponible en ArcGIS®. Fuente: ArcGIS 10.8.2

ESRI provee una extensión actualizada de la extensión **extAHP**, una herramienta robusta para el análisis multicriterio. La anterior versión reposaba en ArcScripts, sin embargo, a diferencia de esa, la versión actual calcula las ponderaciones de los criterios (hasta 15 criterios) de acuerdo con el proceso de jerarquía **AHP** y permite la creación de mapas de idoneidad atendiendo los principios de planificación espacial, mapeo de riesgos, entre otros.

Su uso requiere versiones **ArcGIS® 10.1** y **10.2** así como entornos Windows 7 y 8. Es necesario extensiones de **Spatial Analyst** (ESRI, 2023c).

Se procede a ingresar los criterios al interior del software a través de la ventana de la Figura 5-14 y en el orden estricto definido. Es importante indicar que el ingreso de los datos necesitó un procesamiento previo que consistió en la transformación de los criterios en **ráster**. Los ráster correspondientes a la concentración de los contaminantes PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> fueron previamente generados mediante método **Kriging** para el desarrollo del contenido del numeral 3.3. de la presente investigación (ESRI, 2023a).

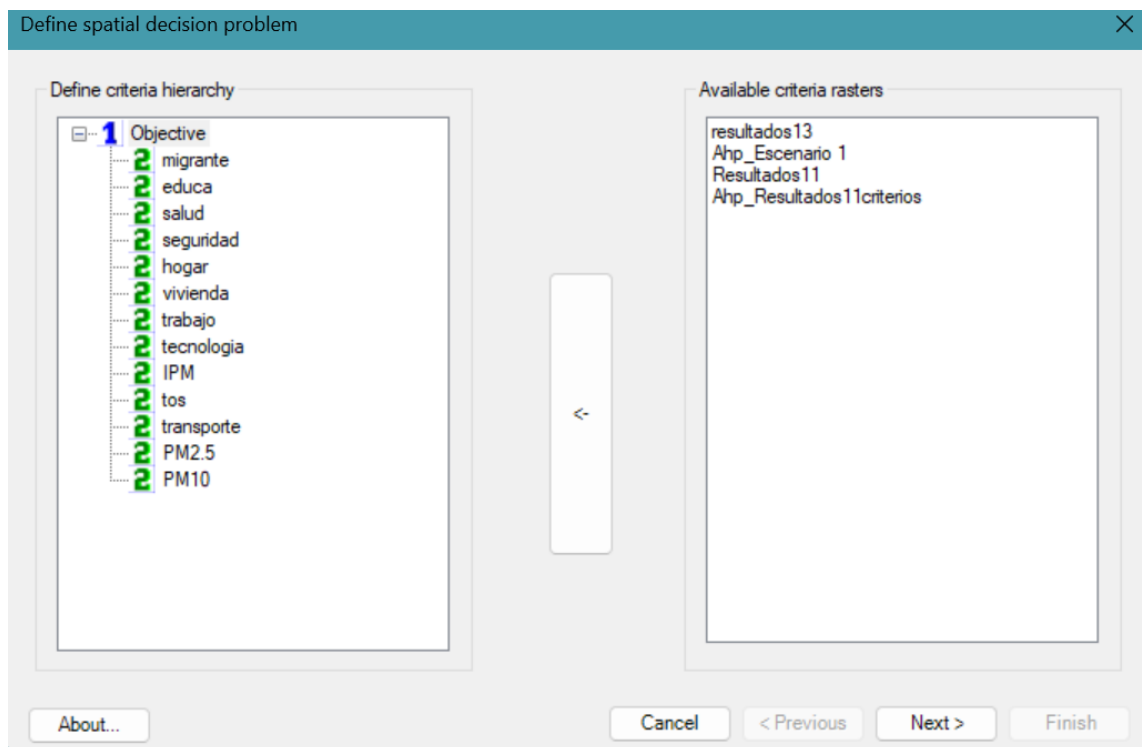


Figura 5-14. Selección de criterios en la herramienta disponible AHP de ArcGIS®. Fuente: ArcGIS 10.8.2

El software valida nuevamente los resultados procesados con anterioridad confirmando el índice o la **Razón de Consistencia (Cr)** obtenido manualmente.

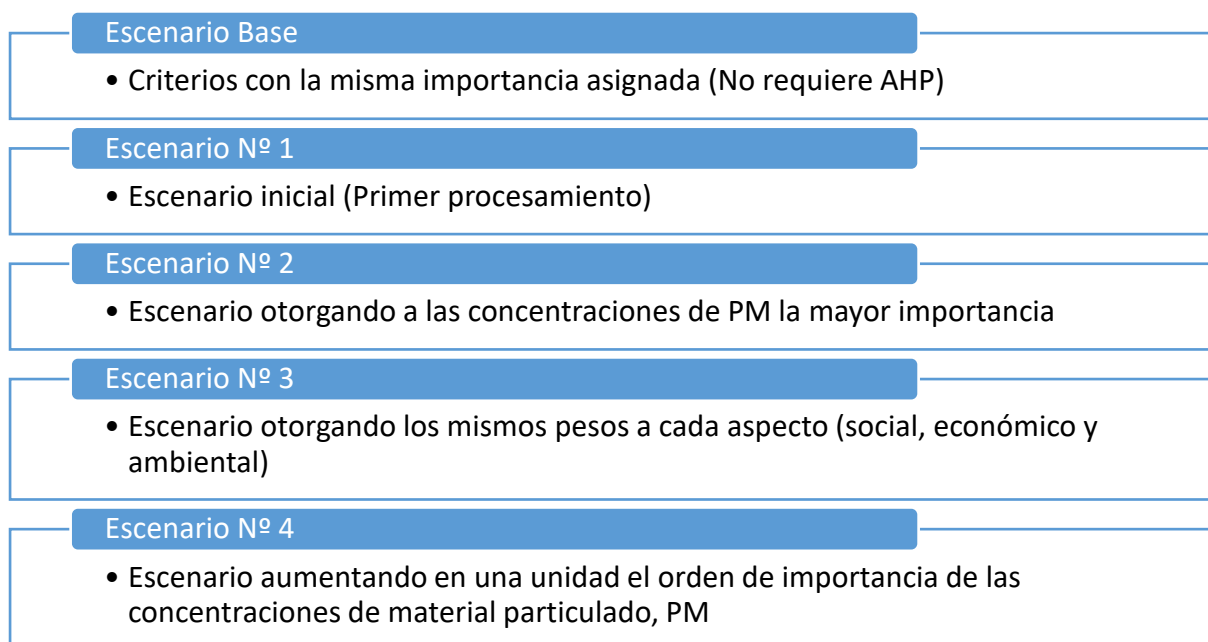
Después de ello, se generan los mapas con la distribución espacial de los resultados en *Layer files (\*.lyr)*, los cuales son almacenados y transformados en *Shapes (\*.shp)*. Finalmente, son clasificados en seis rangos representando los estratos socioeconómicos definidos por la **Ley 142 del 11 de julio de 1994**, considerando como vulnerables, las zonas con valores más altos.

- **Síntesis y Análisis de Sensibilidad**

Para concluir la metodología decidimos poner en marcha el Análisis de Sensibilidad para responder a la pregunta **¿Qué pasa sí?** (Toskano Hurtado, 2005). Para ello, se fijan cuatro escenarios diferentes cambiando la importancia de los criterios o supuestos. Resulta una buena práctica para evaluar los resultados a corto y mediano plazo y si es el caso proceder a modificaciones, porque se trata de procesos dinámicos que requieren de ajustes periódicos en ambientes cambiantes y complejos como es nuestro caso.

El **Análisis de Sensibilidad** es complementando con el cálculo de la varianza y la desviación estándar con el propósito de comparar las diferencias entre las **Razones de Consistencia (Cr)** de cada uno de los escenarios.

El esquema de la Figura 5-15 responde a la pregunta, **¿Qué pasa si ...?:**



*Figura 5-15. Descripción del Análisis de Sensibilidad diseñado. Fuente: Propia*

El orden que decidimos otorgar para los criterios en cada uno de los escenarios responde a las valoraciones de la Tabla 5-10. Cabe recordar, que el orden uno (1) en la Tabla 5-12 indica mayor importancia mientras valores cercanos a trece (13) suponen menor importancia.

Tabla 5-12: Orden de preferencias otorgado para el método AHP en cada escenario. Fuente: Propia

Criterio	Descripción	Orden por Escenario				
		Base	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4
C1	Población migrante en los últimos 5 años	-	3	5	2.1	3
C2	Población con estudios universitarios terminados	-	7	9	2.2	9
C3	Población con una muy buena percepción de la calidad del servicio de salud	-	12	12	2.3	12
C4	Población que tiene una mejor percepción de la seguridad	-	13	13	2,4	13
C5	Población con déficit total de vivienda	-	5	7	3.1	5
C6	Población que tiene como tipo de vivienda un cuarto	-	4	6	3.2	4
C7	Tasa de desempleo (TD)	-	6	8	3.3	6
C8	Población usando internet	-	11	11	3.4	11
C9	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	-	1	3	3.5	1
C10	Población con tos como enfermedad prevalente	-	2	4	1.1	2
C11	Tiempo empleado para ir a trabajar	-	10	10	1.2	10
C12	Concentración promedio anual PM <sub>2.5</sub>	-	9	1	1.3	8
C13	Concentración promedio anual PM <sub>10</sub>	-	8	2	1.4	7

Con respecto al **Escenario Base**, la metodología difiere porque no existe diferencias de importancia entre los criterios considerados.

La herramienta de análisis empleada para el **Escenario Base**, consistió en un modelo de ponderación de suma de pesos. Para ello, se usó la herramienta *Weight Sum Model* de la versión 10.8.2 de **ArcGIS®**. Se trata de una herramienta de análisis espacial donde los valores de la celda son multiplicados por el respectivo peso otorgado generando un ráster de salida.

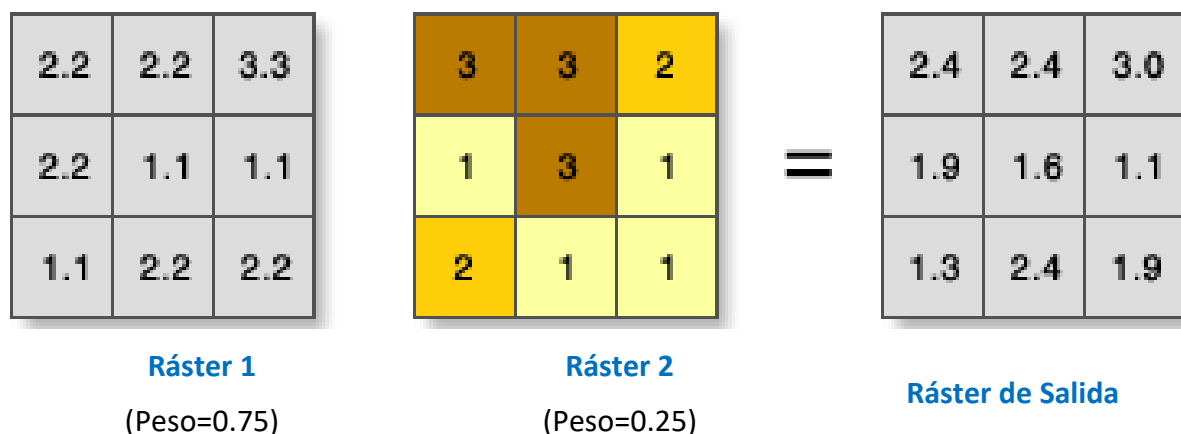


Figura 5-16. Esquema ilustrativo del modelo de suma de pesos. Fuente: (ESRI, 2023d)

A manera de ejemplo, en la Figura 5-16, la primera celda de salida es el resultado de 1.65 (2.2 x 0.75) más 7.75 (3 x 0.25), dando como resultado un valor de 2.4.

La decisión de utilizar dicha herramienta radicó en la pertinencia del método para alcanzar ráster múltiples estableciendo ponderaciones iguales a uno (1). Adicionalmente, tiene otras bondades como:

- Admite ráster de entrada diferentes, pueden ser enteros, como es nuestro caso, o puntos.
- Admite valores de ponderación decimal tanto negativos como positivos sin requerir porcentajes relativos a 1.0
- La ponderación es aplicable al campo seleccionado para el ráster de entrada.
- Puede ser empleado hasta en procesadores de cuatro núcleos.

Los datos de entrada (*inputs*) y salida (*outputs*) solicitados por la herramienta son los descritos en la Tabla 5-13:

Tabla 5-13. Parámetros ingresados en ArcGIS®. Fuente: (ESRI, 2023b)

Etiqueta	Descripción	Tipo de Datos
Ráster de Entrada	-Ráster de entrada  - Campo del ráster que se utilizará para la ponderación.  -Peso, valor de la ponderación por el cual se multiplicará el ráster. Puede ser un valor decimal positivo o negativo.	WSTable
Ráster de Salida	-Ráster ponderado de salida o Punto flotante	Ráster

### 5.5.5.- Resultados

Como resultado de la aplicación de la instrumentación y el método descrito con anterioridad, obtuvimos una **estratificación socioeconómica urbana alternativa para la ciudad de Bogotá**. A continuación, se relacionan las matrices desarrolladas para satisfacer las preferencias otorgadas a los criterios de la Tabla 5-10, incluyendo las diferencias entre órdenes de criterios



(Tabla 5-14), la matriz de criterios relativos con escala de 1 a 9 (Tabla 5-15) y finalmente, la matriz normalizada (Tabla 5-16):

*Tabla 5-14. Diferencias entre dos órdenes de criterios. Fuente: Propia*

A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	0	-4	-9	-10	-2	-1	-3	-8	2	1	-7	-6	-5
C2	4	0	-5	-6	2	3	1	-4	6	5	-3	-2	-1
C3	9	5	0	-1	7	8	6	1	11	10	2	3	4
C4	10	6	1	0	8	9	7	2	12	11	3	4	5
C5	2	-2	-7	-8	0	1	-1	-6	4	3	-5	-4	-3
C6	1	-3	-8	-9	-1	0	-2	-7	3	2	-6	-5	-4
C7	3	-1	-6	-7	1	2	0	-5	5	4	-4	-3	-2
C8	8	4	-1	-2	6	7	5	0	10	9	1	2	3
C9	-2	-6	-11	-12	-4	-3	-5	-10	0	-1	-9	-8	-7
C10	-1	-5	-10	-11	-3	-2	-4	-9	1	0	-8	-7	-6
C11	7	3	-2	-3	5	6	4	-1	9	8	0	1	2
C12	6	2	-3	-4	4	5	3	-2	8	7	-1	0	1
C13	5	1	-4	-5	3	4	2	-3	7	6	-2	-1	0

*Tabla 5-15. Matriz de criterios relativos [C] con escala 1-9. Fuente: Propia*

A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	1	3.667	7	7.667	2.333	1.667	3	6.333	0.429	0.6	5.667	5	4.333
C2	0.273	1	4.333	5	0.429	0.333	0.6	3.667	0.2	0.231	3	2.333	1.667
C3	0.143	0.231	1	1.667	0.176	0.158	0.2	0.6	0.12	0.13	0.429	0.333	0.273
C4	0.13	0.2	0.6	1	0.158	0.143	0.176	0.429	0.111	0.12	0.333	0.273	0.231
C5	0.429	2.333	5.667	6.333	1	0.6	1.667	5	0.273	0.333	4.333	3.667	3
C6	0.6	3	6.333	7	1.667	1	2.333	5.667	0.333	0.429	5	4.333	3.667
C7	0.333	1.667	5	5.667	0.6	0.429	1	4.333	0.231	0.273	3.667	3	2.333
C8	0.158	0.273	1.667	2.333	0.2	0.176	0.231	1	0.13	0.143	0.6	0.429	0.333
C9	2.333	5	8.333	9	3.667	3	4.333	7.667	1	1.667	7	6.333	5.667
C10	1.667	4.333	7.667	8.333	3	2.333	3.667	7	0.6	1	6.333	5.667	5
C11	0.176	0.333	2.333	3	0.231	0.2	0.273	1.667	0.143	0.158	1	0.6	0.429
C12	0.2	0.429	3	3.667	0.273	0.231	0.333	2.333	0.158	0.176	1.667	1	0.6
C13	0.231	0.6	3.667	4.333	0.333	0.273	0.429	3	0.176	0.2	2.333	1.667	1
Suma	7.67	23.07	56.60	65.00	14.07	10.54	18.24	48.70	3.90	5.46	41.36	34.63	28.53

*Tabla 5-16. Matriz normalizada de criterios. Fuente: Propia*

A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C1	0.130	0.159	0.124	0.118	0.166	0.158	0.164	0.130	0.110	0.110	0.137	0.144	0.152
C2	0.036	0.043	0.077	0.077	0.030	0.032	0.033	0.075	0.051	0.042	0.073	0.067	0.058
C3	0.019	0.010	0.018	0.026	0.013	0.015	0.011	0.012	0.031	0.024	0.010	0.010	0.010
C4	0.017	0.009	0.011	0.015	0.011	0.014	0.010	0.009	0.028	0.022	0.008	0.008	0.008
C5	0.056	0.101	0.100	0.097	0.071	0.057	0.091	0.103	0.070	0.061	0.105	0.106	0.105
C6	0.078	0.130	0.112	0.108	0.118	0.095	0.128	0.116	0.085	0.078	0.121	0.125	0.129

A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C7	0.043	0.072	0.088	0.087	0.043	0.041	0.055	0.089	0.059	0.050	0.089	0.087	0.082
C8	0.021	0.012	0.029	0.036	0.014	0.017	0.013	0.021	0.033	0.026	0.015	0.012	0.012
C9	0.304	0.217	0.147	0.138	0.261	0.285	0.238	0.157	0.256	0.305	0.169	0.183	0.199
C10	0.217	0.188	0.135	0.128	0.213	0.221	0.201	0.144	0.154	0.183	0.153	0.164	0.175
C11	0.023	0.014	0.041	0.046	0.016	0.019	0.015	0.034	0.037	0.029	0.024	0.017	0.015
C12	0.026	0.019	0.053	0.056	0.019	0.022	0.018	0.048	0.040	0.032	0.040	0.029	0.021
C13	0.030	0.026	0.065	0.067	0.024	0.026	0.023	0.062	0.045	0.037	0.056	0.048	0.035
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

- Validación del modelo a través del índice de Consistencia

Teniendo en cuenta los parámetros de la Ecuación 5-19, se estimó el Índice de Consistencia o  $Cr$  a partir del respectivo vector de consistencia. Para dicho vector se cumple:

$$Cr = \frac{C_i}{R_i} = \frac{n_{max}-n}{n-1} \quad (5-22)$$

Para obtener el parámetro  $n_{max}$  de la ecuación 5-22, se determinó el promedio ponderado que resulta de cada uno de los vectores de consistencia calculados a partir del producto matricial entre la Tabla 5-15 y el vector de pesos de la Tabla 5-16. Los resultados conforman la Tabla 5-17.

Tabla 5-17. Parámetros ingresados en ArcGIS®. Fuente: Propia

Vector peso de los criterios [W]	Vector de pesos [Ws]=[C]x[W]	Vector de consistencia [Cons]=[Ws]/[W]
0.14	1.949027085	14.05823467
0.05	0.719811255	13.47444309
0.02	0.210363134	13.2169169
0.01	0.173719551	13.33417125
0.09	1.196301235	13.84480373
0.11	1.531735708	13.98497175
0.07	0.929673357	13.66486427
0.02	0.262632419	13.130266
0.22	3.068100728	13.95133466
0.18	2.460077927	14.04581314
0.03	0.33430993	13.11357026

Vector peso de los criterios [W]	Vector de pesos [Ws]=[C]x[W]	Vector de consistencia [Cons]=[Ws]/[W]
0.03	0.430195394	13.17476406
0.04	0.556259002	13.30226294
<b>PROMEDIO</b>		13.56126283

Retomando la ecuación anterior, tenemos:

$$Cr = \frac{C_i}{R_i} = \frac{\frac{n_{max}-n}{n-1}}{R_i} = \frac{\frac{13.561-13}{13-1}}{1.56} = 0.0299 \quad (5-23)$$

Y como,

$Cr \leq 0.10$  : *Consistencia*

$Cr > 0.10$  : *Inconsistencia*

Con un valor de  $0.0299 \leq 0.10$ , validamos el modelo siendo el orden de preferencia otorgado consistente como alternativa de estratificación socioeconómica urbana para la ciudad de Bogotá.

- **Ingreso de datos en ArcGIS®**

Una vez validado el modelo, se ingresa la matriz de la Tabla 5-15 en la herramienta de **ArcGIS®** tal como se muestra en la Figura 5-17. La herramienta aporta los resultados de AHP previamente calculados. Adicionalmente brinda la posibilidad de generar el mapa a partir de los pesos ingresados en la ventana de la herramienta. Una vez seleccionada la ruta de almacenamiento, se obtiene un *layer file (\*.lyr)* el cual es posteriormente clasificado para conseguir un mapa final con la distribución de los resultados en el territorio acotado.

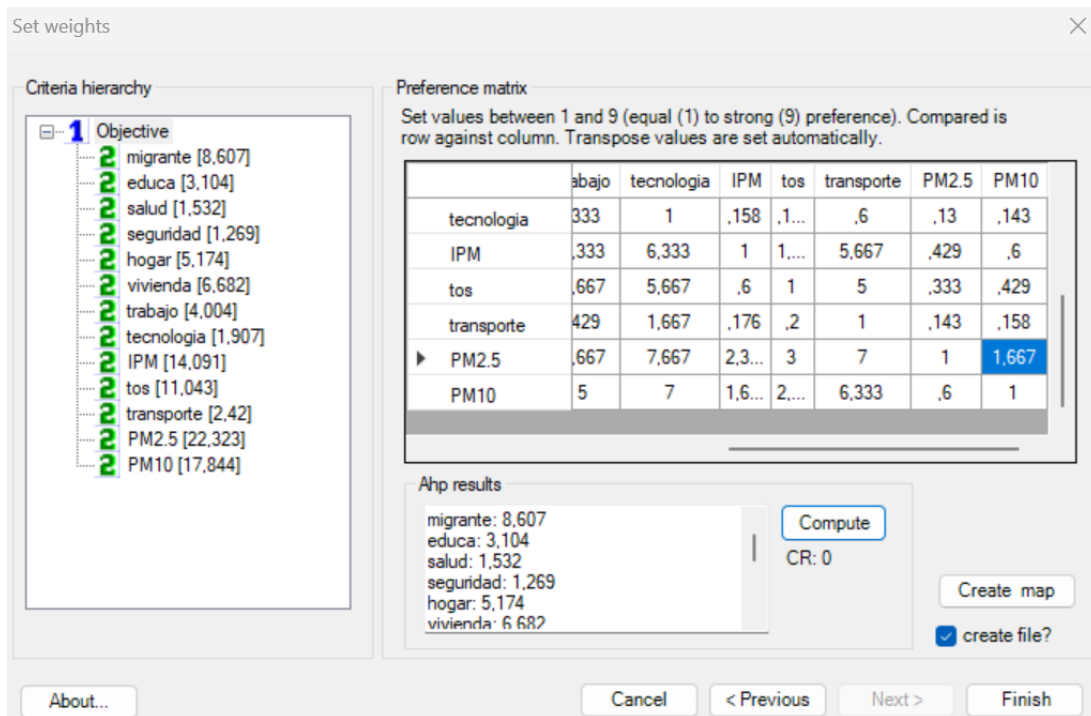


Figura 5-17. Pesos definidos para el AHP en ArcGIS®. Fuente: ArcGIS 10.8.2

Después de lo anterior, **ArcGIS®** genera los resultados en formato \*.lyr., para luego asignarle los seis rangos que constituyen los estratos socioeconómicos tal y como se aprecia en la Figura 5-18.

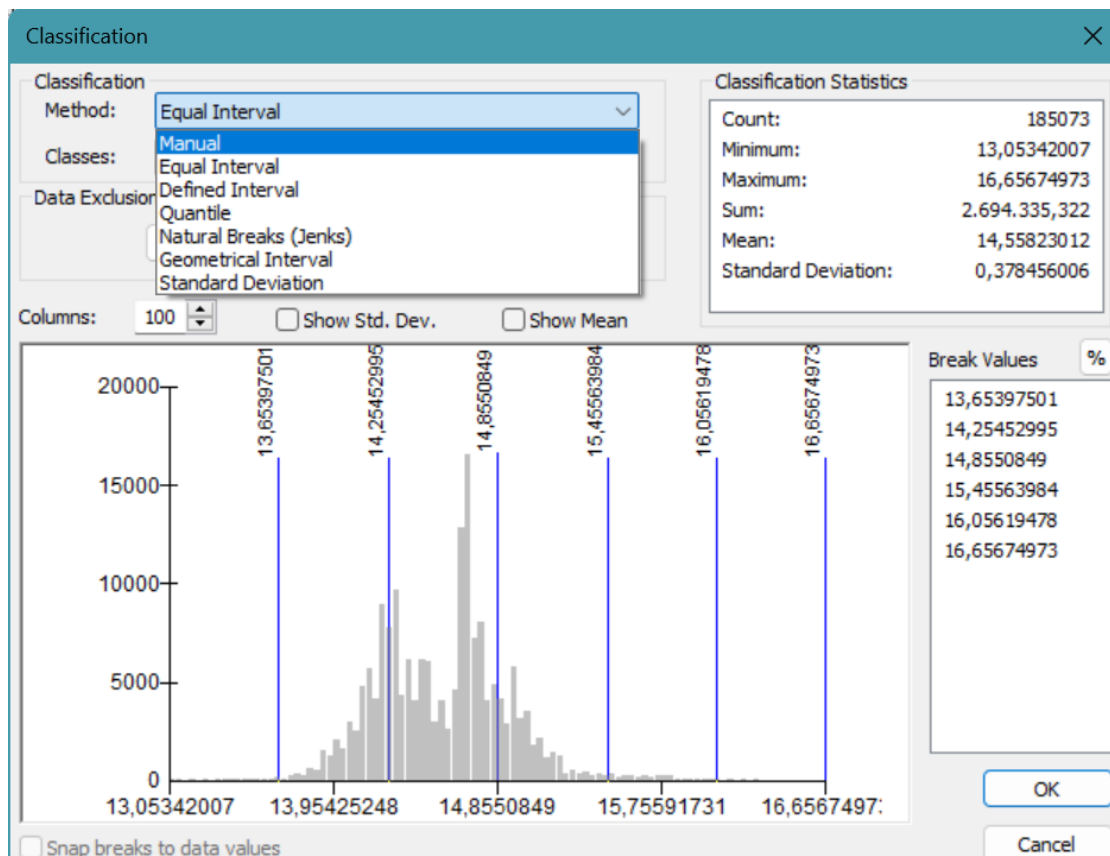


Figura 5-18. Asignación de rangos en ArcGIS®. Fuente: ArcGIS 10.8.2

- **Generación del mapa con la distribución espacial por estrato**

Al finalizar el procedimiento, se obtiene la zonificación de la estratificación socioeconómica propuesta para Bogotá en estratos del 1 al 6. El resultado obtenido con este procedimiento comparado con la estratificación socioeconómica definida por el **DANE** para el año 2020 (costado derecho de la Figura 5-19), reviste diferencias notables con respecto a las coberturas estimadas mediante el procedimiento AHP. Las zonas de los estratos altos son más amplias bajo las condiciones propuestas de esta investigación, con territorios de estratos bajos al suroccidente de la ciudad.

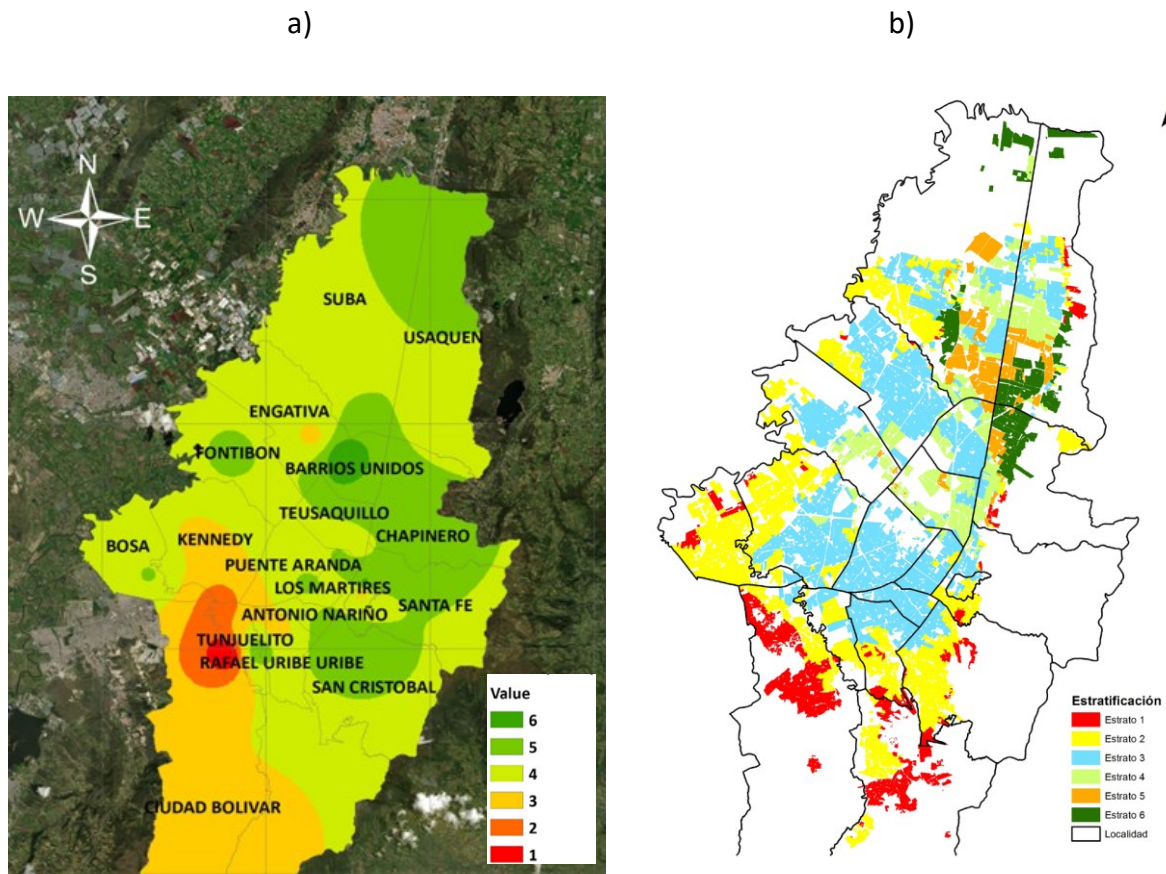


Figura 5-19. Comparación entre la estratificación socioeconómica obtenida con ArcGIS® (a) y resultados publicados en la literatura (b). Fuente: (Gutiérrez López et al., 2021)

- **Análisis de Sensibilidad**

Como se indicó en el numeral 5.5.4, el **Análisis de Sensibilidad** complementa estudio y se consigue repitiendo el procedimiento para los **Escenarios Nº 2, 3 y 4** (Ver Figura 5-20). El **Anexo 7.10** recoge los resultados y las Figuras 5-23, 5-24 y 5-25 contiene los respectivos mapas.

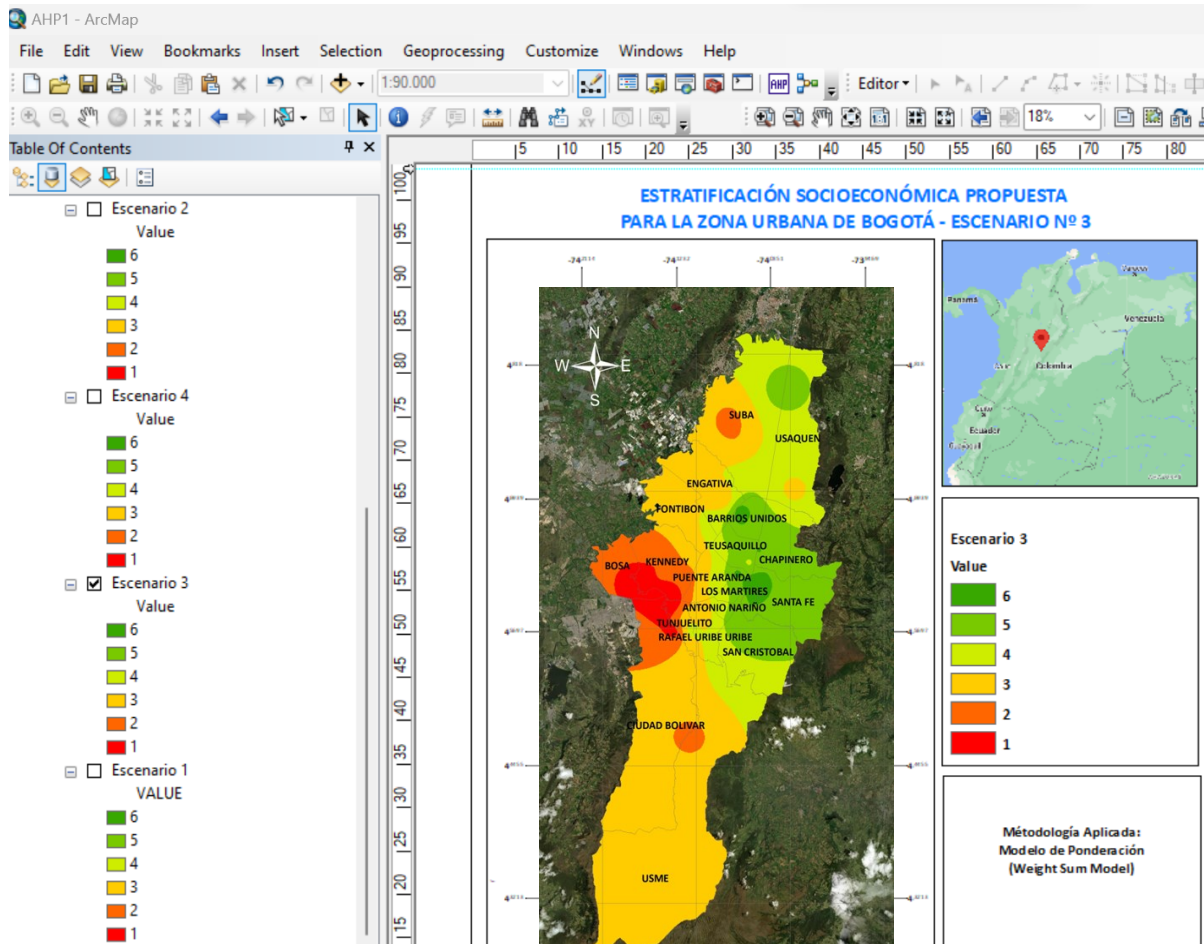


Figura 5-20. Escenarios por estratos al finalizar el procesamiento AHP en ArcGIS®. Fuente: ArcGIS 10.8.2

### Escenario Base

Teniendo en cuenta que todo lo calculado hasta el momento hace parte de los escenarios, es importante precisar que, el **Escenario Base** del mapa de la Figura 5-22 requirió otro procedimiento diferente. Haciendo uso de la herramienta **Weight Sum Model** de ArcGIS®, se ingresó el mismo peso a los trece criterios seleccionados como muestra la ventana de la Figura 5-21. Una vez procesados los ráster de cada uno de los criterios, se obtuvo el mapa resultante.

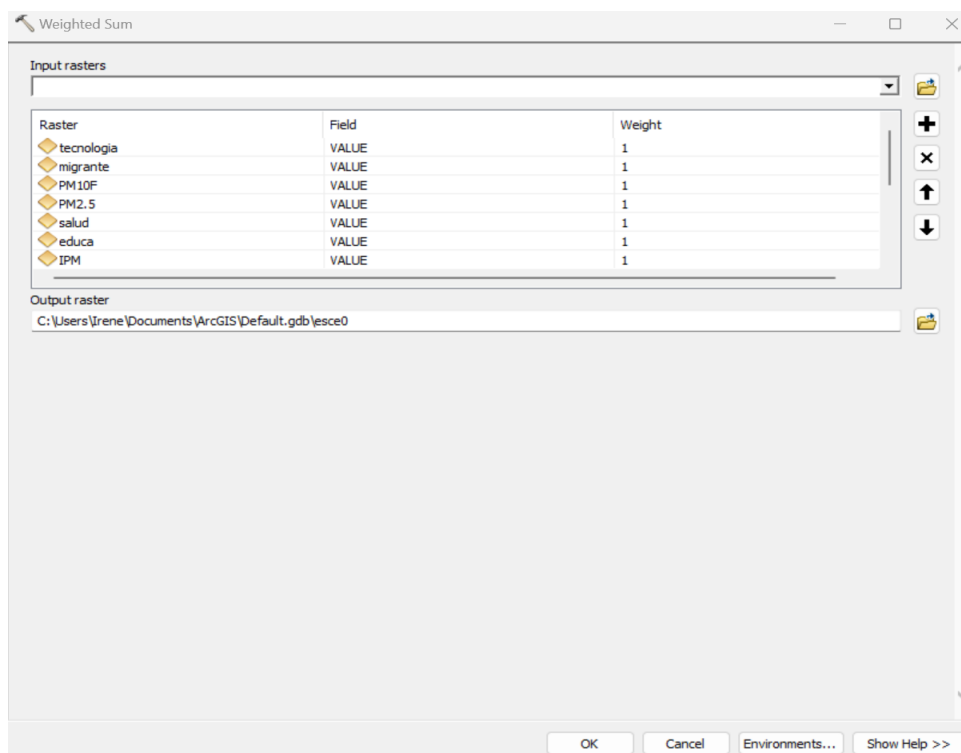


Figura 5-21. Asignación de los pesos para el Escenario Base. Fuente: ArcGIS 10.8.2

La estratificación socioeconómica en 2017 en el **Escenario Base** varía ampliamente entre localidades bogotanas, con una notable distribución de estratos bajos en la zona occidental de la ciudad a diferencia de la zona oriental en la que, en menor proporción, los estratos altos son más comunes. Es notoria la participación de varios estratos en una misma localidad, es el caso de las localidades de **Suba, Ciudad Bolívar, Usme, Chapinero** y **Santa Fe**, su estratificación refleja mayores diferencias entre criterios y por ende, territorios en situaciones con reducidas condiciones sociales, económicas y ambientales, sin dar preferencia a ninguna de ellas. En cuanto a las zonas de más alta estratificación socioeconómica, se destaca la presencia de algunos focos puntuales a lo largo de toda la ciudad, en concreto, en las localidades de **Rafael Uribe Uribe, Antonio Nariño, Usaquén, Suba** y de manera aislada una extensión muy pequeña al interior de la localidad de **Usme**.

### Escenario Nº 1

La distribución de los estratos a partir de la importancia propuesta para los criterios sometidos al análisis, arrojaron una distribución espacial favorable para la mayoría de los ciudadanos en Bogotá en 2017. Gran cantidad de zonas que en la actualidad son territorios característicos de estratos bajos, con esta metodología, mejoraron sus condiciones notablemente, como es el caso de las zonas conformadas por las localidades de **Bosa, Barrios Unidos, Teusaquillo** y **Fontibón**. Otras localidades que también mejoran notablemente sus condiciones de vida son **Santa Fe, San Cristobal, Los Mártires** y **Puente Aranda**. No obstante, localidades como **Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, Antonio Nariño, Engativá, Kennedy** y **Ciudad Bolívar**, reafirman estartificaciones bajas, manteniendo condiciones semejantes a las actuales. El comporamiento del resto de zonas en estratos socioeconómicos altos es semejante al actual, es el caso de **Usaquen, Suba** y **Chapinero**.

De lo anterior, se infiere que si se otorga mayor importancia a criterios socioambientales como el Índice de **Pobreza Multidimensional (IPM)**, las **Enfermedades prevalentes** y la **Población migrante en los últimos 5 años**, la calidad de vida de los bogotanos estaría condicionada a la estratificación territorial que ilustra el mapa de la Figura 5-23.

### Escenario N° 2

Los resultados del mapa de la Figura 5-24 muestran que, si se da prioridad a la concentración del **material particulado (PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>)** reportada por la **RCMAB** en la estratificación de los territorios en la ciudad, para 2017, las localidades del noreste de la ciudad gozarían de los estratos más altos, a diferencia de la zona centro occidental. Además, es destacable la poca extensión de territorios en estratos inferiores en las localidades de **Bosa, Ciudad Bolívar, Kennedy, Tunjuelito** y **Puente Aranda**. En dichas localidades, los impactos de la contaminación por partículas condicionarían notablemente la estratificación socioeconómica de sus habitantes. Por su parte, se infiere mejor calidad del aire en localidades como **Usaquén, Barrios Unidos, Santa Fe, Usaquén** y algunas zonas de **San Cristóbal**, ocupando estratos más altos comparados con el resto.

### Escenario N° 3

El supuesto escenario en el que los criterios tienen los mismos pesos por aspecto son el resultado del mapa de la Figura 5-25, eso significa que, los criterios sociales, económicos y ambientales tienen la misma importancia entre sí. Bajo este escenario, los aspectos con mayores pesos fueron los ambientales, seguidos de los aspectos sociales y económicos, en ese orden. Criterios como las enfermedades prevalentes respiratorias, el tiempo de desplazamiento para ir a trabajar y la concentración promedio anual PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> de 2017, condicionaron la estratificación socioeconómica de la ciudad. Entre tanto, las poblaciones que padecen más enfermedades respiratorias, que ocupan más medios de transporte para movilizarse a sus trabajos y que están expuestos a concentraciones más altas de partículas, habitan las localidades de **Bosa, Kennedy, Rafael Uribe Uribe, Fontibón, Ciudad Bolívar** y zonas aisladas de **Suba, Ciudad Bolívar** y **Usme**. Mejores condiciones ambientales gozan las poblaciones de las localidades de **Chapinero, Barrios Unidos, Mártires, Teusaquillo, y Santa Fe**. Adicionalmente, el estrato tres ocupa parte de las localidades de forma transversal y de norte a sur (Fontibón Suba, Engativá, Usme, Ciudad Bolívar).

### Escenario N° 4

De la modificación en el orden de importancia del **Escenario N°1**, surge el Escenario N° 4, el último del mapa de la Figura 5-26. En ese caso, se aumentó en una unidad el orden de importancia de las concentraciones promedio anuales de material particulado tanto en PM<sub>2.5</sub> como en PM<sub>10</sub>, otorgando mayor prioridad a las partículas más finas. El resultado es muy semejante al arrojado en el Escenario N°1 con pequeñas diferencias en las coberturas de los estratos altos. Además, persisten los focos puntuales de estratos bajos en las localidades de **Tunjuelito y Rafael Uribe Uribe** como sucedía en el Escenario N° 1 con zonas de estrato tres en **Engativá y Ciudad Bolívar**.

- **Comparación estadística entre escenarios**

La fase final del Análisis de Sensibilidad comprende la aplicación de medidas de dispersión para comparar los escenarios. La Tabla 5-18 resume la media, la desviación y la varianza estimadas en cada caso.



*Tabla 5-18. Comparación estadística de escenarios. Fuente: Propia*

Parámetro	Escenario				Promedio	Varianza	Desviación estándar
	1	2	3	4			
Consistencia media (c)	13.5613	13.5620	13.5489	13.5613	13.5582	0.0003795	0.0061
Índice de consistencia $C_i = (c - n) / (n - 1)$	0.0468	0.0469	0.0457	0.0468	0.0465	0.0000026	0.00051
Ratio de consistencia $C_r = C_i / R_i$	0.0300	0.0300	0.0293	0.0300	0.0298	0.0000010	0.00032

Según los resultados anteriores todos los escenarios son semejantes en cada parámetro. En concreto, los valores bajos de la varianza nos indican poca dispersión de los datos respecto a su media y menor variabilidad, lo que implica resultados consistentes y concluyentes.

### ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ - ESCENARIO BASE

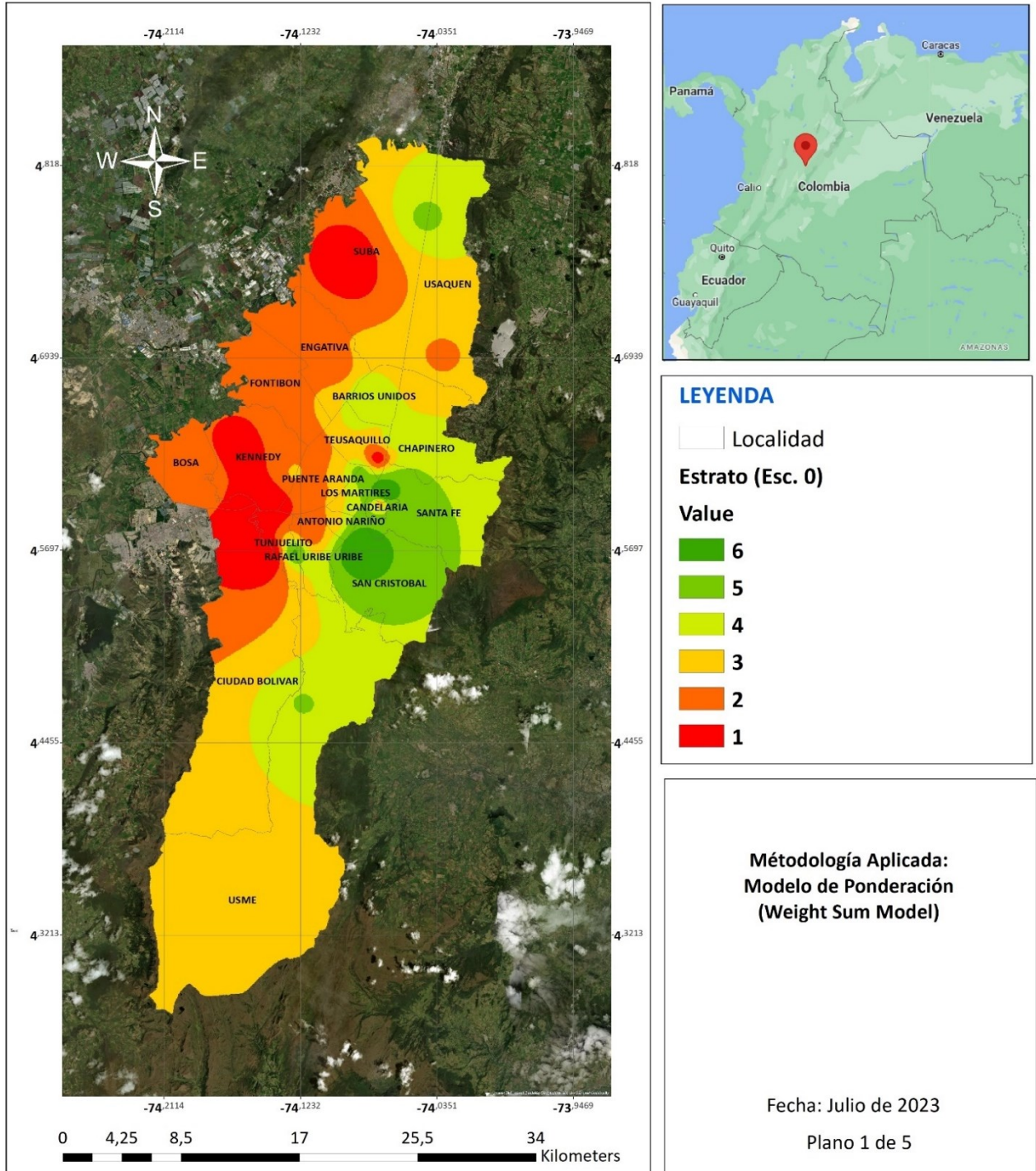


Figura 5-22. Mapa obtenido para el Escenario Base

### ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ - ESCENARIO Nº 1

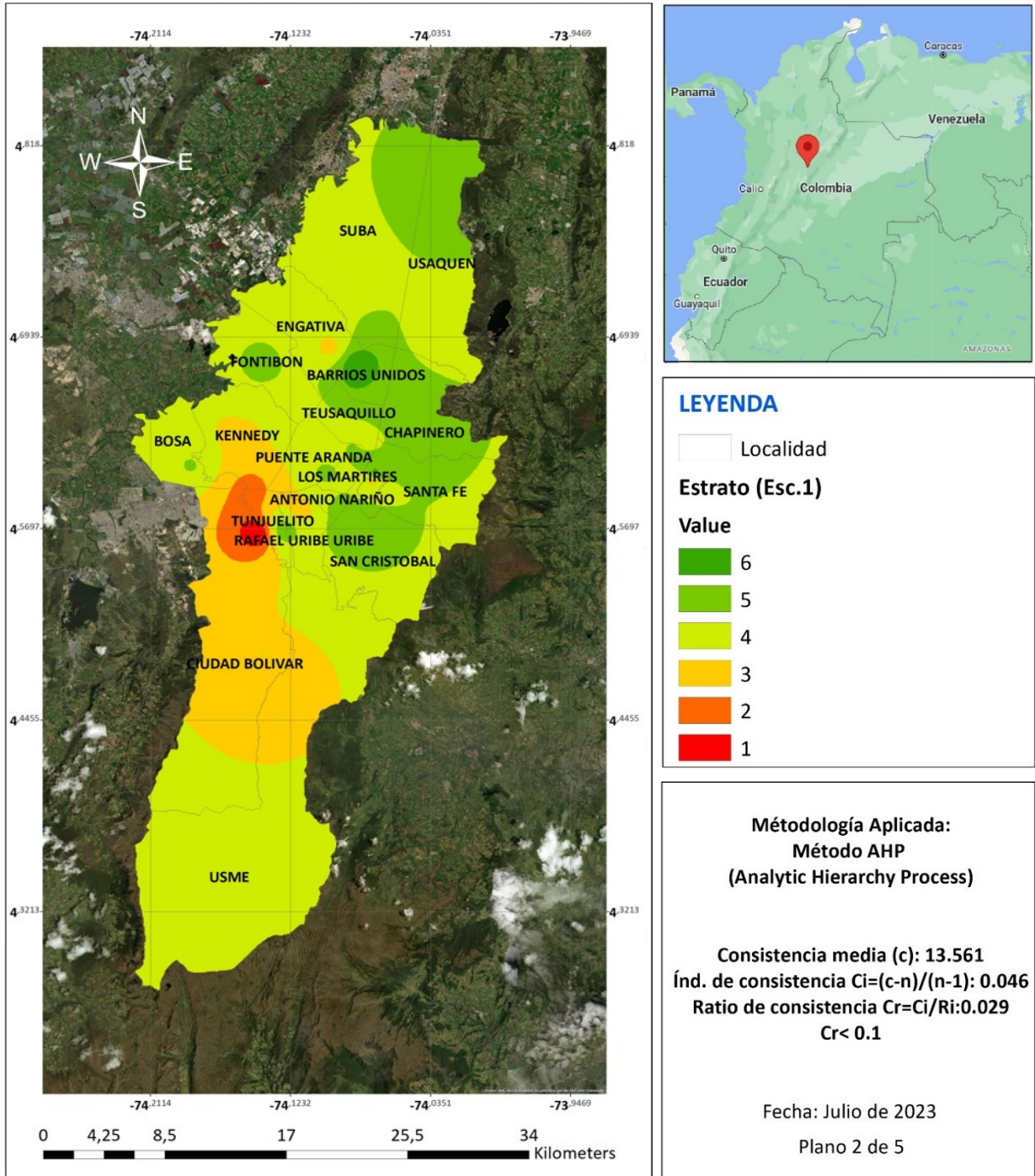


Figura 5-23. Mapa obtenido para el Escenario Nº 1.

### ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ - ESCENARIO N° 2

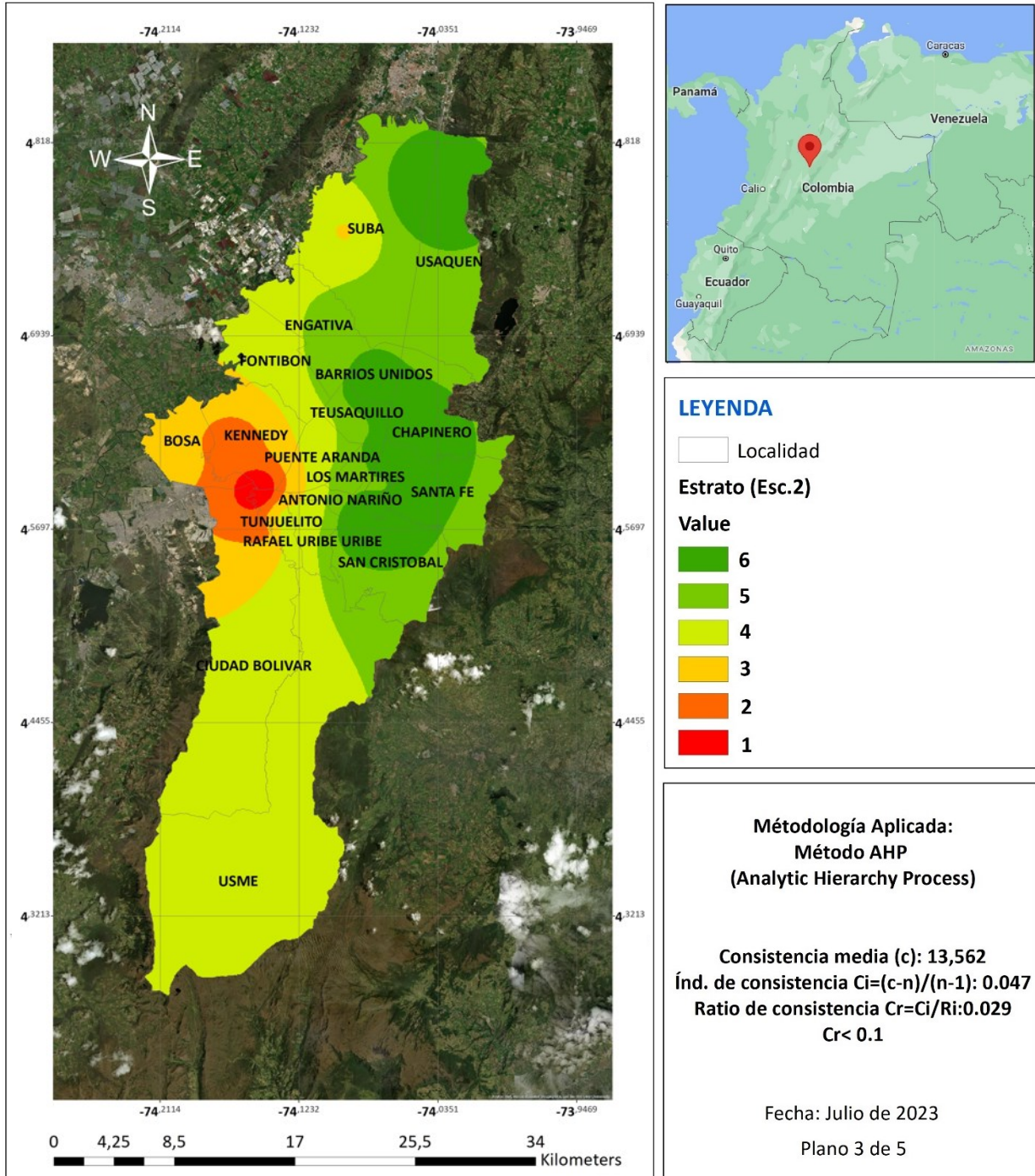


Figura 5-24. Mapa obtenido para el Escenario N° 2.

### ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ - ESCENARIO N° 3

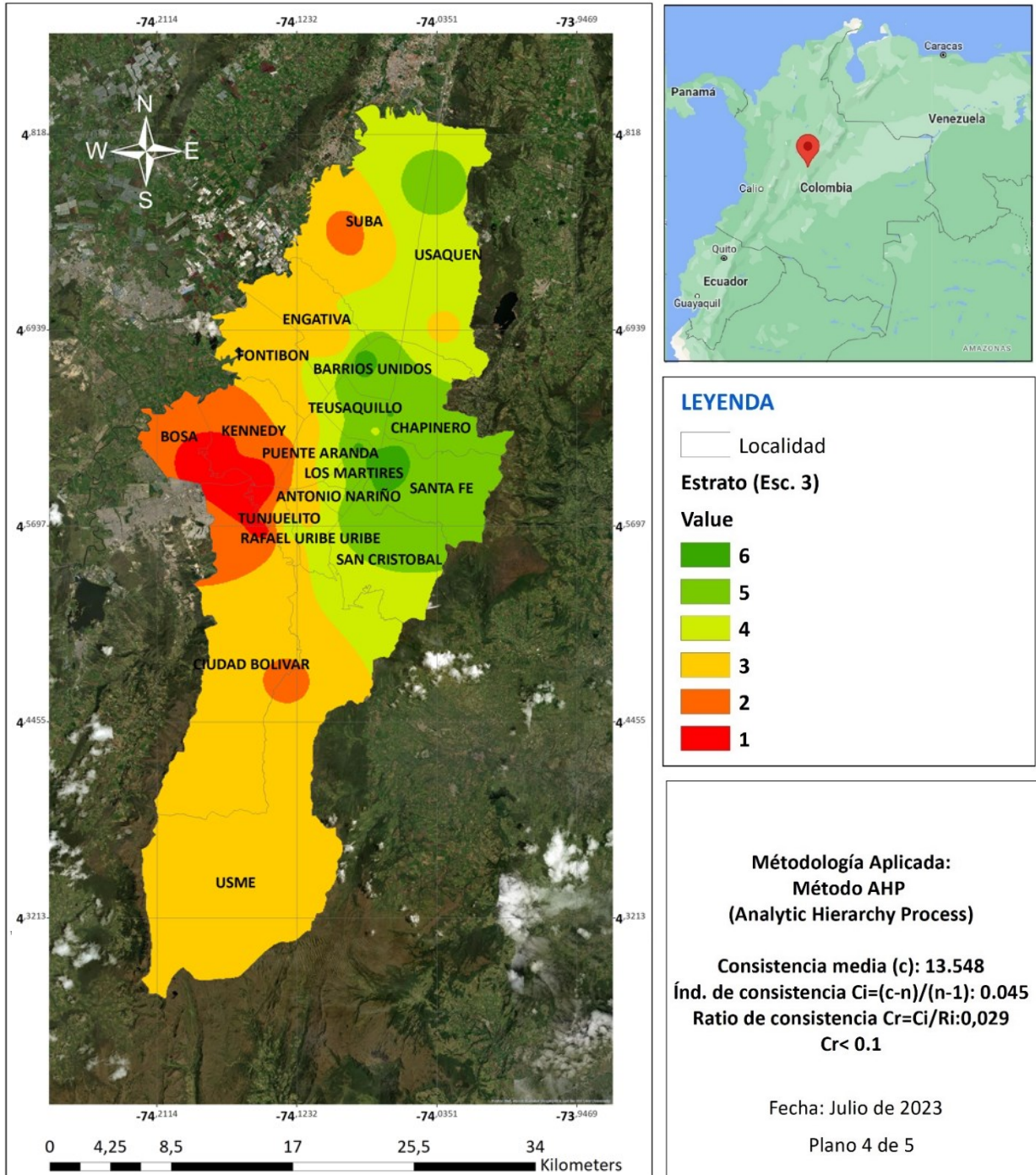


Figura 5-25. Mapa obtenido para el Escenario N° 3

### ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA PROPUESTA PARA LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ - ESCENARIO N° 4

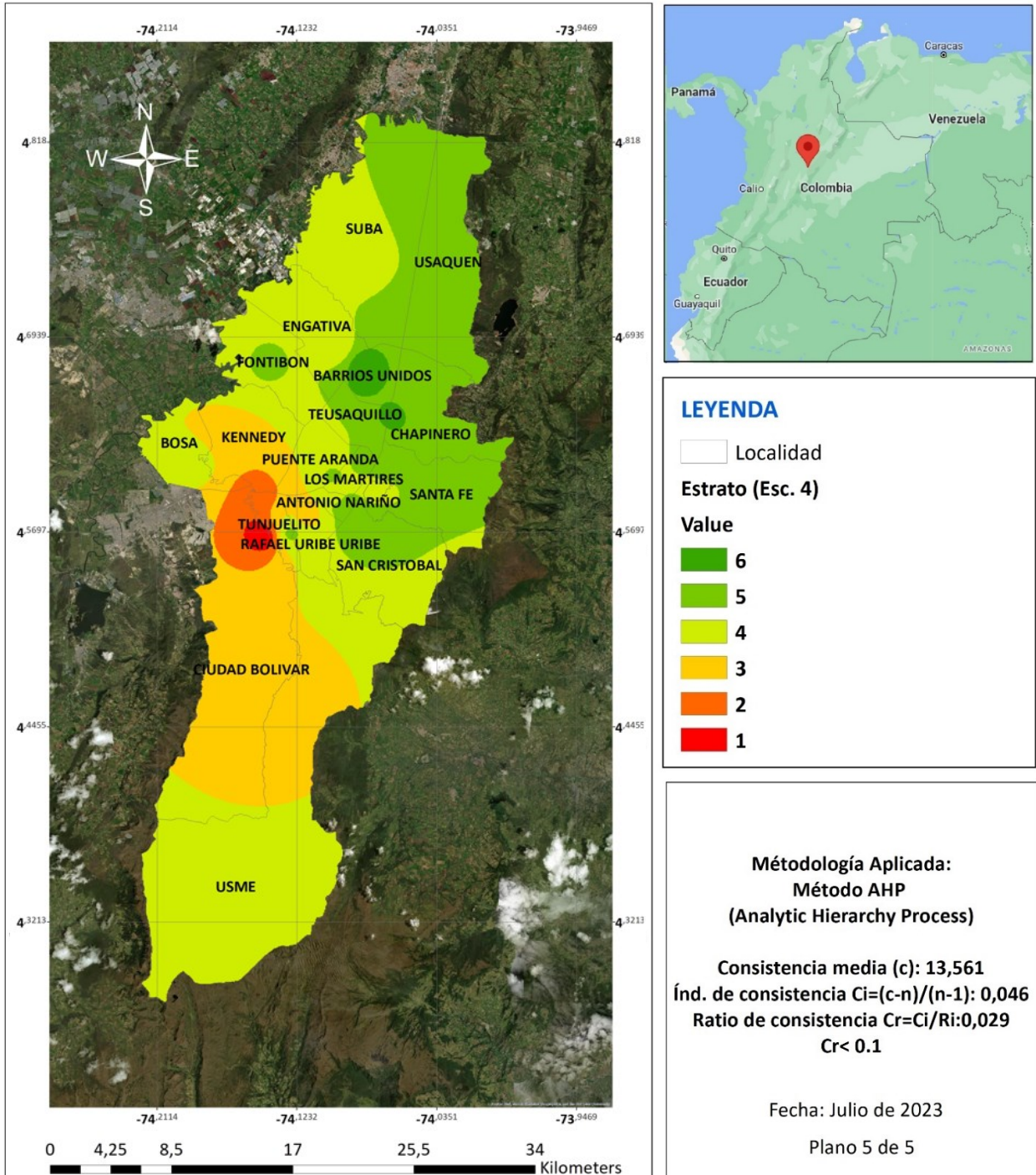


Figura 5-26. Mapa obtenido para el Escenario N° 4

## 5.6.- CONCLUSIONES

La principal limitación del método actual de estratificación socioeconómica urbana en Colombia consiste en la rigidez de la metodología implementada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (NME-DANE). Se trata de un mecanismo frágil ante las necesidades de la sociedad, la dificultad de acceso a las actualizaciones coherentes y la hermética estructura normativa que no contempla sistemas complejos (Martínez Romero & Esparza Olguin. 2020).

Ante la subjetividad explícita de las metodologías aplicadas para actualizar la NME-DANE, la Alcaldía Mayor de Bogotá ha desarrollado propuestas en los últimos años. La Mesa de Expertos en 2020, por ejemplo, propuso un nuevo CONPES con una serie de acciones para reducir los errores de inclusión y exclusión detectados y por su parte, la alianza **SDP-ONU-Hábitat**, advirtió la necesidad de terminar con la noción de la estratificación socioeconómica tal y como está diseñada.

Sumado a todo lo anterior, las variables ambientales son muy poco consideradas tanto en la metodología actual como en las propuestas de los últimos años. En la propuesta de la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá del 2022, existe una aproximación a criterios ambientales en el modelo de estimación del **VUI**, sin embargo, sigue siendo reducida con un bajo impacto en los resultados.

Con base en la interpretación temprana que se tiene de la actualización **catastral multipropósito**, regulado por el reciente **Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026**, el Modelo Extendido Catastral Registro (LADM\_COL, en su versión 4°), liderado por **Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)**, tampoco contempla variables ambientales, sin embargo, reconoce que son insumos secundarios no obligatorios en los procesos de conservación, formación y actualización catastral para el componentes físico, jurídico y económico de los predios.

Dada la limitada asociación de variables de carácter socioambiental, dentro de los posibles modelos a considerar, esta investigación desarrolló una propuesta metodológica al margen de las variables de estratificación socioeconómica *per se*, otorgando importancia a variables de orden ambiental, social y económico. La **Encuesta Multipropósito de Bogotá (EM)** brindó la información necesaria para ejecutar el método cuantitativo de análisis jerárquico o **Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Por un lado, la EM contiene una amplia batería de variables de Bogotá para los años 2014, 2017 y 2021, con información de orden ambiental, social y económico distribuida por municipio, localidad y UPZ y a su vez, por área urbana y rural. De otro lado, el método multicriterio AHP, es uno de más adecuados para estudios de este tipo, en los que se incorporan preferencias subjetivas en un problema complejo que requiere la toma de decisiones conjunta.

La manera de acercar la estratificación urbana a las condiciones socioeconómicas de los bogotanos dependió de la calidad de la información de la EM-2017 y la selección de los trece criterios, entre ellos: cuatro sociales (población migrante en los últimos 5 años, estudios universitarios terminados, percepción de la calidad del servicio de salud y percepción general de la seguridad); cinco económicos (déficit de vivienda, tipo de vivienda, tasa de desempleo, uso de internet e Índice de Pobreza Multidimensional), y finalmente cuatro ambientales (enfermedades respiratorias prevalentes, tiempo de desplazamiento para ir a trabajar, concentración promedio anual de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>).

Teniendo en cuenta los resultados procesados a través de la herramienta espacial de análisis **AHP**, las poblaciones en estratos bajos ocuparon las localidades en el occidente de la ciudad, mientras en la zona nororiental fue predominante los estratos altos. Por su parte, de forma generalizada, el estrato medio, ocupó menos territorio, resultado que difiere notablemente con la situación actual de la estratificación socioeconómica de la ciudad, en donde el estrato medio representa el **27%** de las manzanas de Bogotá según datos de la Secretaría Distrital de Planeación de 2022.

El cálculo de índice o la **Razón de Consistencia (Cr)** y el **Análisis de Sensibilidad** validaron el método **AHP** aplicado. La comparación de los resultados arrojó varios escenarios modificando la importancia de los criterios iniciales. En términos gráficos, los mapas presentaron distribuciones semejantes en los **Escenarios 1 y 4** con pequeñas diferencias en algunos focos de estratos bajos .

En términos estadísticos, se infiere en todos los escenarios, baja dispersión con respecto a la media y, por ende, datos consistentes entre sí.

Finalmente, en el escenario donde la concentración de material particulado fue la prioridad, los impactos de la contaminación por partículas estratifican socioeconómica a las localidades de **Tunjuelito, Puente Aranda, Ciudad Bolívar, Bosa y Kennedy**, en los estratos más bajos y, a las localidades de **Usaquén, Barrios Unidos, Santa Fe y San Cristóbal**, en los estratos con mejor calidad del aire.



## 6.- CONCLUSIONES, CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el marco teórico de la justicia ambiental, con la presente investigación, se aportan hallazgos en cuanto a las relaciones existentes entre la calidad del aire de los bogotanos y su bienestar, en un contexto socioambiental.

Se destacan aspectos relevantes del análisis como: el nivel de gobernanza de la ciudad en cuanto a calidad del aire se refiere; las investigaciones existentes en la materia y, su incidencia en la actualización metodológica de la estratificación socioeconómica actual de la ciudad. y equitativa para los bogotanos.

En términos generales, el objetivo principal fue alcanzado porque se han encontrado **relaciones entre la estratificación socioeconómica y la exposición del material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Bogotá**, y en esa ruta, se ha conseguido una propuesta de estratificación más inclusiva y equitativa para los bogotanos.

Para la consecución del objetivo principal fue necesario abordar objetivos secundarios. En primer lugar, se identificaron las **relaciones reportadas en la literatura, entre el material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) y las variables socioambientales de ambientes urbanos** mediante una robusta metodología bibliométrica denominada Revisión Sistemática de la Literatura o RSL. Aplicando la RSL junto con herramientas bibliométricas, quedó demostrado que las investigaciones en material particulado desde principios del siglo XXI, han llegado a relacionar el contaminante en ambientes urbanos con otras variables como la justicia ambiental, las enfermedades respiratorias (asma) y, el estatus socioeconómico (Curva de Kuznets, Coeficiente Gini, Índice de pobreza).

En segundo lugar, se **analizaron las concentraciones anuales de material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>) provenientes de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) y los métodos de cálculo que actualmente rigen la estratificación socioeconómica de los bogotanos**. Teniendo en cuenta los reportes de la RMCAB se confirma a través del método de interpolación *Kriging* que entre los años 2011 y 2019, la localidad de **Kennedy** se sitúa como una de las zonas más expuestas de Bogotá debido a los altos niveles de material particulado que reporta la estación **Carvajal – Sevillana**. En cuanto a la metodología de estratificación socioeconómica urbana empleada por el DANE, es notoria la poca consideración de variables socioambientales en la definición de **Unidades Especiales de Estratificación (UEE)**, se trata de una metodología reduccionista que procesa información catastral de la UEE para asignar el estrato socioeconómico a un conjunto de viviendas agrupadas (manzana).

Con el objetivo anterior alcanzado, fue posible **establecer la correlación entre las condiciones socioeconómicas de la ciudad de Bogotá y el nivel de exposición de material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>), con los datos oficiales disponibles**, encontrando correlación espacial entre PM<sub>10</sub> y las instituciones prestadoras, el ingreso per cápita, las empresas creadas y la matrícula total en colegios oficiales así como estructuras espaciales entre PM<sub>2.5</sub> y las instituciones prestadoras de salud, las empresas creadas y la matrícula total en colegios oficiales.

Sin el alcance de los objetivos citados hasta el momento no hubiera sido posible la **construcción de la propuesta de mejora desarrollada en el marco de la equidad ambiental, para la estratificación socioeconómica urbana de Bogotá**. La **Encuesta Multipropósito de**

**Bogotá (EM)** brindó la información necesaria para ejecutar el método cuantitativo de análisis jerárquico empleado, conocido como *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Dentro de los resultados obtenidos, en el escenario donde la concentración de material particulado fue la prioridad, los impactos de la contaminación por partículas estratifican socioeconómica a las localidades de **Tunjuelito, Puente Aranda, Ciudad Bolívar, Bosa y Kennedy**, en los estratos más bajos y, a las localidades de **Usaquén, Chapinero, Suba, Barrios Unidos, Teusaquillo, Santa Fe y San Cristóbal**, en los estratos con mejor calidad del aire.

En el transcurso de la investigación cada capítulo ha sugerido contribuciones especiales. A continuación, se relacionan contribuciones numeradas que vienen acompañadas de su respectiva propuesta y/o comentario en el numeral 6.2 bajo la misma numeración.

## 6.1.- CONTRIBUCIONES ESPECIALES

**6.1.A.** A pesar de las recomendaciones normativas de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos en cuanto a los límites de exposición anual del PM<sub>10</sub> (15 µg/m<sup>3</sup>) y del PM<sub>2.5</sub> (5 µg/m<sup>3</sup>), cada país cuenta con cierto grado de discrecionalidad en la definición de sus normas nacionales de calidad del aire (NAAQS), situación que influye en la efectividad de las medidas ejecutadas por los gobiernos más restrictivos.

**6.1.B** Desde las primeras décadas del siglo XXI han aumentado los estudios del material particulado (PM) en las ciencias ambientales, climatológica, ecológicas, toxicológicas, epidemiológicas y las ciencias sociales. Estas últimas, son cada vez más frecuentes y amplían la discusión no sólo en salud pública sino en calidad de vida y bienestar.

**6.1.C** En el metaanálisis de la RSL realizada, se identificaron tres aspectos clave: a) las instituciones pioneras en la investigación de material particulado, b) la escasa relación entre las instituciones más interesadas y los territorios más amenazados por la baja calidad del aire y, c) los tres temas con mayor proximidad en las redes bibliométricas.

**6.1.D** Con la difusión de la revisión bibliográfica realizada entre los años 2000 y 2020, se hace un gran aporte a la justicia ambiental como marco de referencia de múltiples investigaciones encaminadas a identificar factores de desigualdad en entornos urbanos a causa de la contaminación atmosférica.

**6.1.E** Analizar la evolución del material particulado en la ciudad a partir de la RMCAB, (validados por el IDEAM), y la herramienta de interpolación espacial *Kriging*, ofrece una alternativa para estudios en calidad del aire.

**6.1.F** El uso de herramientas geoestadísticas para determinar la correlación entre el material particulado y las variables socioambientales en entornos urbanos, es una de las vías más adecuadas para establecer patrones consistentes.

**6.1.G** Es fundamental conseguir la socialización de la correlación hallada en esta investigación entre el material particulado y las variables: **instituciones prestadoras de salud, el ingreso per cápita, las empresas creadas y la matrícula total en colegios oficiales**. En concreto, existe correlación espacial entre el PM<sub>10</sub> y las instituciones prestadoras, el ingreso per cápita, las empresas creadas y la matrícula total en colegios oficiales. Además, la relación de PM<sub>2.5</sub> con las instituciones prestadoras, las empresas creadas y la matrícula total en colegios oficiales, también se debe a estructuras espaciales.

**6.1.H** La principal limitación del método actual de estratificación socioeconómica urbana implementado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (NME-DANE) en Colombia, consiste en la subjetividad que requiere la valoración de las viviendas. Se trata de un mecanismo frágil que no responde a realidades complejas de alta desigualdad social, ambiental y económica. En aras de mejorar la metodología, la Alcaldía Mayor de Bogotá ha desarrollado nuevos modelos que no han sido aplicados aún porque suponen múltiples cambios a nivel intergubernamental. Por su parte, el nuevo modelo de catastro multipropósito podría significar una oportunidad de mejora para la actualización catastral de los predios y, por ende, la actualización de la estratificación socioeconómica del país.

**6.1.I** La metodología clásica de estratificación **NME-DANE** para zonas urbanas, se resume con la ecuación general:  $UEE = ZHG + ZHF$ . Cada Unidad de Estratificación (UEE) resulta de la intersección geoespacial entre las Zonas Homogéneas Físicas (ZHF) y las Zonas Homogéneas Goeconómicas (ZHG).

**6.1.J** En lo que respecta a la propuesta metodológica de la Secretaría Distrital de Planeación, **NME-SDP**, la estimación del **VUI** considera cerca de 70 variables para su modelo MLG, de las cuales sólo son medioambientales: la distancia al relleno sanitario de Doña Juana y la distancia a las Zonas de Manejo y Preservación Ambiental.

**6.1.K** La actualización metodológica **NME-SDP-ONU-Hábitat** podría ser la metodología más efectiva para Colombia a largo plazo porque la calificación de los hogares se hace en función de la declaración de renta universal prescindiendo del concepto de estratificación socioeconómica.

**6.1.L** El modelo de estratificación socioeconómica de la presente investigación muestra la distribución de los estratos del 1 al 6 en cada una de las 19 localidades urbanas de la ciudad, donde las zonas en estratos medios contienen pocas coberturas, situación que difiere con la situación actual de Bogotá. Las localidades en estratos 5 y 6 son ocupados en su mayoría por las localidades nororientales y los estratos 1 y 2, son característicos de las localidades centro-occidentales de la ciudad.

**6.1.M** A lo largo de toda la investigación se identificó que los niveles más altos de material particulado lo padecen los habitantes de la localidad de **Kennedy**, seguido de los habitantes de **Bosa**, **Ciudad Bolívar** y **Puente Aranda**. Esas estaciones han superado los límites recomendados por la OMS. En fuentes secundarias de información hay reportes de concentraciones del orden de los 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>10</sub> procedente de la estación Carvajal-Sevillana en Kennedy, así como concentraciones promedio anuales calculadas en el capítulo 3 de la presente investigación, del orden de los 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el mismo contaminante.

## 6.2.- PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN Y COMENTARIOS

**6.2.A** La normativa relativa al control y monitoreo de la concentración de partículas de la Unión Europea y de los Estados Unidos es la más restrictiva comparada con el resto de regiones en el mundo. Colombia, cuenta con normativa robusta en la materia, sin embargo, Chile mantiene la normativa más restrictiva de la región. A lo largo de la investigación se detectó pocos países de la región latinoamericana y el Caribe, ejerciendo control y monitoreo en partículas finas, siendo prioritaria su inclusión.

**6.2.B** Los estudios realizados entre material particulado y sus efectos en salud pública siguen liderando las investigaciones a escala global, sin embargo, deben aumentar los estudios

incorporando variables de orden urbano como el clima, la renta, la etnia, la edad, la pobreza, el género, el estatus social, las creencias religiosas, la educación, el estado civil, la nacionalidad, la ubicación geográfica, la curva de Kuznets, el coeficiente de Gini...

**6.2.C** Las instituciones estadounidenses y chinas son las que más han investigado el material particulado en entornos urbanos. Entre ellas se encuentran la Escuela de Salud Pública TH Chan de Harvard, el Sistema Universitario de Colorado, la Universidad de la Academia China de Ciencias y la Universidad de Pekín. En Europa, las instituciones francesas y británicas mantienen una elevada producción científica y, de forma emergente, otras áreas geográficas han iniciado investigaciones sobre el tema con afiliaciones en Brasil, Israel y Australia. Mientras tanto, países como el Reino Unido mantienen fuertes conexiones en la red bibliométrica, pero no es un país expuesto a altos niveles de PM en comparación con otros como China, país que cuenta con varias instituciones que publican continuamente y que al mismo tiempo mantiene la mayor concentración media anual de partículas finas. Otros países como EE.UU. y Francia, también investigan permanentemente, pero registran concentraciones medias anuales de PM inferiores a India, Chile, Corea del Sur, México e Israel. Es fundamental que las investigaciones sean financiadas por los organismos de orden mundial competentes para estudiar los entornos urbanos más contaminantes sin importar la afiliación y procedencia de sus investigadores.

Los temas en los que los investigadores coinciden son: la justicia ambiental, las enfermedades respiratorias y la situación socioeconómica a nivel local, sin embargo, los aspectos ambientales y sociales son aún limitados.

Por lo anterior, se recomienda ampliar las investigaciones repitiendo la RSL, incorporando e intercambiando en el algoritmo, las variables identificadas con altas fuerzas de enlace, tales como: mortalidad, desigualdad sanitaria, asma, etnia, ozono, curva de Kuznets, entre otras.

**6.2.D** Se ha enviado la propuesta de artículo científico con los resultados de la RSL realizada a la revista *Environments* de *MDPI Journals*. Se encuentra en revisión por parte del editor.

**6.1.E** Con la propuesta metodológica planteada para medir la evolución del material particulado de la ciudad, se espera contribuir a la academia y a las administraciones locales involucradas en la toma de decisiones relacionadas con la calidad del aire.

**6.2.F** En términos locales, la información disponible por las entidades territoriales es limitada, porque los recursos no cuentan con la misma temporalidad y formato de descarga. Es apremiante para Bogotá que los recursos de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (**IDECA**) sean normalizados y alimentados de forma periódica por todas y cada una de las entidades distritales que conforman el gobierno local. Es recomendable que los recursos sean validados y/o auditados por un organismo externo para conseguir mayor trazabilidad y comparabilidad.

**6.2.G** Para llevar a cabo la socialización de los resultados, la presente investigación fue presentada en varios escenarios académicos entre ellos: **El 4° & 5° Coloquio Estudiantil Calentamiento Global ¿Y las Ciencias Ambientales?**, en noviembre de 2020 y 2021 promovida por la Red Global MX Capítulos México, Barcelona, Noruega y Hessenel y, el **XXV Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyecto** organizado por la Asociación de los profesionales de la Dirección e Ingeniería de Proyectos de España (AEIPRO) en el mes de julio de 2021.

**6.2.H** El modelo catastral multipropósito del **IGAC** tiene como propósito superar las limitaciones de la información catastral. Por ese motivo, se incorpora a cada predio información individualizada tales como la georreferenciación, la ubicación, la condición física, la condición en el mercado inmobiliario, los ocupantes, los propietarios, los arrendatarios, los poseedores, la titulación y recuperación de las tierras, los procesos inmersos de control de riesgos, las inversiones, la gestión ambiental, etc. La puesta en marcha del nuevo modelo supone un cambio de paradigma y, por ende, una amplia sinergia entre las entidades involucradas en la gestión y planificación del territorio nacional.

La Sección V del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”, sitúa al **modelo de catastro multipropósito** como el modelo extendido para actualizar la información catastral del país. Es un hecho, que dicha información, no es insumo directo de la estratificación socioeconómica, sin embargo, puede aportar en la estratificación a largo plazo. Según el IGAC, sí es posible integrar variables socioambientales a los objetos territoriales legales (OTL) que administra la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE).

Actualmente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible construye Modelos Extendidos Ambientales para el modelo de catastro multipropósito. Es recomendable que progresivamente la información relacionada con la calidad del aire, por ejemplo, haga parte de esos Modelos Extendidos Ambientales para cerrar poco a poco las brechas de inequidad que siguen imperando en la estratificación socioeconómica urbana y rural del país.

**6.2.** A corto plazo, se espera que en la metodología clásica **NME-DANE** se puedan incluir otro parámetro de carácter ambiental en el cálculo de las UEE, podría considerarse la adición de las Zonas Homogéneas Ambientales o **ZHA**. Colombia cuenta en la actualidad con información geoespacial medioambiental robusta procedente de entidades de orden nacional (p.ej. IDEAM), que pueden ser insumo para ese nuevo parámetro.

**6.2.J** La ausencia de variables ambientales en las actualizaciones de la NME-DANE es el reflejo de la poca participación que tienen los organismos competentes de carácter socioambiental en estos procesos. Al respecto, es recomendable que las próximas mesas de expertos que se convoquen en el tema cuenten con la participación del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las Corporaciones Autónomas Regionales, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entre otros. Además, es indispensable la participación de académicos expertos procedentes de universidades e instituciones especializadas en varias disciplinas.

**6.2.K** El cambio de paradigma propuesto por la alianza **ONU-SDP** supone un reto para el Estado Colombiano porque requiere un esfuerzo administrativo a todo nivel, así como un cambio rotundo en el imaginario de los colombianos en relación a su estrato. Es Colombia uno de los pocos países que clasifica o estratifica a su población en función de las características de su vivienda.

**6.2.L** Los resultados obtenidos para estratificar las zonas urbanas de Bogotá merecen un trabajo inmediato por parte de las autoridades ambientales ya que se requieren más estudios de este tipo para construir una estratificación que reduzca la desigualdad socioambiental. Es importante, repetir el AHP con variables catastrales para que sea más extrapolable a las condiciones de la estratificación socioeconómica clásica (NME-DANE). Se espera remitir

oficialmente, la propuesta metodología de la presente investigación, al DANE y a la SDP, para su consulta y fines pertinentes.

**6.2.M** Gracias a la RMCAB está claro que deben plantearse medidas de prevención inmediata en las localidades de Kennedy, Ciudad Bolívar y Puente Aranda. Son las localidades que han registrado las concentraciones más altas de material particulado en la ciudad. Es necesario abordar de manera particularizada medidas de control y vigilancia que no se limiten a la declaración de zonas de alerta, sino por el contrario, propendan por la ejecución de planes sectoriales por localidad que incluyen entre otras cosas, la ampliación de la red y el mejoramiento de las estaciones meteorológicas existentes.

**6.2.N** El presente trabajo doctoral sugiere, a futuros investigadores, emplear las metodologías desarrolladas en cada uno de los capítulos para profundizar y encontrar nuevos resultados. Desde el Capítulo 2 en adelante, es posible iniciar cuatro investigaciones más de manera independiente y particularizada.

## 7.- REFERENCIAS

Agencia EITB Media. (2022). La Comisión Europea propone medidas para reducir la contaminación del aire a la mitad a partir de 2030. <https://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/detalle/8997246/la-comision-europea-propone-medidas-para-reducir-contaminacion-del-aire-a-mitad-a-partir-de-2030/#:~:text=MEDIOAMBIENTE-,La%20Comisi%C3%B3n%20Europea%20propone%20medidas%20para%20reducir%20la%20contaminaci%C3%B3n%20del,un%2075%20%25%20en%20diez%20a%C3%B1os>

Agudelo, D. C., Casallas García, A., & López Barrea, E. A. (2021). Evaluación de la eficiencia del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá 2010-2020. June, 1–94. [https://www.researchgate.net/publication/352416612\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_eficiencia\\_del\\_Plan\\_Decenal\\_de\\_Descontaminacion\\_del\\_Aire\\_para\\_Bogota\\_2010-2020](https://www.researchgate.net/publication/352416612_Evaluacion_de_la_eficiencia_del_Plan_Decenal_de_Descontaminacion_del_Aire_para_Bogota_2010-2020)

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2004). Decreto 190. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13935>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2014). Acuerdo 573 de 2014. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=60080>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2016). Comportamiento de la Infección Respiratoria Aguda (IRA) en Bogotá D.C. [http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Boletines\\_tematicos/ERA/2016/Comportamiento\\_IRA/IRA\\_2016.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Boletines_tematicos/ERA/2016/Comportamiento_IRA/IRA_2016.pdf)

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2019). Decreto 551 de 2019. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=86548#>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2021). Encuesta Multipropósito. Consultado el 05-06-2023 de <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estudios-macro/encuesta-multi proposito/visor>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2022). Hacia una nueva metodología socioeconómica urbana. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/hacia\\_una\\_nueva\\_metodologia\\_de\\_estratificacion.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/hacia_una_nueva_metodologia_de_estratificacion.pdf)

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2023a). Así funciona el Distrito Capital. Consultado el 03-03-2023 de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/administracion-distrital/estructura-del-distrito>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2023b). Resolución 182 de 2023. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?dt=S&i=135877>

Anselin, L. (2003). GeoDaTM 0.9 User's Guide. <https://geodacenter.github.io/docs/geoda093.pdf>

Apte, J. S., Marshall, J. D., Cohen, A. J., & Brauer, M. (2015). Addressing Global Mortality from Ambient PM<sub>2.5</sub>. *Environmental Science and Technology*, 49(13), 8057–8066. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>

Asri, A. K., Pan, W. C., Lee, H. Y., Su, H. J., Wu, C. Da, & Spengler, J. D. (2021). Spatial patterns of lower respiratory tract infections and their association with fine particulate matter. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84435-y>

Balcells, M. (2016). El estudio Framingham. *Neurosciences and History*, 4(1), 43–46. [http://nah.sen.es/vmfiles/abstract/NAHV4N1201643\\_46ES.pdf](http://nah.sen.es/vmfiles/abstract/NAHV4N1201643_46ES.pdf)

Castillo, J. C. (2021). Actualización de las directrices de calidad del aire de la OMS. [https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2021/11/Castillo\\_AQG\\_Spanish.pdf](https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2021/11/Castillo_AQG_Spanish.pdf)

Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11–31. <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2004.00829.x>

Clarivate. (2021). Web of Science. Consultado el 11-09-2021 de <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia. (2016). CONPES 3859. Política para la adopción e implementación de un Catastro Multipropósito Rural-Urbano. Consultado el 03-03-2023 de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3859.pdf>

Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia. (2005). CONPES 3386. Plan de Acción para la focalización de los subsidios para Servicios Públicos Domiciliarios. Consultado el 03-03-2023 de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/3386%20-%202005.pdf>

Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia. (2005). CONPES 3344. Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Consultado el 03-03-2023 de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3344.pdf>

Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia. (2016). CONPES 3877. Declaración de Importancia Estratégica del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios (Sisbén IV). Consultado el 03-03-2023 de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3877.pdf>

DANE. (2015a). Metodología de estratificación socioeconómica urbana para servicios públicos domiciliarios: Enfoque conceptual. <https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/estratificacion/EnfoqueConceptual.pdf>

DANE. (2015b). Metodología de estratificación socioeconómica urbana para servicios públicos domiciliarios: Manual de Actualización. <https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/estratificacion/ManualdeActualizacion.pdf>

DANE. (2015c). Metodología de estratificación socioeconómica urbana para servicios públicos domiciliarios: Manual de Realización. <https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/estratificacion/ManualdeRealizacion.pdf>



Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2021). Informe final de la Mesa de Expertos de Estratificación Socioeconómica. <https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/estratificacion/mesa-de-expertos/informe-final-mesa-de-expertos-estratificacion-socioeconomica.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2008). Evaluación de Políticas Públicas Evaluación de la Estratificación. [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Evaluacion Politicas Publicas 10 Estratificacion Socioeconomica.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Evaluacion_Politicas_Publicas_10_Estratificacion_Socioeconomica.pdf)

Departamento Nacional de Planeación. (2023). Congreso aprueba el Plan Nacional de Desarrollo, “Colombia, potencia mundial de la vida.” Consultado el 10-05-2023 de <https://www.dnp.gov.co/Prensa/Noticias/Paginas/congreso-aprueba-el-plan-nacional-de-desarrollo-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.aspx>

Devlin, H. (2022). Cancer breakthrough is a ‘wake-up’ call on danger of air pollution. The Guardian. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.theguardian.com/science/2022/sep/10/cancer-breakthrough-is-a-wake-up-call-on-danger-of-air-pollution>

Elservier. (2021). Scopus. Consultado el 11-09-2021 de <https://www.elsevier.com/es-es/solutions/scopus>

EPA. (2012). Particulate Matter (PM) Standards - Table of Historical PM NAAQS of Environmental Protection Agency. Consultado el 03-03-2023 de [https://www3.epa.gov/ttn/naags/standards/pm/s\\_pm\\_history.html](https://www3.epa.gov/ttn/naags/standards/pm/s_pm_history.html)

Escobar, D. A., Martínez, S., & Moncada, C. A. (2016). Relación entre PM10 y Condiciones de Accesibilidad Territorial Urbana en Manizales (Colombia). Información Tecnológica, 27, 273–284. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600027>

ESRI. (2023a). Kriging. Consultado el 03-03-2023 de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/kriging.htm>

ESRI. (2023b). Métodos de clasificación de datos. Consultado el 03-03-2023 de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>

ESRI. (2023c). Spatial decision support using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Consultado el 03-03-2023 de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=bb3521d775c94b28b69a10cd184b7c1f>

ESRI. (2023d). Suma ponderada (Image Analyst). Consultado el 03-03-2023 de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.9/tool-reference/image-analyst/weighted-sum.htm>

Fu, W. J., Jiang, P. K., Zhou, G. M., & Zhao, K. L. (2014). Using Moran’s I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. 2(Stern 2007), 2401–2409. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2401-2014>

Gacio, D. G. (2013). Caracterización química de la fracción orgánica de la materia particulada atmosférica (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en entornos urbano, industrial y suburbano. 1–300. <http://hdl.handle.net/2183/10126>

GISGeography. (2022). What is Tobler’s First Law of Geography? Consultado el 03-03-2023 de <https://gisgeography.com/tobler-first-law-of-geography/>

Gómez Osorio, J. C., & Cabrera Orejuela, J. P. (2008). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de Aplicación. Scientia Et Technica, XIV(39), 247–252. <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84920503044>

Green, J., & Sánchez, S. (2013). La calidad del aire en América Latina: Una visión panorámica. Clean Air Institute, 1–36. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/calidad-aire-america-latina-una-vision-panoramica>

Gutiérrez López, J. A., Quenguan López, L. F., & Nieto Martínez, H. D. (2021). Modelo de estratificación como generador de segregación en Bogotá. Bitácora Urbano Territorial, 32(1), 191–204. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v32n1.87760>

Hinds, W. C. (1999). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. (John Wiley).

Hipp, J. A., & Chalise, N. (2015). Spatial Analysis and Correlates of County- Level Diabetes Prevalence, 2009 – 2010. 1–9. [https://www.cdc.gov/pcd/issues/2015/14\\_0404.htm](https://www.cdc.gov/pcd/issues/2015/14_0404.htm)

Huitrón M., J. A. (2020). Indicadores Locales de Asociación Espacial (Análisis LISA). Consultado el 11-02-2021 de <https://cedrus-unam.blogspot.com/2020/04/taller-de-analisis-de-datos-espaciales.html>

IDEAM. (2022). Base de datos de Bogotá de la RMCAB (2011-2019). Consultado el 18-02-2022 del radicado Ideam No. 20229910024002.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2018). El catastro multipropósito herramienta fundamental del PND para ordenar el territorio. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2017-10/El+catastro+multiprop%C3%B3sito+herramienta+fundamental+del+PND+para+ordenar+el+territorio+Nieto+Escalante.docx.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2023). Catastro Multipropósito. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/catastro/catastro-multiproposito>

Jessica Mouzo Quintáns. (2019). La contaminación se ceba en las áreas más pobres de las grandes ciudades europeas. El País. Consultado el 03-03-2023 de [https://elpais.com/sociedad/2019/03/28/actualidad/1553791755\\_906446.html#:~:text=Un%20estudio%20internacional%20constata%20mayores,desempleo%20o%20criminalidad%20m%C3%A1s%20altos&text=06%3A18%20EDT-,La%20contaminaci%C3%B3n%20se%20ceba%20en%20las%20C3%A1reas,de%20las%20grandes%20ciudades%20europeas](https://elpais.com/sociedad/2019/03/28/actualidad/1553791755_906446.html#:~:text=Un%20estudio%20internacional%20constata%20mayores,desempleo%20o%20criminalidad%20m%C3%A1s%20altos&text=06%3A18%20EDT-,La%20contaminaci%C3%B3n%20se%20ceba%20en%20las%20C3%A1reas,de%20las%20grandes%20ciudades%20europeas)

Kim, M., Yi, O., & Kim, H. (2012). Science of the Total Environment The role of differences in individual and community attributes in perceived air quality. *Science of the Total Environment*, *The*, 425, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.016>

Kim, S., Hong, K. H., Jun, H., Park, Y. J., Park, M., & Sunwoo, Y. (2014). Effect of precipitation on air pollutant concentration in Seoul, Korea. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, *8*(4), 202–211. <https://doi.org/10.5572/ajae.2014.8.4.202>

Kioumourtzoglou, M. A., Power, M. C., Hart, J. E., Okereke, O. I., Coull, B. A., Laden, F., & Weiskopf, M. G. (2017). The association between air pollution and onset of depression among middle-aged and older women. *American Journal of Epidemiology*, *185*(9), 801–809. <https://doi.org/10.1093/aje/kww163>

Kumar, A., Jiménez, R., Belalcázar, L. C., & Rojas, N. Y. (2016). Application of WRF-Chem Model to Simulate PM<sub>10</sub> Concentration over Bogota. *Aerosol and Air Quality Research*, *16*(5), 1206–1221. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.05.0318>

Laurent, O., Bard, D., Filleul, L., Segala, C., & Laurent, O. (2007). Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *2*, 665–675. <https://doi.org/10.1136/jech.2006.053611>

Lipfert, F. W. (2004). Air pollution and poverty: Does the sword cut both ways? *Journal of Epidemiology and Community Health*, *58*(1), 2–3. <https://doi.org/10.1136/jech.58.1.2>

Maricq, M. M. (2007). Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Journal of Aerosol Science*, *38*(11), 1079–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2007.08.001>

Martínez Romero, E., & Esparza Olguin, L. G. (2020). Teorías de sistemas complejos: marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental. <https://doi.org/https://doi.org/10.55555/IS.21.316>

Martins, M. C. H., Fatigati, F. L., Véspoli, T. C., Martins, L. C., Pereira, L. A. A., Martins, M. A., Saldiva, P. H. N., & Braga, A. L. F. (2004). Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: An analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, *58*(1), 41–46. <https://doi.org/10.1136/jech.58.1.41>

Masero B., L. (2020). Una aplicación de interpolación Kriging para el estudio de la evolución de la pandemia Covid-19 en España y en la Comunidad Valenciana. [https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/193962/TFM\\_2019\\_maserobravo\\_Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/193962/TFM_2019_maserobravo_Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mehta, S., Sbihi, H., Nguyen, T., Vu, D., Le, L., Thanh, T., Truong, C., Le, G., Cohen, A., & Brauer, M. (2014). Effect of poverty on the relationship between personal exposures and ambient concentrations of air pollutants in Ho Chi Minh City. *Atmospheric Environment*, *95*, 571–580. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.011>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. 1–135.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). Resolución 651. Consultado el 12-06-2023 de <https://calidadaire.cvc.gov.co/resolucion-no-651-de-2010#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20resuelve,de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 2254 de 2017 (p. 11). Consultado el 12-06-2023 de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resolución+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2011). Decreto 12 de 2011. 2011, 1–8. Consultado el 12-06-2023 de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1025202>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Convenio de Ginebra de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/normativa/convenio-ginebra.html>

Moreno, A. (2010). Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 14(14), 316. <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1622>

Naciones Unidas/CEPAL. (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Mayo, 50. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Nantes, E. (2019). El Método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Investigación Operativa, 54–73.

Novela, R. J., Gitari, W. M., Chikoore, H., Molnar, P., Mudzielwana, R., & Wichmann, J. (2020). Chemical characterization of fine particulate matter, source apportionment and long-range transport clusters in Thohoyandou, South Africa. 2015, 1–12. <https://doi.org/10.17159/caj/2020/30/2.8735>

Ortiz Durán, E. Y., & Rojas Roa, N. Y. (2013). Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM10 en Bogotá. Revista de Salud Pública, 15(1), 90–102. <https://doi.org/10.15446/rsap>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2003). Decisión (UE) 2003/507/CE de 13 de junio de 2003, relativa a la adhesión de la Comunidad Europea al Protocolo del Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia para luchar contra la acidificación, la eutrofización y. 2002(3), 1–54. Consultado el 04-07-2021 de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/760c372d-7ae8-48c3-b8cf-3ffe6aa824b9/language-es/format-PDF>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2008). Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Diario Oficial de La Unión Europea. Serie L, 152, 11 de junio, 1–44. Consultado el 04-07-2021 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2010). Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). 17–119. Consultado el 04-07-2021 de <https://www.boe.es/doue/2010/334/L00017-00119.pdf>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2013). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo al Comité de las Regiones. (Vol. 3, Issue 2013). Consultado el 04-07-2021 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0918>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2016). Directiva (UE) 2016/ 2284 del Parlamento Europeo y del Consejo- de 14 de diciembre de 2016 - relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2. Diario Oficial de La Unión Europea, 17 de Diciembre De2016, 2016(344), 1–30. Consultado el 04-07-2021 de <https://www.boe.es/doue/2016/344/L00001-00031.pdf>

Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2017). Decisión (UE) 2017/1757 del Consejo de 17 de julio de 2017 sobre la aceptación, en nombre de la Unión Europea, de una enmienda del Protocolo de 1999 del Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia para luchar contra la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico.. 2015(6), 14–15.

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, O.-H. (2016). La estratificación en Bogotá: Impacto Social y alternativas para asignar recursos.

República de Colombia. (1991). Constitución Política de la República de Colombia. Consultado el 03-05-2021 de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion\\_politica\\_1991.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html)

República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Consultado el 03-05-2021 de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994. Consultado el 03-05-2021 de <https://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

República de Colombia. (1999). Ley 505 de 1999. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=185>

República de Colombia. (2001). Ley 689 de 2001. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4633>

República de Colombia. (2002). Ley 732 de 2002. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4736>

República de Colombia. (2011). Ley 1448 de 2011. Consultado el 06-05-2021 de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43043>

República de Colombia. (2022a). Ley 1955 de 2019. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=93970#:~:text=El%20Plan%20establece%20las%20bases,fortalecimiento%20de%20la%20Rama%20Judicial>

República de Colombia. (2022b). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia potencia mundial de vida” - Proyecto de Ley. Consultado el 01-07-2023 de <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2023-02/P.L.338-2023C%20%28PLAN%20NACIONAL%20DE%20DESARROLLO%29.pdf>

Rhee, J., Fabian, M. P., Coleman, S., Sandel, M., Lane, K. J., Sade, M. Y., Hart, J. E., Schwartz, J., Kloog, I., Laden, F., Levy, J. I., & Zanobetti, A. (2019). Effects of Maternal Homelessness, Supplemental Nutrition Programs and Prenatal PM<sub>2.5</sub> on Birthweight. 1–13. <https://doi.org/doi:10.3390/ijerph16214154>

Samoli, E., Stergiopoulou, A., Santana, P., Rodopoulou, S., Mitsakou, C., Dimitroulopoulou, C., Bauwelinck, M., Hoogh, K. de, Costa, C., Marí-Dell’Olmo, M., Corman, D., Vardoulakis, S., & Katsouyanni, K. (2019). Spatial variability in air pollution exposure in relation to socioeconomic indicators in nine European metropolitan areas: a study on environmental inequality. *Environmental Pollution*, 249, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.050>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2010). Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá. <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/566197/Documento+Plan+Decenal+de+Descontaminación+del+Aire+para+Bogotá.pdf/7cc178bb-5858-4343-b1ee-9926357a2b71>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2023). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Consultado el 05-03-2023 de <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/home/map>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2023a). Hoja de vida estaciones de monitoreo. Consultado el 03-03-2023 de [http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Hojas de Vida Estaciones 2017%20\(1\).pdf](http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Hojas%20de%20Vida%20Estaciones%202017%20(1).pdf)

Secretaría Distrital de Ambiente. (2023b). Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá: Enero 2023. <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20mensual%20Enero%202023.pdf>

Secretaría Distrital de Planeación. (2017). Laboratorio Urbano de Bogotá. Consultado el 29-02-2021 de <https://bogota-laburbano.opendatasoft.com/pages/home/?flg=es>

Secretaría Distrital de Planeación. (2019). Con la última actualización de la estratificación, se reafirma el estrato al 99% de las manzanas de la ciudad. Consultado el 05-03-2023 de <https://www.sdp.gov.co/noticias/la-ultima-actualizacion-de-la-estratificacion-se-reafirma>

[estrato-al-99-de-las-manzanas-de-la-ciudad#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20resultados,38.531%2C%20mantienen%20el%20mismo%20estrato.](#)

Secretaría Distrital de Planeación. (2022). Caracterización socioeconómica - Encuesta SISBÉN IV-. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/caracterizacionencuestasisbeniv\\_ano\\_2022\\_.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/caracterizacionencuestasisbeniv_ano_2022_.pdf)

Secretaría Distrital de Planeación. (2023). Estratificación socioeconómica. Consultado el 03-03-2023 de <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad>

Secretaría Distrital de Salud. (2015). Diagnóstico sectorial de salud Bogotá D.C. Octubre Del 2015, 190. [http://www.saludcapital.gov.co/Empalme\\_del\\_Sector\\_Salud\\_20122016/DIRECTIVA\\_09\\_DE\\_2015/1\\_DIAGNOSTICO\\_SECTORIAL\\_DE\\_SALUD.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/Empalme_del_Sector_Salud_20122016/DIRECTIVA_09_DE_2015/1_DIAGNOSTICO_SECTORIAL_DE_SALUD.pdf)

Shanghai Ranking. (2020). Academic Ranking of World Universities. <https://www.shanghairanking.com/rankings/arwu/2020>

Toskano Hurtado, G. B. (2005). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Tesis Digitales UNMSM, 100. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano\\_hg/cap3.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref)

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (2018). Mapas Bogotá. Consultado el 29-02-2021 de <https://mapas.bogota.gov.co/>

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (2020a). Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (IDECA). Consultado el 29-02-2021 de <https://www.ideca.gov.co/>

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (2020b). Datos Abiertos Bogotá. Consultado el 29-02-2021 de <https://datosabiertos.bogota.gov.co/>

United Nations. (2021). Respirar aire contaminado causa cerca de siete millones de muertes prematuras al año. Noticias ONU Mirada Global Historias Humanas. Consultado el 29-02-2021 de <https://news.un.org/es/story/2021/09/1496382>

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Van Rossem, L., Sheryl L., R.-S., Melly, S. J., Kloog, I., Luttmann-Gibson, H., Zanobetti, A., Coull, B. A., Schwartz, J. D., Mittleman, M. A., Oken, E., Gillman, M. W., Koutrakis, P., & Gold., D. R. (2015). Research Children ' s Health Prenatal Air Pollution Exposure and Newborn Blood Pressure. *Research Children ' s Health*, 123(4), 353–359. <https://doi.org/https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1307419>

WHO. (1987). Air Quality Guidelines for Europe. In World Health Organization (Issue 23).

WHO. (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Report on a working group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005. World Health Organization, October. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/349878/WHO-EURO-2005-4244-44003-62046-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WHO. (2016). Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. In World Health Organization (pp. 1–131). <https://doi.org/9789241511353>

WHO. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WHO. (2022). Air quality database. Excel Version of the Database - Ambient (Outdoor) Air Quality Database, by Country and City. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database>

Wimbadi, R. W., & Djalante, R. (2020). From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995 e 2019). Journal of Cleaner Production, 256, 120307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120307>

Yitshak-sade, M., James, P., Kloog, I., Hart, J. E., Schwartz, J. D., Laden, F., Lane, K. J., Fabian, M. P., Fong, K. C., & Zanobetti, A. (2019). Neighborhood Greenness Attenuates the Adverse Effect of PM 2.5 on Cardiovascular Mortality in Neighborhoods of Lower Socioeconomic Status. Cvd, 1–10. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050814>



## ANEXOS

## Anexo A. Normativa en partículas: UE

- **Decisión 2003/507/CE del Consejo**

Con esta Decisión la UE se adhiere al Protocolo de 1999 del Convenio de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia para luchar contra la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico (Protocolo de Gotemburgo).

- **Directiva 2008/50/CE. del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008. relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa**

La presente directiva hace una detallada descripción a los países miembros acerca de los métodos y mecanismos para conseguir resultados que provean de información para monitorear los objetivos de calidad del aire ambiente. En ese propósito, la directiva incorpora diecisiete anexos recopilando información específica para varios contaminantes atmosféricos, indicando directrices concretas para el material particulado en los Anexos I, II, III, V, VI, XI, XIV:

- Anexo I. Objetivos de calidad de los datos
- Anexo II. Determinación de los requisitos de evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente dentro de una zona o aglomeración.
- Anexo III. Evaluación de la calidad del aire ambiente y ubicación de los puntos de muestreo para la medición del dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), el plomo, el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.
- Anexo IV. Mediciones en las ubicaciones rurales de fondo con independencia de la concentración.
- Anexo V. Criterios para la determinación del número mínimo de puntos de muestreo para la medición fija de las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), plomo, benceno y monóxido de carbono en el aire ambiente.
- Anexo VI. Métodos de referencia para la evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), plomo, benceno, monóxido de carbono y ozono.
- Anexo XI. Valores límite para la protección de la salud humana.

### Anexo I

Los objetivos de calidad para la evaluación de la calidad del aire son:

*Tabla 1. Objetivos de calidad de los datos para la evaluación de la calidad del aire ambiente (Anexo I de la Directiva 2008/50/CE).*

	Partículas (PM <sub>10</sub> /PM <sub>2.5</sub> ) y Pb
<b>Mediciones Fijas*</b>	
Incertidumbre	25 %
Recogida mínima de datos	90 %

Partículas (PM <sub>10</sub> /PM <sub>2.5</sub> ) y Pb	
<b>Mediciones Indicativas</b>	
Incertidumbre	50%
Recogida mínima de datos	90%
Cobertura mínima temporal	14%
<b>Incertidumbre de la modelización</b>	
Medias diarias	Aún no definida
Medias anuales	50%
Estimación objetiva Incertidumbre	100%

Adicionalmente, el anexo recoge normativa para la determinación de la incertidumbre (nivel de confianza del 95%). la consolidación. validación y presentación de los resultados de la evaluación de los datos en calidad del aire.

### **Anexo II**

Los mismos contaminantes indicados en el anexo anterior son señalados en el Anexo II, pero fijando umbrales dentro de una zona o aglomeración. Los requisitos de evaluación para el PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se describen en la Tabla 2.

*Tabla 2. Requisitos de evaluación del material particulado según Anexo II de la Directiva 2008/50/CE.*

	Media de 24 horas PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>2.5</sub> *
Umbral superior de evaluación	70 % del valor límite (35 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	70 % del valor límite (28 µg/m <sup>3</sup> )	70 % del valor límite (17 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación	50 % del valor límite (25 µg/m <sup>3</sup> , que no podrá superarse más de 35 veces por año civil)	50 % del valor límite (20 µg/m <sup>3</sup> )	50 % del valor límite (12 µg/m <sup>3</sup> )

\*El umbral superior de evaluación y el umbral inferior de evaluación para las PM<sub>2.5</sub> no se aplica a las mediciones para evaluar el cumplimiento del objetivo de reducción de la exposición a las PM<sub>2.5</sub> para la protección de la salud humana.

### **Anexo III**

La determinación de los puntos de muestreo para la medición de la calidad del aire es descrita en el presente anexo, haciendo hincapié en los emplazamientos que no es posible evaluar los valores límite para la protección de la salud humana. Al margen de eso, se indican en tres secciones, los aspectos importantes para la selección de los emplazamientos en lo que han denominado micro y macroimplantación.

### **Anexo IV**

Teniendo en cuenta las secciones A, B y del anexo anterior, se recogen disposiciones para realizar mediciones de fondo en zonas rurales que otorguen «inputs» para comparar la evolución de las concentraciones y emplear técnicas de modelización extrapolables a las zonas urbanas. Es de resaltar, la advertencia que se hace con respecto a la medición de PM<sub>2.5</sub> en cuanto a la necesidad de caracterizar la composición química del material particulado incluyendo como mínimo las siguientes especies químicas: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, carbono elemental (CE) y carbono orgánico.

### **Anexo V**

Una vez fijados los emplazamientos, este anexo contempla los criterios para determinar el número mínimo de los puntos de muestreo en los contaminantes de los objetivos de calidad. Los puntos de muestreo de las fuentes fijas difieren en función su clasificación, difusas y puntuales. En cuanto a las fuentes fijas, la Tabla 3 resume los puntos de monitoreo.

*Tabla 3. Número mínimo de puntos de muestreo para la medición del material particulado en fuentes difusas (Anexo V de la Directiva 2008/50/CE).*

Población de la aglomeración o zona (miles)	Si las concentraciones máximas superan el umbral superior de evaluación	Si las concentraciones máximas se sitúan entre los umbrales superior e inferior de evaluación
	Partículas (PM <sub>10</sub> + PM <sub>2.5</sub> )	Partículas (PM <sub>10</sub> + PM <sub>2.5</sub> )
0 - 249	2	1
250 - 499	3	2
500 - 749	3	2
750 - 999	4	2
1000 - 1499	6	3
1500 - 1999	7	3
2000 - 2749	8	4
2750 - 3749	10	4
3750 - 4749	11	6
4750 - 5999	13	6
≥ 6000	15	7

El número de puntos de muestreo debe incluir como mínimo una estación de fondo urbano y una estación de tráfico y, además, cada uno de los puntos deberá permanecer por lo menos tres años, salvo que sea necesario su cambio por motivos de ordenamiento territorial. Los puntos de muestreo serán diferentes para los dos diámetros aerodinámicos de material particulado y, en ningún caso, podrán ser dos veces superiores o inferiores al umbral indicado en la tabla anterior.

Para las fuentes puntuales, los puntos de muestreo se fijarán a partir de las densidades de emisión, la distribución probable de la contaminación ambiental y su exposición. Cada Estado Miembro se adaptará conforme sus condiciones particulares.

Conforme los propósitos de evaluación de PM<sub>2.5</sub>, se fijan los puntos o estaciones de la siguiente forma:

- *Protección a la salud humana:* 1 estación/punto de monitoreo por cada 100.000 habitantes.
- *Protección de la vegetación en zonas distintas a las aglomeraciones:* 1 estación/punto de monitoreo por cada 100.000 habitantes (cuando las concentraciones máximas superan el umbral de evaluación) y, 1 estación/punto de monitoreo por cada 40.000 habitantes (cuando las concentraciones máximas se localizan entre los umbrales superior e inferior de evaluación).

### **Anexo VI**

El anexo indica por cada contaminante las normas técnicas que recogen los métodos de referencia para su medición. Las dos normas técnicas que corresponden al material particulado son:

- *PM<sub>10</sub>* -> EN 12341:1999 «Calidad del aire — Determinación de la fracción PM<sub>10</sub> de la materia particulada en suspensión — Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia.
- *PM<sub>2.5</sub>* -> EN 14907:2005 «Método de medición gravimétrica para la determinación de la fracción másica PM<sub>2.5</sub> de la materia particulada en suspensión».

El anexo incluye algunas definiciones relacionadas con las equivalencias normativas, la normalización, la admisión de nuevos de equipos y el reconocimiento de datos.

### **Anexo XI**

Se establecen los valores límite de cada uno de los contaminantes para velar por la protección de la salud humana. Incluye exclusivamente el PM<sub>10</sub> (Tabla 4).

*Tabla 4. Valores límites de PM<sub>10</sub> según Anexo XI de la Directiva 2008/50/CE.*

Periodo medio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha en la que debe alcanzarse
1 día	50 µg/m <sup>3</sup> (no podrá superarse más de 23 veces por año civil)	50%	1 de enero de 2010
Año civil	40 µg/m <sup>3</sup>	20%	1 de enero de 2005

- **Directiva 2010/75/UE. del Parlamento Europeo y del Consejo. de 24 de noviembre de 2010. sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)**

Se conoce como la Directiva de Emisiones Industriales que ha promovido las mejoras técnicas disponibles (MTD) en los sectores concretos en la industria de la Unión Europea. La directiva

se conoce también como la Directiva IPPC porque su ámbito de aplicación consiste en la prevención y control de las emisiones provenientes de las fuentes industriales vinculadas con las actividades a las que se refiere el Anexo I, tales como, la industria química, la industria de la energía, la producción y transformación de metales, la industria de minerales y la gestión de residuos (Capítulo 2), las instalaciones de combustión (Capítulo 3), la incineración y co-incineración de residuos (Capítulo 4), la industria que utilizan disolventes orgánicos (Capítulo 5) y la producción de TiO<sub>2</sub> (Capítulo 6).

La lista de contaminantes a las que se refiere la directiva en el Anexo II, considera a las partículas como un contaminante del componente atmosférico sin discriminar su diámetro aerodinámico. De ahí en adelante, cada uno de los anexos incluye el límite permisible de las partículas en mg/Nm<sup>3</sup>, conforme la actividad industrial correspondiente.

A continuación, se presentan los niveles que han sido extraídos de la directiva y que conciernen al material particulado.

**Anexo V. Prescripciones técnicas relativas a las instalaciones de combustión – Parte 1. Valores límite de emisión para las instalaciones de combustión.**

La Tabla 5 presenta los valores límite de emisión de partículas para instalaciones de combustión que utilicen combustibles sólidos o líquidos, con excepción de las turbinas y los motores de gas.

*Tabla 5. Valores límites de emisión de partículas en mg/Nm<sup>3</sup> (Directiva 2010/75/UE)*

Actividades referidas	Potencia térmica nominal total (MW)	Huella y lignito y demás combustibles sólidos	Biomasa y turba	Combustibles líquidos
Apartado 2. Art.30	50 -100	30	30	30
Apartado 2. Art.30	100-300	25	20	25
Apartado 2. Art.30	>300	20	20	20
Apartado 3. Art.30	50-300	20		
Apartado 3. Art.30	>300	10	20	10

En lo que respecta a las instalaciones de combustión que usan combustibles gaseosos con excepción de las turbinas y los motores de gas, los valores límites son los que aparecen en la siguiente tabla:

*Tabla 6. Valores límites de emisión por tipo de combustible (Directiva 2010/75/UE)*

Actividades referidas	Tipo de combustión	Emisión
Apartado 2. Art.30 y Apartado 3. Art.30	En general	5
	Gases de altos hornos	10
	Gases producidos por la industria del acero que pueden tener otros usos	30

En ese mismo Anexo, son aplicables los contenidos de la **Parte 3** y la **Parte 5** porque describen la metodología de motorización del contaminante, así como la evaluación del cumplimiento de los valores límite de emisión.

**Anexo VI. Disposiciones técnicas relativas a las instalaciones de incineración de residuos y las instalaciones de co-incineración de residuos.**

Los valores límite de emisión a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos se recogen en la **Parte 3**, mientras los valores límites para la co-incineración en la **Parte 4**, siendo necesario para estos últimos aplicar métodos de cálculo conforme la tipología de las instalaciones (hornos de cemento, combustión y los no incluidos en ninguno de los apartados).

*Tabla 0. Valores límites de emisión de partículas en mg/Nm<sup>3</sup> para las instalaciones de incineración de residuos (Directiva 2010/75/UE)*

		(100 %) A	(97 %) B
Medios diarios	10	-	-
Medios semi-horarios	-	30	10

**Anexo VIII. Disposiciones técnicas respecto a las instalaciones que producen dióxido de titanio.**

Dicho Anexo en su **Parte 2** queda indicado que el valor límite de emisión al aire de las partículas es de 50 mg/Nm<sup>3</sup> como media horaria proveniente de fuentes principales y de 150 mg/Nm<sup>3</sup> para fuentes secundarias en el proceso industrial.

Esta directiva es reforzada por otras posteriores como la **Directiva (UE) 2015/2193**, que especifica la limitación de las emisiones de los contaminantes procedentes de fuentes fijas de combustión medianas.

- **Actualización del Protocolo de Gotemburgo, 2012**

El Consejo de la Unión Europea acuerda en 2012 las modificaciones al protocolo de 1999, reformando los objetivos de calidad del aire con reducciones del 60% en azufre, 40% en óxidos de nitrógeno (NOx), 30% en los compuestos orgánicos volátiles (COVs), 6% en amoniaco (NH<sub>3</sub>) y finalmente, el 20% en el material particulado, comparado con los niveles definidos en 2005.

Como resultado de la presente modificación surgen dos directivas: la **Directiva 2001/80/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, del 23 de octubre de 2001, relativa a los límites de las emisiones provenientes de grandes instalaciones de combustión y la **Directiva 2001/81/CE** analizada al inicio del principio de este numeral.

- **Comunicación de la Comisión Europea de 18 de diciembre de 2013, “Aire Puro para Europa (ETCA)”**

La Comisión Europea comunica en 2013 la necesidad de ejecutar el Programa “Aire Puro” para Europa cada cinco años, empezando en 2020, como medida para combatir la deficiente calidad del aire a corto, mediano y largo plazo.

La comisión señala que más de la tercera parte de sus estados miembros superan los valores límite del material particulado (PM<sub>10</sub>) con procedimientos abiertos de infracción en diecisiete

estados. Adicionalmente, responsabiliza a la contaminación atmosférica de la muerte prematura de más de 400.000 muertes prematuras en la UE durante el 2010.

En caso de mantener la legislación vigente en el corto y mediano plazo a mediano plazo. los impactos negativos sobre la salud (mortalidad prematura por PM y O<sub>3</sub>) sólo se reducirán en un 37% para el año 2025 y un 40% en 2030. Ante dichas predicciones. se proponen nuevos objetivos a 2030 tal y como se indica en la Figura 1.

Directiva TNE	Directivas: FCD, DEI, MNC	Directiva sobre instalaciones de combustión medianas	Otras directivas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en PM<sub>2.5</sub> primarias (carbono negro) y CH<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento a los límites de emisión provenientes de las fuentes domésticas, industriales (DEI), máquinas móviles no de carretera y vehículos pesados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducciones en NOx, SO<sub>2</sub> y PM (régimen de registro simple)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de amoniaco en el sector de la agricultura</li> </ul>

Figura 1. Objetivos propuestos para el programa “Aire Puro para Europa (ETCA)”.

El último pronunciamiento hecho por la Comisión de la UE refleja proyecciones del programa «aire puro» para 2030, sin embargo, no dispone de resultados actualizados acerca de los avances alcanzados por los Estados miembros.

- **Directiva (UE) 2016/2284, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos por la que se modifica la Directiva 2003/25/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE**

Esta Directiva actualiza y amplía los techos nacionales de emisión (DNEC, por sus siglas en inglés), definidos previamente en la Directiva 2001/81/CE. Se definen en esta oportunidad compromisos de reducción de emisiones para todos los países miembros incluyendo techos de emisiones para las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>). La Tabla recoge dichos techos a corto y mediano plazo.

Tabla 8. Reducción de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> en comparación con 2005. establecidos en la DNEC para los países miembros de la UE (Directiva UE 2016/2284)

Estado miembro	Para cualquier año entre 2022 y 2029	Para cualquier año a partir de 2030
Bélgica	20 %	39 %
Bulgaria	20 %	41 %
Chequia	17 %	60 %
Dinamarca	33 %	55 %
Alemania	26 %	43 %
Estonia	15 %	41 %
Grecia	35 %	50 %
España	15 %	50 %



Estado miembro	Para cualquier año entre 2022 y 2029	Para cualquier año a partir de 2030
Francia	27 %	57 %
Croacia	18 %	55 %
Irlanda	18 %	41 %
Italia	10 %	40%
Chipre	46 %	70%
Letonia	16%	43%
Lituania	20 %	36 %
Luxemburgo	15 %	40 %
Hungría	13 %	55 %
Malta	25 %	50 %
Países Bajos	37 %	45 %
Austria	20 %	46 %
Polonia	16 %	58 %
Portugal	15 %	53 %
Rumanía	28 %	58 %
Eslovenia	25 %	60 %
Eslovaquia	36 %	49 %
Finlandia	30 %	34 %
Suecia	19 %	19 %
Reino Unido	30 %	46 %
EU 28	22 %	49 %

Al margen de las reducciones indicadas, países como Chipre, Países Bajos, y Eslovaquia requieren de mayores esfuerzos en la reducción de PM<sub>2.5</sub> para antes de 2029, junto con República Checa para antes del 2030.

- **Decisión (UE) 2017/1757 del Consejo, de 17 de julio de 2017.**

Con la presente decisión se aprueba la enmienda del Protocolo de 1999 del Convenio de 1979 relativa a la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia buscando medidas de control ante los procesos de acidificación, eutrofización y ozono troposférico (Decisión 2012/2 del órgano ejecutivo del convenio).

En el contenido se refleja las aportaciones de países como Canadá y Estados Unidos en los límites definidos en algunos de los apartados.

En adelante, se sustrae de la Decisión UE 2017/1757, las modificaciones relacionadas directamente con el material particulado. Es importante indicar que los límites de emisión

definidos son tanto *indoor* como *outdoor*, es decir, limita la emisión de las fuentes móviles, las fuentes estacionarias y fija objetivos de calidad del aire.

**Anexo II – Cuadro 6 – Apartado 5.**

El presente anexo contiene las metas de reducción de las emisiones de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) entre las Partes, pero en esta ocasión, sólo marcan compromisos desde el año 2020, tomando de referencia los niveles de emisión de 2005.

Con respecto a las fuentes móviles, el Anexo VIII contempla los valores límites de partículas, expresados en número y concentraciones máxicas. aplicables para vehículos ligeros. vehículos de carga, motores diésel en máquinas móviles no de carretera, tractores agrícolas y forestales, motores de encendido por chispa en máquinas móviles no de carretera, motores de propulsión para locomotoras, motores para la propulsión de automotores y motores utilizados para la propulsión de barcos de navegación interior.

## ***Anexo B. Descripción de la RMCAB***



Documento Adobe  
Acrobat

## ***Anexo C. Hoja metodológica Versión 1.2 del IDEAM***



Documento Adobe Acrobat



Documento Adobe Acrobat

## Anexo D. Participación en el XXV Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos



### CERTIFICATE OF COMMUNICATION CERTIFICADO DE COMUNICACIÓN

ALCOY  
06.07.21  
07.07.21  
08.07.21  
09.07.21

Ms. Vanesa G. Lo Iacono Ferreira, Secretary of  
25<sup>th</sup> International Congress on Project  
Management and Engineering,

Dña. Vanesa G. Lo Iacono Ferreira, Secretaria del  
XXV Congreso Internacional de Dirección e  
Ingeniería de Proyectos,

CERTIFIES THAT:

CERTIFICA QUE:

**CORTÉS DUARTE, MARÍA CAROLINA (p); CREMADES OLIVER, LÁZARO V.; Gómez  
Yepes, Milena E.**

appear as the authors and  
presented the communication

figuran como autores y presentaron la  
comunicación

**Relación entre estratificación socioeconómica y exposición al material particulado (PM10  
y PM2.5) en el área urbana de Bogotá (Colombia)**



---

***Anexo E. Comunicaciones con entidades de orden nacional***

### Anexo F. Insumos con información ambiental disponible en el IDEAM

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS	Facturas de servicios públicos. oficios. informes	Digital	Secretaría General
BRILLO SOLAR	Registro de quemada en gráfica que indica cantidad de horas de sol en su período diario	Físico	Subdirección de Hidrología
HUMEDAD	Registro en gráfica del comportamiento en porcentaje de humedad día a día	Físico	Subdirección de Hidrología
TABLAS DE RETENCIÓN DOCUMENTAL	Instrumento en el que se relacionan las series. subseries y tipos documentales que genera la entidad en desarrollo de sus funciones y a las cuales se les asigna el tiempo de permanencia en cada una de las fases del ciclo vital de los documentos	Digital	Secretaría General
PRECIPITACIÓN	Registro en banda gráfica. del inicio. final y cantidad de lluvia en milímetros.	Físico	Subdirección de Hidrología
TEMPERATURA	Registro en banda gráfica del comportamiento de la temperatura diaria °C	Físico	Subdirección de Hidrología
TEMPERATURA/HUMEDAD	Registro del comportamiento de temperatura y humedad día a día en una banda gráfica.	Físico	Subdirección de Hidrología
CARTERA DE AFOROS LÍQUIDOS CONVENCIONAL	Datos preliminares de campo obtenidos mediante molinetes para calcular aforos líquidos	Físico	Subdirección de Hidrología
PLAN INSTITUCIONAL CUATRIENAL DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL- PICA 2019-2022	El plan contiene los lineamientos de investigación ambiental durante su vigencia (4 años) del instituto	Digital	Dirección General
OFICIOS Y MEMORANDOS	Respuesta a requerimientos de las diferentes dependencias del IDEAM y externos radicados por ORFEO	Digital	Subdirección de Hidrología
INFORME TÉCNICO MENSUAL DE ESTADO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS Y DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA	Es el producto técnico de proyección de amenazas por deslizamientos de tierra y de estado de la humedad del suelo en el territorio Colombiano. el cual es un insumo que forma parte del Boletín mensual de predicción climática de la Subdirección de Meteorología.	Digital	Oficina de Informática
FORMATO PARA OBSERVACIONES MENSUALES DE NIVELES	Es una libreta donde se registran diariamente los datos de nivel del río. Es diligenciado a puño y letra por el observador voluntario.	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTRO DE AFOROS LIQUIDOS	Cartera de aforos líquidos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTRO DE AFOROS LIQUIDOS	Resumen de aforos líquidos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTRO DE AFOROS LIQUIDOS	Curvas de gastos. áreas. velocidades	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE HIDROTOPOGRAFIA	Cartera de nivelación	Físico	Subdirección de Hidrología

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
REGISTROS DE HIDROTOPOGRAFIA	Cartera de gradiente hidráulico	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE HIDROTOPOGRAFIA	Perfil transversal	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE OBSERVACIONES DIRECTAS HIDROMETEREOLÓGICAS	Registros pluviómetros	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE OBSERVACIONES DIRECTAS HIDROMETEREOLÓGICAS	Registros climatológicos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE OBSERVACIONES DIRECTAS HIDROMETEREOLÓGICAS	Registros aeronáuticos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE OBSERVACIONES DIRECTAS HIDROMETEREOLÓGICAS	Registros de observaciones de niveles	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Cartera de aforos sólidos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Resumen de aforos sólidos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Formato de curva de concentración	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Formato curvo de transporte	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Registro muestra diarias de sedimentos	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE SEDIMENTOS	Registro de granulometría	Físico	Subdirección de Hidrología
NÚMERO ÚNICO DE REGISTRO DE MUESTRAS	Inventario de la denominación asignada a las muestras allegadas al laboratorio	Digital	Subdirección de Hidrología
DOCUMENTOS Y DATOS DE MODELACION	Documentos de metodologías de modelación, productos y resultados que se actualizan	Digital	Subdirección de Hidrología
ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA	Documento que da cuenta del estado y la dinámica del recurso hídrico en Colombia. Archivos anexos en formato Excel con la información de variables, indicadores, análisis integrado, fuentes abastecedoras y sedimentos que contienen resultados clave del estudio. Capas temáticas publicadas en el ENA 2018 en formato shapefile.	Físico	Subdirección de Hidrología
BATERÍA MÍNIMA DE INDICADORES Y ESTADÍSTICAS DEL RECURSO HÍDRICO	El IDEAM ha adelantado la estimación de 7 indicadores que dan cuenta del estado del recurso hídrico a nivel de subzona hidrográfica. Los indicadores son: Índice de Regulación Hídrica - IRH. Índice de Uso del Agua - IUA. Índice de Vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento - IVH. Índice de calidad de agua ICA. Índice de alteración potencial de la Calidad de agua IACAL. Índice de aridez - IA. Demanda hídrica de las actividades	Digital	Subdirección de Hidrología



7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
	socioeconómicas y de los ecosistemas - DH. Así mismo. se consideran 8 variables del recurso hídrico: Precipitación. Promedio del potencial de hidrógeno. Promedio de nitrógenos totales. Promedio de fósforos totales. Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno en masas de agua continentales. Promedio de oxígeno disuelto. Promedio del total de sólidos en suspensión. Oferta hídrica. Adicionalmente. en el marco de la elaboración del ENA 2018 se incluyeron 3 indicadores: Índice de Agua no Retornada a la Cuenca - IARC. Índice de Eficiencia en el Uso del Agua - IEUA. Índice de Presión Hídrica al Ecosistema - IPHE. cuyas hojas metodológicas se encuentran en proceso de revisión para su posterior publicación en el portal de indicadores del IDEAM.		
PROTOCOLO DEL AGUA	Documento que contiene los protocolos y procedimientos para el diseño de redes hidrológicas. captura. procesamiento. validación. almacenamiento y publicación de datos hidrológicos generados por redes de estaciones hidrológicas.	Digital	Subdirección de Hidrología
BOLETÍN CALIDAD DE AGUA	Documento que contiene los Análisis de resultados de monitoreo de realizado en la Red nacional de calidad de Agua	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS	REGISTROS DE HIDROLOGIA	Físico	Subdirección de Hidrología
SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH - APLICACIÓN DE CAPTURA DE INFORMACIÓN	Esta aplicación es para la capturada. procesada y almacenada la información de los módulos de FUNIAS. RURH. POMCAS. PORH y el módulo Físico químico. de SIRH . Esta información es ingresada por las autoridades ambientales	Físico	Subdirección de Hidrología
PLANILLAS REGISTROS HIDROLOGIA	Formatos de registro de datos topográficos. perfiles transversales. nivelaciones. Carteras de Aforos líquidos y sólidos. Gradientes. para la generación de estudios.	Físico	Subdirección de Hidrología
SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH - WEB (OBSERVATORIO DEL AGUA)	Reportes con el consolidado de la información capturada en los módulos de SIRH	Digital	Oficina de Informática
ZONIFICACIÓN DE TIERRAS ÁRIDAS. MUY SECAS. SECAS Y SUBHÚMEDAS SECAS EN COLOMBIA	Área Continental. Cobertura digital de la zonificación de tierras áridas. muy secas. secas y subhúmedas secas en Colombia. Escala 1:100.000. Formato Shape. GDB. PDF.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - SOFTWARE - CLIENTE OPERATIVO	Esta aplicación es un sistema operacional de alertas tempranas por inundaciones que se sincroniza con el master control y muestra al usuario final la información. Esta aplicación es para el uso de los hidrólogos pronosticadores y soporta la toma de decisiones para la emisión de alertas tempranas.	Digital	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - SOFTWARE - FSS (PROCESAMIENTOS)	Forecasting Shell Server (FSS) se encargan de la ejecución de los procesos del pronóstico hidrológico y las tareas de importación. interactúa con los softwares de modelación mediante adaptadores. y la ejecución de sus tareas están programadas por el Master Controller.	Digital	Subdirección de Hidrología
ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR DESERTIFICACIÓN	Informe Área Continental. Cobertura Digital De La Zonificación De La Susceptibilidad Los Suelos A La Degradación Por Desertificación Para El Área Continental De Colombia	Digital	Subdirección de Ecosistemas e

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
PARA EL ÁREA CONTINENTAL DE COLOMBIA A ESCALA 1:100.000.			Información Ambiental
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - SOFTWARE - MANAGER CONFIG (ADMINISTRADOR DE LA CONFIGURACIÓN)	Esta aplicación gestiona los archivos de configuración de la Plataforma FEWS-Colombia y es quien la valida y las sube al servidor.	Digital	Subdirección de Hidrología
MAPA DE LA DEGRADACIÓN ACTUAL DE SUELOS POR DESERTIFICACIÓN EN LAS ISLAS DE SAN ANDRÉS. PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA A ESCALA 1:10.000.	Documento técnico del mapa de degradación actual de suelos por desertificación en las islas de San Andrés. Providencia y Santa Catalina a escala 1:10.000.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
REGISTROS HIDROMETEOROLOGICOS	Información Digital Área Operativa 01	Digital	Oficina de Informática
ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS DE CAMBIO DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA ESCALA 1.100.000 PERIODOS: 2000-2002 Y 2005-2009	Presenta los resultados del análisis de cambio de coberturas de la tierra a nivel nacional. departamental. áreas hidrográficas y corporaciones autónomas regionales para los periodos: 2000-2002 y 2005-2009	Digital	Secretaría General
CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA PERIODO (2000-2002) V2 ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER A COLOMBIA. ESCALA 1:100.000	Información de coberturas de la tierra para el territorio continental colombiano escala 1:100.000 obtenida mediante procesamiento e interpretación visual de imágenes de satélite Landsat con posterior verificación de campo. periodo (2000-2002)	Digital	Oficina de Informática
CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA PERIODO (2005-2009) V1 ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER A COLOMBIA. ESCALA 1:100.000	Información de coberturas de la tierra para el territorio continental colombiano escala 1:100.000 obtenida mediante procesamiento y reinterpretación visual de imágenes de satélite Landsat y Spot con posterior verificación de campo. periodo (2005-2009). Uso cartografía de orden nacional usada por entidades SINA y no SINA	Digital	Oficina de Informática
CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA PERIODO (2010-2012) V1 ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER A COLOMBIA. ESCALA 1:100.000	Información de coberturas de la tierra para el territorio continental colombiano escala 1:100.000 obtenida mediante procesamiento y reinterpretación visual de imágenes de satélite Landsat . Spot y Rapieye con posterior verificación de campo. periodo (2010-2012). Uso cartografía de orden nacional usada por entidades SINA y no SINA	Digital	Oficina de Informática
COBERTURA DE LA TIERRA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA PERIODO 2018. REPÚBLICA DE COLOMBIA. ESCALA 1:100.000. AÑO 2021	Cobertura de la Tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Periodo 2018. República de Colombia. Escala 1:100.000. Año 2021	Digital	Oficina de Informática
CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LOS PÁRAMOS PRIORIZADOS DEL PAÍS ESCALA 1:25000. REPÚBLICA DE COLOMBIA. AÑO 2014	Información de coberturas de la Tierra en los páramos priorizados de Colombia (periodo 2010-2012) a escala 1:25.000 obtenido mediante interpretación visual sobre imágenes de satélite de aproximadamente 1'400.000 ha de páramos priorizados y excluidos de las áreas de Parques Nacionales Naturales. Uso cartografía de orden regional usada por entidades SINA y no SINA	Digital	Oficina de Informática
CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGIA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA. DE SAN ANDRES. PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA ESCALA 1:5000 PERIODO 2021	Información de coberturas de la tierra para las islas de San Andrés. Providencia y Santa Catalina escala 1:5.000 obtenida mediante procesamiento y reinterpretación visual de imágenes de satélite de alta resolución Wordview. con posterior verificación de campo. periodo 2021.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - ARCHIVOS DE CONFIGURACIÓN.	Los archivos son lo que permiten que la aplicación se encuentre personalizada para el IDEAM y es la que define las importaciones. los procesos. la interacción con los softwares de modelación y los flujos de trabajo.	Digital	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - ARCHIVOS DE CONFIGURACIÓN.	Esta aplicación permite hacer seguimiento del estado de la Plataforma FEWS-Colombia de sus diferentes componentes e identificar error o fallas	Físico	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - SOFTWARE - STAND ALONE	Esta aplicación es la versión de pruebas del Cliente Operativo y es instalada por los configuradores y corre localmente con una base de datos local de la aplicación. En esta versión se pueden manipular los archivos de configuración a fin de corregir errores o desarrollar nuevos productos. Esta versión trabaja OffLine y no requiere sincronizar con los servidores. Hace uso de las licencias de los softwares de modelación de manera remota.	Digital	Subdirección de Hidrología
OFICIOS Y MEMORANDOS	Respuesta a requerimientos de las diferentes dependencias del IDEAM y usuarios externos radicados por ORFEO	Digital	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - SERVICIO WEB	Esta aplicación publica los reportes a usuarios externos e internos al instituto. permitiéndolo visualizar datos de nivel. caudal y precipitación media de área aferente en tiempo real. así como exportar en formato CSV y JSON los datos de los últimos 6 meses. También está disponibles los datos de simulación de pronóstico hidrológico en 90 puntos de monitoreo.	Digital	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - MANUALES DE LA APLICACIÓN.	Para adelantar cambios o mejoras en el sistema se ha documentado mediante los Manuales de Configuración. Usuario. Administrador y Pruebas.	Digital	Subdirección de Hidrología
SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO HIDROLÓGICO - LIDER TEMÁTICO.	La formación y el conocimiento de la aplicación. así como su evolución en el tiempo está en manos de un solo funcionario. quien hace las veces del líder temático.	Digital	Subdirección de Hidrología
FORMATO DIARIO DE OBSERVACIONES PLUVIOMETRICAS Y FENOMENOS ATMOSFERICOS	Es el formato en el cual se consignan diariamente de precipitación leídos por cada observador voluntario para hacer seguimiento al comportamiento del parámetro. siendo uno de los más importantes de la meteorología. Los datos tienen diversos usos.	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS DE AFOROS LIQUIDOS	Cartera de aforos líquidos convencional	Físico	Subdirección de Hidrología
REGISTROS HIDROMETEOROLOGICOS	Registros de hidrología	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS	Registros de hidrología	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS	Registros de Meteorología. usados en la entidad	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTROS HIDROMETEOROLOGICOS	Registros de meteorología usados en la entidad	Digital	Subdirección de Hidrología
CARTERA DE AFOROS LÍQUIDOS ADCP (PERFILADOR ACUSTICO DOPPLER CORRIENTE)	Cartera mediciones aforos líquidos con ADCP-Creación de curvas de calibración de caudales	Físico	Subdirección de Hidrología

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
CONDICIONES_HIDROMETEOROLOGICAS_ACTUALES	Boletín de Condiciones Hidrometeorológicas y Alertas que contiene información de pronósticos y alertas emitidas desde la OSPA y con destino al SNGRD. Este boletín es usado por todos los miembros del SNGRD como medida de toma de decisiones y acciones respecto de alertas hidrometeorológicas.	Digital	Oficina de Informática
CATALOGO NACIONAL DE ESTACIONES	Relaciona la información de las estaciones hidrometeorológicas de propiedad del IDEAM. de uso continuo para procesos de consulta de usuarios internos y externos.	Digital	Subdirección de Hidrología
RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS	Carpeta con registros manuales del resumen de resultados de todos los aforos líquidos de cada estación. Se utiliza para consolidar las condiciones hidráulicas de las secciones. útil en análisis de curvas de gasto.	Físico	Subdirección de Hidrología
MEDICIÓN DE GRADIENTE HIDRÁULICO	Contiene medición detallada del gradiente de las corrientes dónde se realizan mediciones de sedimentos en suspensión. Se usa para describir el cambio en la pendiente de flujo de agua.	Físico	Subdirección de Hidrología
CARTERA DE AFORO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN	Contiene la información de aforos sólidos realizados en campo.	Físico	Subdirección de Hidrología
INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA	Informe que presenta anualmente el estado del recurso aire a nivel nacional. con base en la información reportada al SISAIRE. por las autoridades ambientales que operan Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.	Digital	Oficina de Informática
INFORME NACIONAL DEL REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL MANUFACTURERO DE COLOMBIA. RUA MF 2020	Contiene los resultados obtenidos para el periodo de balance-PB evaluado. con base en los datos suministrados por el sector empresarial manufacturero del país. las Autoridades Ambientales y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS-. debidamente recolectados. validados y compilados por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM.	Digital	Oficina de Informática
SUBSISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE CALIDAD DEL AIRE - SISAIRE-	Principal fuente de información para el diseño. evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la calidad del aire. Es un sistema bajo ambiente Web que permite al IDEAM. a las autoridades ambientales competentes y al público en general consultar los datos que cargan las autoridades ambientales regionales. locales o distritales. o las personas jurídicas que operan los deferentes Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire del país. Es repositorio nacional de información de calidad del aire.	Digital	Oficina de Informática
INFORME DEL ESTADO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES	Documento de análisis basado en indicadores ambientales. datos e información ambiental. generados por los Institutos de Investigación vinculados y adscritos al MinAmbiente. Su elaboración y objetivo. se fundamenta en lo establecido en el Decreto 1076 de 2015. así como el Decreto 1277 1994. art. 6. ARTÍCULO 2.2.8.7.2.4. que señalan que el Ideam debe coordinar su elaboración y que debe contener un balance del estado de los recursos naturales renovables. recomendaciones y alternativas para el logro de un desarrollo en armonía con la naturaleza y su carácter debe ser educativo y divulgativo.	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
BASE DE DATOS DE CALIDAD DEL AIRE	Compendio de formatos con micro datos sobre ubicación de estaciones, concentraciones de contaminantes y variables de meteorología localizada, generada por los distintos SVCA que administran las autoridades ambientales y los privados que tienen la obligación de reportar al SISAIRE.	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE DILIGENCIAMIENTO APLICATIVO VÍA WEB DEL REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL – RUA MANUFACTURERO	Documento técnico dirigido a los establecimientos objeto de reporte al RUA Manufacturero, en el cual se describe la estructura de la herramienta de captura de información y se describen recomendaciones para el adecuado diligenciamiento de datos.	Digital	Oficina de Informática
INFORME NACIONAL PARA EL SEGUIMIENTO A LAS EXISTENCIAS Y GESTION DE EQUIPOS CON PCB EN COLOMBIA	Documento con la información del inventario nacional de PCB, conforme a los datos registrados por propietarios de los equipos, validado y transmitidos por las Autoridades Ambientales en el aplicativo administrado por el IDEAM	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
MANUAL PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL – RUA - PARA EL SECTOR MANUFACTURERO POR PARTE DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES COMPETENTES	Documento técnico dirigido a las autoridades ambientales competentes para efectuar la revisión de la calidad de la información diligenciada por los establecimientos industriales en el registro RUA para el sector manufacturero. A su vez la respectiva transmisión de información revisa al Ideam.	Digital	Oficina de Informática
MANUALES SISAIRE	Documentos que explican a los administradores y usuarios en general, cómo funciona y se utiliza el SISAIRE	Digital	Oficina de Informática
INDICADORES Y ESTADÍSTICAS SOBRE CALIDAD DEL AIRE	Consolidado de indicadores y estadísticas sobre Calidad del Aire. Incluye hojas metodológicas	Digital	Oficina de Informática
FORMATO RESUMEN DE MEDICIÓN DETALLADA DE MATERIALES EN SUSPENSIÓN	Contiene la información de parámetros resumen histórico de mediciones de aforos sólidos. Se emplea para la actualización de curvas de concentración y transporte de sedimentos.	Físico	Subdirección de Hidrología
INVENTARIO NACIONAL DE PCB	Instrumento de captura donde los propietarios deben presentar el inventario total de los equipos y desechos de su propiedad para efectos de cuantificar y controlar los progresos alcanzados frente a la identificación y eliminación de equipos y desechos contaminados con PCB.	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
FORMATO MUESTRAS DIARIAS DE SEDIMENTOS	Contiene la información de registro de sedimentos diarios. Se emplea en el conocimiento del transporte y concentración de sedimentos.	Físico	Subdirección de Hidrología
ESTACIONES DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE	Esta capa de información presenta la ubicación geográfica de cada una de las estaciones de monitoreo a nivel nacional pertenecientes a los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire operados en su mayoría por las Autoridades Ambientales; estas estaciones son aquellas que reportan datos al SISAIRE de manera permanente; anualmente se consolidan, procesan y analizan los datos reportados para construir los indicadores y estudios de calidad del aire.	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
MANUAL PARA LA REVISIÓN DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DILIGENCIADA EN EL REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL – RUA – PARA EL SECTOR MANUFACTURERO Y PARA SU TRANSMISIÓN AL SIUR	Documento técnico dirigido a las autoridades ambientales competentes para efectuar la revisión de la calidad de la información diligenciada por los establecimientos industriales en el registro RUA para el sector manufacturero. A su vez la respectiva transmisión de información revisa al Ideam.	Digital	Oficina de Informática

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
POR PARTE DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES COMPETENTES			
REGISTROS DE GRANULOMETRIA	Contiene la información de granulometría de las estaciones con programa de sedimentos. Útil en la creación de las curvas granulométricas que describen el tamaño del material en una sección de una corriente.	Digital	Subdirección de Hidrología
PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL SUBSISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE USO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES – SIUR - PARA EL SECTOR MANUFACTURERO	Documento técnico dirigido a los usuarios del RUA Manufacturero para conocer y establecer el marco conceptual, la estructura y la metodología necesaria para llevar a cabo el acopio, almacenamiento, procesamiento, análisis y consulta de indicadores e información sobre el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales renovables, originados por las actividades del sector manufacturero.	Digital	Oficina de Informática
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS	Información derivada del componente de hidrología para uso de objeto misional del instituto	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL PARA EL SECTOR MANUFACTURERO	Instrumento de captura cuyo objetivo es obtener información estandarizada sobre el uso, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables por las actividades del sector manufacturero.	Digital	Oficina de Informática
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS	Información meteorológica procesada que se usa para cumplimiento de objeto misional del instituto.	Digital	Subdirección de Hidrología
REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS- APLICATIVO	Herramienta de captura de información establecida en el decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, hoy compilado en el título VI del decreto 1076 de 2015.	Digital	Oficina de Informática
BASES DE DATOS REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	bases de datos anonimizadas del registro de generadores de residuos peligrosos	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE DILIGENCIAMIENTO DEL REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	Manual de diligenciamiento dirigido a establecimientos	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE ADMINISTRACIÓN DIRIGIDO A AUTORIDADES AMBIENTALES	Manual de administración dirigido a autoridades ambientales para el manejo del registro de generadores de residuos peligrosos	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE VALIDACIÓN DE AUTORIDADES AMBIENTALES	Insumo para proceso de validación de autoridades ambientales que afectan la calidad de los datos	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE GESTORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	Manual sobre el módulo de gestores de residuos peligrosos dirigido a las autoridades ambientales	Digital	Oficina de Informática
CONSULTA PÚBLICA DE GESTORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	Información que le permite a las empresas disponer del listado de gestores autorizados a nivel nacional	Digital	Oficina de Informática
INFORMES NACIONALES DE RESIDUOS PELIGROSOS	Documentos técnicos realizados sobre la generación y manejo de los residuos peligrosos en el país	Digital	Oficina de Informática
MAPA DE ECOSISTEMAS CONTINENTALES MARINOS Y COSTEROS DE COLOMBIA ESCALA 1:100.000. V 2.1. PERIODO COBERTURAS DE LA TIERRA 2010-2012	Zonificación de los Ecosistemas Continentales Marinos y Costeros de Colombia escala 1:100.000. V 2.1. periodo Coberturas de la tierra 2010-2012. Formato Shape y GDB.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
MEMORIA TÉCNICA. MAPA DE ECOSISTEMAS CONTINENTALES. COSTEROS Y MARINOS DE COLOMBIA (MEC). ESCALA 1:100.000.	Documento técnico que consolida y explica los conceptos y metodología implementada para la elaboración del mapa de Ecosistemas Continentales Marinos y Costeros de Colombia escala 1:100.000.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
APROXIMACIÓN TÉCNICA Y CONCEPTUAL PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS. FASE I: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOCOLO DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL PAÍS. CON ÉNFASIS EN LA DEFINICIÓN DE INDICADORES HIDROBIOLÓGICOS. BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS	Documento técnico que consolida y explica la revisión y análisis técnico y conceptual de las bases requeridas para lograr formular un protocolo orientado al monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos bajo un enfoque en componentes biofísico, hidrobiológico y socioeconómico.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
MEMORIAS Y RESÚMENES DEL 1ER TALLER INTERNACIONAL DE EXPERIENCIAS DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	Documento que contiene las memorias y resúmenes de las ponencias y conclusiones obtenidas en la realización del evento Taller Internacional de Experiencias de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos, liderado por el Ideam y llevado a cabo entre febrero y marzo de 2021, en formato virtual.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
PROTOCOLO DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE COLOMBIA. ÉNFASIS EN FENÓMENOS DE TRANSFORMACIÓN CARGA CONTAMINANTE. CAMBIO CLIMÁTICO Y FRAGMENTACIÓN V 1.0	Documento técnico que consolida la primera propuesta de protocolo con bases conceptuales, metodológicas y prácticas para monitorear y hacer seguimiento al estado de los ecosistemas acuáticos del país, de forma integral (componentes hidrológicos, hidrobiológicos, biofísicos y socioeconómicos), respecto a la transformación que pueden generar tres fenómenos priorizados: Carga contaminante de origen orgánico e inorgánico, Cambio climático y Fragmentación.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
CENTROS REGIONALES DE DIALOGO AMBIENTAL-CRDA	Contiene los elementos metodológicos generados para la formulación y el diseño de los CRDA	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
REGISTROS DE HIDROLOGIA	Esta carpeta contiene toda la información de campo en cuanto a aforos líquidos, aforos sólidos, perfiles transversales, perfiles longitudinales, niveles, muestras diarias de sedimentos, graficas de linógrafo.	Físico	Subdirección de Hidrología
ELEMENTOS TECNICOS PARA EL ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO	Contiene la información relacionada a elementos técnicos y conceptuales generados para apoyar procesos de planificación en el territorio	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
REGISTROS DE METEOROLOGIA	Esta subserie contiene toda la información de monitoreo en cuanto a variables meteorológicas se refiere, se usa como insumo para la sala de pronóstico regional y para los diferentes usuarios internos y externos.	Físico	Subdirección de Hidrología
ESTUDIOS PARA GESTIÓN DEL RIESGO	Contiene resultados relacionados a bases técnicas, para apoyar desde la evaluación de la vulnerabilidad los procesos de gestión del riesgo.	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
REGISTROS DE HIDROLOGIA	CONTIENE TODOS LOS REGISTROS DE AFOROS SOLIDOS. AFOROS LIQUIDOS. PEEFILES TRANSVERSALES. GRADIENTES HIDRAULICOS. MUESTRAS DIARIAS SEDIMENTOS. NIVELES Y CAUDALES.	Físico	Subdirección de Hidrología
INDICADORES PARA EL ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO	Contiene los avances generados en la construcción de indicadores ambientales de ordenamiento ambiental que aporten a los procesos de planificación del territorio. así como a establecer una articulación entre diferentes resultados generados desde esta temática.	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
INFORME DEL ESTADO DE LOS GLACIARES COLOMBIANOS	Documento anual que informa acerca del estado y dinámica de los glaciares nacionales	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
MAPAS DE COBERTURA Y CAMBIO DE AREA GLACIAR EN COLOMBIA	Cartografía que representa los límites de los glaciares colombianos y su cambio en el tiempo	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
BALANCE DE MASA GLACIAR	Corresponde al indicador ambiental institucional del mismo nombre y representa el comportamiento cuantitativo en términos de pérdidas o ganancias de masa de un glaciar de estudio durante un periodo determinado lo que a su vez refleja la intensidad del cambio climático y las condiciones climáticas y atmosféricas locales y regionales.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
MEDIOS DE CONTROL JUDICIAL	Documentos que hacen parte de las etapas procesales de los diferentes medios de control	Digital	Oficina Asesora Jurídica
MAPAS GEOGRAFICOS AMBIENTALES	Contiene la documentación para la revisión y oficialización de la información geográfica. así como la documentación que se genera en el proceso mismo.	Digital	Oficina de Informática
MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL	Describe las actividades de control de calidad aplicadas a las brigadas de campo. durante y posterior a las mediciones. para establecer la veracidad de la información reportada	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
DOCUMENTOS Y FORMATOS DE SEGUIMIENTO A LOS OPERATIVOS DE CAMPO	Documentos con el detalle técnico y administrativo de los convenios firmados para la ejecución del inventario por parte de los operadores logísticos	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
ORDENACION FORESTAL	Informes técnicos Memoria cartográfica (shapes de muestra y sobre muestra) Informes de resultados y avance	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
MUESTRAS DE COLECTA BOTÁNICA	Corresponde a la colección física de muestras de árboles. helechos arbóreos y palmas recolectados durante el proceso de inventario en los diferentes conglomerados	Físico	Subdirección de Ecosistemas e



7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
			Información Ambiental
MUESTRAS DE COLECTA BOTÁNICA	Corresponde a las fichas de información generadas de las muestras de la colecta de árboles, helechos arbóreos y palmas recolectados durante el proceso de inventario en los diferentes conglomerados	Digital	Subdirección de Estudios Ambientales
BOLETINES TRIMESTRALES DE ALERTA TEMPRANA DE DEFORESTACIÓN	Identificación semestral/trimestral de las Alertas Tempranas de Deforestación. Incluye la identificación de los principales Núcleos Activos de deforestación para cada semestre/trimestre.	Digital	Oficina de Informática
ACTUALIZACIÓN DE CIFRAS DE MONITOREO SUPERFICIE DE BOSQUE Y DEFORESTACIÓN	Identificación de la superficie cubierta por bosque natural y la deforestación anual a nivel nacional, departamental, Autoridades Ambientales Regionales (CAR), Regiones naturales y Áreas hidrográficas	Digital	Oficina de Informática
PROTOCOLO DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA EL MONITOREO DE DEFORESTACIÓN	Establecer los pasos metodológicos mínimos necesarios para generar cartografía temática y reportes estadísticos a nivel nacional sobre la extensión, distribución y cambios de la cobertura de Bosque a escala 1:100.000, a partir del procesamiento digital de imágenes de sensores remotos.	Digital	Oficina de Informática
ACTUALIZACIÓN DE INDICADORES OFICIALES DE MONITOREO DE LA SUPERFICIE DE BOSQUE.	Alimentación de las cifras anuales de los indicadores propuestos para el monitoreo de la superficie de bosque natural: Proporción de la superficie cubierta por bosque natural. Cambio en la superficie cubierta por bosque natural. Tasa anual de deforestación.	Digital	Oficina de Informática
INDICADORES FORESTALES	Indicadores forestales del uso del recurso forestal a partir del reporte de las autoridades ambientales en el SNIF	Digital	Oficina de Informática
CAPAS CARTOGRÁFICAS OFICIALES DE MONITOREO DE LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE BOSQUE NATURAL	Información cartográfica que permite identificar la superficie de bosque natural en el territorio nacional.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
CAPAS CARTOGRÁFICAS OFICIALES DE MONITOREO DE LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE BOSQUE NATURAL	Información cartográfica con la identificación de los cambios o deforestación de la superficie de bosque natural.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
REPORTES SEMANALES Y MENSUALES DE ALERTA TEMPRANA DE DEFORESTACIÓN	Identificación semanal de parches >10 ha y puntos de alertas de deforestación a nivel nacional. Identificación semanal de las Alertas Tempranas de Deforestación. Incluye la identificación de los principales Núcleos Activos de deforestación para cada semestre/trimestre.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
LINEAMIENTOS CONCEPTUALES METODOLÓGICOS PARA LA CARTELIZACIÓN DE CAUSAS Y AGENTES DE LA DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA.	Documento con la propuesta y metodología para identificar las causas y agentes asociados a la deforestación.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
PROPUESTA DE LINEAMIENTOS PARA EL MONITOREO COMUNITARIO PARTICIPATIVO EN COLOMBIA Y SU ARTICULACIÓN CON EL SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE BOSQUES.	Propuesta de lineamientos para la implementación de iniciativas de monitoreo comunitario participativo en las cuales se pueden realizar conservación del bosque, seguimiento a especies forestales, entre otras. Es de uso para las comunidades campesinas, indígenas, afrocolombianas, entre otras	Digital	Oficina de Informática
NIVELES DE REFERENCIA DE EMISIONES FORESTALES A NIVEL NACIONAL Y SUBNACIONAL EN COLOMBIA	En el marco de las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Colombia (CMNUCC). Colombia presenta su segundo nivel de referencia de emisiones forestales (NREF) para que sea incluido en el proceso de evaluación técnica requerido para optar al mecanismo de pagos basados en resultados por efecto de la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal, la conservación de bosques, el manejo forestal sostenible y el mejoramiento de los contenidos de carbono en los países en desarrollo (REDD +) ante la CMNUCC. Apartado extraído del documento oficial.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
MAPAS DE RIESGO DE DEFORESTACIÓN A NIVEL SUBNACIONAL Y NÚCLEOS ACTIVOS DE DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA.	Información cartográfica de riesgo de deforestación a nivel subnacional y núcleos activos de deforestación. Implementación de acciones de control y vigilancia por parte de las entidades competentes.	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
PLATAFORMA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BOSQUES Y CARBONO	Página web en la cual se disponen los productos y servicios generados en el marco de la operación del sistema, referida al monitoreo de la superficie de bosque.	Digital	Oficina de Informática
BASES DE DATOS GEOGRÁFICOS	Bases de datos geográficas generadas a partir de los reportes de las autoridades ambientales en el SNIF	Digital	Oficina de Informática
CONJUNTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE PROCESADAS PARA EL MONITOREO DEL BOSQUE	Imágenes satelitales descargadas, almacenadas y procesadas para el monitoreo de los bosques (deforestación, bosque - no bosque). Mosaicos temporales anuales de imágenes de satélite Landsat Imágenes Landsat 7/8, Sentinel 1/2, PlanetScope	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	Conjunto de algoritmos desarrollados para el pre-procesamiento y procesamiento digital de imágenes de satélite	Digital	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
INFORME TÉCNICO DIARIO DE ALERTAS AMBIENTALES	Boletín donde se informa de las condiciones hidrometeorológicas actuales del país con sus respectivos niveles alertas tempranas y observaciones para el público en general.	Digital	Oficina de Informática
BOLETÍN HIDROLÓGICO DIARIO	Informe que comunica sobre el comportamiento hidrológico en los principales ríos del país con información horaria en tiempo real que se recibe de las estaciones automáticas y generación de posibles alertas a partir de sus dinámicas; se publican dos informes diarios cada 12 horas.	Digital	Oficina de Informática
PRONÓSTICO DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA	Informe diario de la probabilidad de amenaza por deslizamientos asociados a lluvias en el territorio nacional con sus respectivos niveles de alertas y observaciones para el público en general.	Digital	Oficina de Informática

7.1.2.a. Nombre o título de la categoría de información.	7.1.2.b. Nombre o título de la información.	7.1.2.d. Medio de conservación	7.1.2.g. Responsable de la información
INFORME DIARIO DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL	Informe diario de la probabilidad de amenaza por incendios de la cobertura vegetal en el territorio nacional (con sus respectivos niveles de alertas) a través de un modelo desarrollado específicamente para este fin.	Digital	Oficina de Informática
MAPA DE PERSISTENCIAS DE INCENDIOS Y DESLIZAMIENTOS	Representación de la persistencia de las alertas por temática para un periodo de tiempo	Digital	Oficina del Servicio de pronósticos y Alertas
MAPAS DE ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN POR DEPARTAMENTOS Y REGIONES EN COMPARACIÓN AL PROMEDIO MENSUAL MULTIANUAL	Representación espacial (mapas) que indica las anomalías de precipitación con respecto a la precipitación diaria registrada en el país Vs los registros de media mensual multianual periodo (1981-2010).	Digital	Oficina del Servicio de pronósticos y Alertas
MAPA DE ALERTAS HIDROLÓGICAS	Representación de las alertas hidrológicas vigentes categorizadas en baja, media o alta para las subzonas hidrográficas del país	Digital	Oficina del Servicio de pronósticos y Alertas
ARCHIVOS DE EXCEL DE SEGUIMIENTO DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	Con el fin de tener los datos organizados de precipitación y temperatura proporcionados por la red de estaciones cuasi-reales del IDEAM se elaboró unos archivos en Excel que contienen los datos de estas variables organizados y actualizados para uso del servicio de pronósticos.	Digital	Oficina del Servicio de pronósticos y Alertas
MODELO DE DESLIZAMIENTOS	El área de Ecosistemas del IDEAM diseño esta herramienta con el fin de hacer un pronóstico sobre las áreas o zonas del territorio nacional que sean susceptibles a deslizamientos, así como la emisión de sus respectivas alertas.	Digital	Oficina del Servicio de pronósticos y Alertas
TABLA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	Con el fin de hacer un seguimiento del comportamiento de la precipitación y la temperatura en las principales ciudades y aeropuertos del país, se realizan unas tablas consolidadas con esta información, que dan un indicativo del comportamiento de la Precipitación y Temperatura.	Digital	Oficina de Informática

## Anexo G. Hoja de Ruta de la mesa de expertos de estratificación socioeconómica

Función	Etapas	Solución propuesta	Descripción	Mecanismo	Tipo Doc.	Entidad responsable
Coordinación de Política	Conpes de Política	Conpes de Focalización de Subsidios de Servicios Públicos Domiciliarios	<p>1. Establecimiento de los siguientes elementos de la política de focalización de subsidios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnóstico de la situación actual en términos del estado del déficit en materia de subsidios</li> <li>- Elementos actuales de la estratificación socioeconómica y principales problemas de la normatividad y metodología vigente</li> <li>- Estado y efectos de la desactualización y ausencia de formación catastral en el país</li> <li>- Principales problemas en cuanto al marco institucional: funcionamiento de las diferentes instancias</li> <li>- Principales problemas en cuanto a la operatividad de los diversos sistemas de información.</li> </ul> <p>2. Objetivos y estrategias</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En materia de la metodología de estratificación para responder a los objetivos y metas en materia de focalización</li> <li>- En materia de focalización de los subsidios en dónde es posible que sea necesario distinguir entre los servicios de AAA y Energía y Gas</li> <li>- En materia de insumos de información para la actualización de la estratificación en el país, particularmente en materia de la información catastral</li> <li>- En materia de arreglos institucionales y gobernanza</li> <li>- En materia de sistemas de información y su interoperabilidad.</li> </ul> <p>3. Definición de instancias de coordinación y del funcionamiento esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comité Coordinación de Focalización de Subsidios de Servicios Públicos Domiciliarios.</li> <li>- Comité de Coordinación del Ecosistema de Información</li> <li>- Comité/Mesa Técnica de Estratificación</li> <li>- Definición de roles, instancias de decisión, mecanismos de coordinación de funciones (estratificación, focalización, energía y gas, agua y saneamiento básico, inspección, vigilancia y control)</li> </ul> <p>4. Definición de un valor estimado y plazos para la implementación de la política.</p>	Conpes de Política de Focalización de Subsidios de Servicios Públicos Domiciliarios; Conpes General	Conpes	MinEnergía MVCT DNP DANE IGAC SSPD
	Instancia de coordinación	Creación Comité de Coordinación de Focalización de Subsidios de Servicios Públicos Domiciliarios	Establecer oficialmente el arreglo institucional, la creación del Comité Coordinador de la Estratificación y Focalización de subsidios, los procesos de coordinación, y la gestión del ecosistema de información. Se recomienda que el Comité de Coordinación sea presidido por el DNP. Este Comité convocará a los diferentes actores de los sectores involucrados para actuar de manera intersectorial y coordinada.	Decreto para establecer i) conformación, funciones del Comité de Coordinación de Focalización de Subsidios, mecanismos de toma de decisión, mecanismos de coordinación	Decreto	MinEnergía MVCT DNP DANE SSPD
	Sistemas de Información	Creación Comité de Coordinación del Ecosistema de Información Definición reglas de interoperabilidad	Uno de los objetivos esenciales de la nueva política de focalización de subsidios y de estratificación es el fortalecimiento de los sistemas de información, para lo cual además de la necesidad de la debida coordinación de las entidades administradoras de estos sistemas, se encuentra la necesidad de lograr su interoperabilidad. Para estos efectos se proponen tres acciones:	Decreto del Ecosistema de Información	Decreto	MinEnergía MVCT DNP DANE IGAC SSPD

Función	Etapas	Solución propuesta	Descripción	Mecanismo	Tipo Doc.	Entidad responsable	Plazo	Conpes general
Estratificación	Formulación	1- Ejecución política catastral CONPES 3958 DE 2019 y los artículos de la Ley 1955 de 2019 2. Medida transitoria: metodología para asignación provisional de estrato 3. Gobernanza de control	1. Respeto de la ejecución de la política catastral, teniendo en cuenta la relevancia de la información catastral como insumo de la estratificación socioeconómica, resulta importante el logro de los objetivos, metas y estrategias previstas en el CONPES 3958 de 2019, particularmente las metas de actualización y formación catastral. Por lo cual este tema debe reflejarse en el CONPES que se propone para la política de focalización de subsidios  2. Medida transitoria: metodología para asignación provisional de estrato Teniendo en cuenta la desactualización y la no formación catastral, lo cual obliga a los prestadores a asignar por su cuenta y de manera no uniforme, códigos transitorios en su facturación a los predios que aún no cuentan con un estrato oficial pero ya es receptor del servicio público, se recomienda que se defina una metodología sobre cómo asignar un estrato transitorio asociado al número único predial transitorio para que sea aplicado por los prestadores de servicios públicos en sus facturaciones mientras se asigna oficialmente el estrato. Esta metodología se aplicaría cuando la estratificación tenga una desactualización mayor a 5 años o no haya formación catastral. Se recomienda al DANE incluir, dentro de la metodología de estratificación, reglas para la creación de códigos transitorios que aplicarán los prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo para la identificación del usuario en los maestros de facturación, cuando el municipio no haya creado el número único predial de inmuebles y se aplicará mientras los municipios actualizan la información catastral.  3. Gobernanza del control Asignar a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios la vigilancia y control de la aplicación de la metodología para asignación provisional del estrato, por parte de los prestadores de servicios públicos domiciliarios y que informe los resultados de su gestión de vigilancia y control al Comité de Coordinación de la Focalización de Subsidios	Documento metodológico de estratificación  Decreto de funciones del Comité de Coordinación de Focalización de Subsidios	Resolución  Decreto	DANE IGAC SSPD	Corto plazo	x
		Definir variables del núcleo de la información catastral que sea la base de la definición de la estratificación	Teniendo en cuenta la relativa libertad metodológica de los gestores catastrales para la asignación de la tipología de las construcciones se debe establecer a través de un documento metodológico unas variables estándar para restablecer la estabilidad de las variables asociadas a la estratificación.	Documento metodológico de estratificación	Resolución	DANE IGAC	Corto plazo	x
		Creación Mesa Técnica de Estratificación como ente asesor	Establecer las funciones de la Mesa Técnica de Estratificación, experiencia y formación de los expertos que la conforman. Esencialmente esta Mesa tiene una naturaleza asesora para apoyar el proceso de definición, implementación (esquema de transición) y seguimiento de la política pública de estratificación. Además de asesorar la toma de decisiones a las entidades relacionadas con la estratificación y dar las recomendaciones desde una perspectiva esencialmente técnica sobre la pertinencia y conducencia de los cambios o proyectos que sobre estratificación se estén analizando. Apoyar la evaluación de los resultados de la política pública de estratificación y proponer recomendaciones para su mejoramiento o para adoptar medidas correctivas, realizar el seguimiento a la hoja de ruta planteada, alertando al Comité Coordinador de Focalización de los atrasos o de la necesidad de ajustarla según los resultados que se vayan obtenido, además de proponer su actualización en el tiempo cuando ello sea necesario. Dentro de este contexto,  a continuación se mencionan puntos de arranque sugeridos para el análisis de la Mesa:  1. Definición de tipologías municipales 2. Identificación de criterios de focalización 3. Pertinencia y grado de correlación de variables catastrales con la capacidad de pago de los hogares 4. Aplicación de posibles modelos de estratificación 5. Evaluación de posibles modelos de estratificación 6. Implementación 7. Análisis de medidas de métodos complementarios 8. Estudios de impactos de efectos secundarios	Decreto para establecer conformación, perfiles y funciones de la Mesa Técnica de Estratificación	Decreto	DANE IGAC	Corto	x
	Ejecución /Seguimiento y control	Comité Permanente de estratificación: Cambio de composición y funcionamiento	Con la finalidad de debilitar la injerencia del alcalde en el funcionamiento del Comité Permanente de Estratificación. Para ello se propone incluir dentro de la conformación de dicho Comité, al Secretario Departamental de Planeación Departamental o quien haga sus veces, quien presidirá el Comité. Los prestadores de servicios públicos en el municipio seguirán siendo parte.	Reglamentar artículo 6 Ley 732 de 2002	Decreto del Ecosistema de Información	DNP DANE	Corto Plazo	x
		Implementación SIGESCO	Se requiere culminar la implementación del SIGESCO así como lograr la interoperabilidad con el SUI y, en lo pertinente con el SINIC. Para ello se requieren las siguientes acciones:  - Culminar el proceso de implementación del SIGESCO - Adelantar procesos de interoperabilidad, para lo cual, puede seguir las etapas básicas que se anexan al producto final de la mesa de expertos - Implementar el Comité de Coordinación del Ecosistema de Información	Comité de Coordinación del Ecosistema de Información	Decreto del Ecosistema de Información	DANE DNP SSPD IGAC	Corto Plazo	x
		Captura de información para verificar todas las etapas del proceso de adopción de la estratificación municipal (SIGESCO)  Ex ante: Acuerdo municipal parámetros racionales con bases de datos. Ejecución: soportes incluido Foto inmueble; auditorías de campo para verificar la correcta aplicación de la metodología (definición muestras basada en gestión de riesgo y cruce de información oficial disponible). Control: DANE informa sistemáticamente irregularidades a PGN para proceso sancionatorio	Se requiere culminar la implementación del SIGESCO, y que en su operación se levante la información suficiente para la ejecución de los controles por parte del DANE en esta primera etapa de adopción de la estratificación.	Establecer procedimiento de verificación por parte del DANE de la aplicación metodología de estratificación:	Decreto del Ecosistema de Información  Resolución DANE de procedimiento de seguimiento y control de la adopción y actualización de la estratificación municipal	DNP DANE  DANE	Corto Plazo	x

Función	Etapa	Solución propuesta	Descripción	Mecanismo	Tipo Doc.	Entidad responsable	Plazo	Conpes general
<b>Focalización</b>	<b>Formulación</b>	Análisis de la implementación del cruce de información de estratificación con información socioeconómica de los usuarios como parámetro de focalización de subsidios, para los servicios de energía y gas (Art.297 Ley del Plan)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definir las bases de datos para el cruce previsto en el artículo 297 de la Ley 1955 de 2019, el inventario de variables para el cruce - Mesa de trabajo con Ministerio de Minas y Energía, DANE y DNP.</li> <li>Definir metodología de cruce de la información, incluida la interoperabilidad de los sistemas de información pertinentes y de ser adecuado realizar pilotos de implementación.</li> <li>Definir actividades a cargo de los prestadores y mecanismos de aplicación de la información cruzada para determinar subsidios y contribuciones.</li> </ol>	Decreto reglamentario PND (artículo 297)  Documento metodológico de estratificación  Decreto del Ecosistema de Información	Decreto  Resolución  Decreto del Ecosistema de Información	MinEnergía  DNP DANE	Corto Plazo	<b>x</b>
		Análisis de la autorización de focalización a partir del cruce de información de estratificación con información socioeconómica de los usuarios como parámetro de focalización de subsidios, para los servicios de energía y gas (Art.297 Ley del Plan)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Con base en los resultados de la aplicación del cruce de información socioeconómica con la de estratificación en los servicios de energía y gas (cuando se aplique a través de pilotos o de manera general), analizar la pertinencia de incluir, mediante ley, la autorización del cruce de la información de estratificación con información socioeconómica para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. (i.e. PND próximo Gobierno).</li> <li>Analizar la unificación de la metodología de cruce de estratificación con información socioeconómica, para todos los servicios públicos.</li> <li>Aplicación de la nueva metodología de cruce para los todos los servicios públicos domiciliarios con base en un procedimiento estándar.</li> </ol>	Ley  Decreto reglamentario PND (artículo 297)  Documento metodológico de estratificación	Ley del Plan  Decreto reglamentario  Resolución	MVCT DNP DANE MINenergía MVCT	Mediano Plazo	<b>x</b>
	<b>Seguimiento y control</b>	Mejoramiento del procedimiento de la SSPD para verificar la correcta aplicación de los estratos (reportados por los Alcaldes) por parte de los prestadores de servicios públicos para establecer subsidios y contribuciones.	Se requiere que la SSPD fortalezca el proceso de vigilancia y control de la focalización (aplicación de los estratos reportados por los alcaldes para definir usuarios subsidiados y contribuyentes), por parte de los prestadores de servicios públicos. Para ello se proponen las siguientes acciones en cuanto a la calidad de los insumos de información y a la extensión de la vigilancia a los prestadores de energía y gas.  <ol style="list-style-type: none"> <li>Interoperabilidad del SUI con SIGESCO Teniendo en cuenta los problemas de calidad de la información reportada por los alcaldes al SUI, se recomienda que la SSPD tome la información que los alcaldes van a reportar al SIGESCO, y que será verificada por el DANE, para lo cual debe implementarse la interoperabilidad del SUI con el SIGESCO. Ver Anexo 5. Consideraciones para la interoperabilidad de la Información.</li> <li>Mejora de procedimiento (pasos, plazos instrumentos, responsables, condiciones de publicación de información, y consecuencias de incumplimiento) al interior de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, a través de la Delegada de Agua y Saneamiento y Básico y de la Delegada de Energía y Gas.                               - Se recomienda que la SSPD avance y culmine la implementación del proceso de seguimiento y control de la aplicación de estratos por parte de los prestadores de energía y gas, con la inclusión del número único predial en la factura. Así mismo, será necesario ajustar los procedimientos de esta vigilancia y control cuando se implementen los cambios de estratificación que se vienen adelantando con energía y gas con base en el artículo 297 de la Ley 1955 de 2019.</li> </ol> Dentro de las estrategias de fortalecimiento de las funciones de vigilancia y control de la correcta aplicación de la estratificación municipal por parte de los prestadores de los servicios públicos en su facturación, se recomienda reforzar el equipo humano que lleva a cabo esta función.  3. Plan de cruce de información del SUI con Sigesco para todos los SPD.  Se recomienda implementar y estandarizar procesos de fortalecimiento del proceso de control de calidad entre el SUI y SIGESCO, lo cual supone la coordinación entre las dos entidades administradoras.	Decreto del Ecosistema de Información	<ol style="list-style-type: none"> <li>Decreto del Ecosistema de Información</li> <li>Resolución SSPD</li> <li>Resolución SSPD .DANE</li> </ol>	MinEnergía  MVCT DNP DANE	Mediano plazo	<b>x</b>
		Definición de mecanismo de recolección de información de prestadores rurales y municipios menores.	Establecer una instancia para recoger la información de facturación de los prestadores rurales y municipios menores de AAA, para determinar la correcta aplicación del régimen de subsidios y contribuciones en las facturas.  Para estos efectos, se sugiere implementar los Gestores de Información para los prestadores rurales y municipios menores. Para ello, se recomienda revisar lo previsto en el Decreto 1425 de 2019, que señala que el gestor del Plan Departamental para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA) tiene la función de "Apoyar al departamento en su tarea de promover y adelantar, las gestiones necesarias para que los prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo que operan en los municipios o distritos vinculados a los Planes Departamentales para el Manejo empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA), reporten la información al Sistema Único de Información (SUI), o el que haga sus veces, con la oportunidad y calidad que establezca la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, así como también a los demás sistemas de información que se implementen".	Decreto Reglamentario  Resolución SUI para precisar procedimiento de recolección de la información	1.Decreto  2. Resolución SSPD	SSPD MVCT	Corto plazo	<b>x</b>

## ***Anexo H. Formulario de la Encuesta Multipropósito (EM)***



Documento Adobe Acrobat

## Anexo I. Variables seleccionadas de la EM de 2017

Tema	01. Población	Tema	02. Primera infancia (0 a 5 años)
Año	2017	Año	2017
Clase	Urbano	Clase	Urbano
Unidad de medida	(Todas)	Unidad de medida	(Todas)
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>
01. Población por ciclo de vida	11	01. Asistencia a instituciones de atención integral a la primera infancia	1
02. Población migrante en los últimos 5 años	1	02. Tipo de institución de atención integral a la primera infancia	9
03. Lugar donde vivía hace 5 años	5	03. Enfermedades prevalentes	7
04. Población por estrato socioeconómico	8	04. Vacunación	1
<b>Total general</b>	<b>27</b>	<b>Total general</b>	<b>20</b>
Tema	04. Hogares	Tema	05. Viviendas
Año	2017	Año	2017
Clase	Urbano	Clase	Urbano
Unidad de medida	(Todas)	Unidad de medida	(Todas)
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>
01. Tipología de hogar	7	01. Tipo de vivienda	6
02. Tamaño promedio del hogar	1	02. Espacios dedicados a negocios en la vivienda	1
03. Jefatura del hogar	3	04. Problemas en las viviendas	13
04. Tenencia de la vivienda	7	05. Problemas en el entorno de las viviendas	15
05. Déficit de vivienda	5	06. Proximidad de las viviendas a lugares que generen riesgo para sus habitantes	15
06. Acceso a servicios públicos	5	07. Vulnerabilidad de las viviendas a desastres naturales	5
07. Cortes de agua y energía eléctrica	3	<b>Total general</b>	<b>57</b>
08. Medidas de ahorro de agua y energía eléctrica	17	Tema	07. Educación
<b>Total general</b>	<b>57</b>	Año	2017
Tema	06. Transporte y movilidad	Clase	Urbano
Año	2017	Unidad de medida	(Todas)
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>
01. Tenencia de bicicleta	1	01. Alfabetismo	1
03. Modos de transporte para ir a estudiar	2	02. Nivel educativo del jefe de hogar	11
04. Tiempo de desplazamiento para ir a estudiar	2	03. Nivel educativo (estudios en curso)	13
05. Modos de transporte para ir a trabajar	2	04. Nivel educativo (estudios terminados)	17
06. Tiempo de desplazamiento para ir a trabajar	5	05. Tasa de asistencia escolar (TAE)	7
<b>Total general</b>	<b>50</b>	06. Tasa de cobertura bruta (TCB)	5
Tema	08. Fuerza de trabajo	07. Tasa de cobertura neta (TCN)	5
Año	2017	<b>Total general</b>	<b>62</b>
Clase	Urbano	Tema	09. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)
Unidad de medida	(Todas)	Año	2017
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>	Clase	Urbano
01. Población en edad de trabajar (PET)	1	Unidad de medida	(Todas)
02. Fuerza laboral (FL)	1	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>
03. Tasa de desempleo (TD)	1	01. Acceso a internet (fijo o móvil)	1
04. Tasa de ocupación (TO)	1	02. Uso de internet (fijo o móvil)	1
05. Tasa global de participación (TGP)	1	03. Frecuencia de uso de internet	1
06. Tamaño de la empresa o negocio donde trabaja	15	04. Sitios donde accede a internet	1
07. Satisfacción con el trabajo e ingresos	3	05. Tipos de dispositivos usados para acceder a internet	1
<b>Total general</b>	<b>28</b>	<b>Total general</b>	<b>3</b>
Tema	10. Pobreza y percepción sobre las condiciones de vida	Tema	11. Salud
Año	2017	Año	2017
Clase	Urbano	Clase	Urbano
Unidad de medida	(Todas)	Unidad de medida	(Todas)
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Valor</b>
01. Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)	1	01. Estado de afiliación a salud	7
02. Seguridad alimentaria	1	02. Régimen de afiliación a salud	7
03. Percepción de las condiciones de vida actuales	7	03. Percepción del estado de salud	7
04. Percepción del nivel de vida actual respecto al que tenía hace 5 años	5	04. Percepción de la calidad del servicio de salud	1
05. Percepción de la situación económica actual respecto al hogar donde se crió	5	07. Uso del servicio de salud en los últimos 30 días	1
06. Pobreza subjetiva según el jefe de hogar	1	08. Frecuencia de actividad física	7
07. Suficiencia de los ingresos del hogar	5	<b>Total general</b>	<b>47</b>
<b>Total general</b>	<b>30</b>		



Tema	13. Seguridad	↕
Año	2017	↕
Clase	Urbano	↕
Unidad de medida	(Todas)	↕
<b>Etiquetas de fila</b>		<b>Cuenta de Valor</b>
01. Percepción general de la seguridad		70
<b>Total general</b>		<b>70</b>





RELACIÓN ENTRE ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA Y EXPOSICIÓN AL MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2,5</sub>) EN EL AREA URBANA DE BOGOTÁ (COLOMBIA)



ESCAMENARIO N° 3																	
Diferencias entre dos órdenes de criterios																	
A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	max. dif.			
C1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-1,00	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	1	0,9	0,8	0,7	2,4			
C2	0,1	0	-0,2	-0,2	-0,9	-1	-1,1	-1,2	-1,3	1,1	1	0,9	0,8				
C3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,8	-0,9	-1	-1,1	-1,2	1,2	1,1	1	0,9				
C4	0,3	0,2	0,1	0	-0,7	-0,8	-0,9	-1	-1,1	1,3	1,2	1,1	1				
C5	1,00	0,9	0,8	0,7	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	2	1,9	1,8	1,7				
C6	1,1	1	0,9	0,8	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	2,1	2	1,9	1,8				
C7	1,2	1,1	1	0,9	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	2,2	2,1	2	1,9				
C8	1,3	1,2	1,1	1	0,3	0,2	0,1	0	-0,10	2,3	2,2	2,1	2				
C9	1,4	1,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0	2,4	2,3	2,2	2,1				
C10	-1	-1,1	-1,2	-1,3	-2	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	0	-0,1	-0,2	-0,3				
C11	-0,9	-1	-1,1	-1,2	-1,9	-2	-2,1	-2,2	-2,3	0,1	0	-0,1	-0,2				
C12	-0,8	-0,9	-1	-1,1	-1,8	-1,9	-2	-2,1	-2,2	0,2	0,1	0	-0,1				
C13	-0,7	-0,8	-0,9	-1	-1,7	-1,8	-1,9	-2	-2,1	0,3	0,2	0,1	0				
														<b>Consistencia del método</b>			
														Número criterios (n)			
														Valor Ri*			
														Ri = 1.98 * (n-2)/n			
														3			
														0,52			
														4			
														0,89			
														5			
														1,11			
														1,19			
														6			
														1,25			
														7			
														1,35			
														8			
														1,4			
														1,49			
														9			
														1,45			
														1,54			
														10			
														1,49			
														1,58			
														11			
														1,51			
														1,62			
														12			
														1,54			
														1,65			
														13			
														1,56			
														1,68			
														14			
														1,57			
														1,70			
														15			
														1,58			
														1,72			
														<b>Consistencia de la matriz</b>			
<b>Matriz de criterios relativos [C] con escala 1-9</b>														Vector de pesos			
A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	Ratio	Importancia relativa entre dos criterios A y B	[Ws]=[C]x[W]	Vector de consistencia
C1	1	1,333	1,667	2	4,333	4,667	5	5,333	5,667	0,231	0,25	0,273	0,3	1	A y B tienen la misma importancia	0,949410816	[Cons]=[Ws]/[W]
C2	0,75	1	1,333	1,667	4	4,333	4,667	5	5,333	0,214	0,231	0,25	0,273	3	A se considera moderadamente más importante que B	0,833683891	13,740766
C3	0,6	0,75	1	1,333	3,667	4	4,333	4,667	5	0,2	0,214	0,231	0,25	5	A es bastante más importante que B	0,732103222	13,427136
C4	0,5	0,6	0,75	1	3,333	3,667	4	4,333	4,667	0,188	0,2	0,214	0,231	7	A es mucho más importante que B	0,64633431	13,290187
C5	0,230769	0,25	0,273	0,3	1	1,333	1,667	2	2,333	0,133	0,136	0,143	0,15	9	A es absolutamente más importante que B	0,294614197	13,038651
C6	0,214286	0,231	0,25	0,273	0,75	1	1,333	1,667	2	0,125	0,13	0,136	0,143			0,257987462	13,062338
C7	0,2	0,214	0,231	0,25	0,6	0,75	1	1,333	1,667	0,12	0,125	0,13	0,136			0,226354253	13,110044
C8	0,1875	0,2	0,214	0,231	0,5	0,6	0,75	1	1,333	0,115	0,12	0,125	0,13			0,200155018	13,177028
C9	0,176471	0,188	0,2	0,214	0,429	0,5	0,6	0,75	1	0,111	0,115	0,12	0,125			0,179321336	13,248835
C10	4,333333	4,667	5	5,333	7,667	8	8,333	8,667	9	1	1,333	1,667	2			2,82921026	14,012101
C11	4	4,333	4,667	5	7,333	7,667	8	8,333	8,667	0,75	1	1,333	1,667			2,51270292	14,097839
C12	3,666667	4	4,333	4,667	7	7,333	7,667	8	8,333	0,6	0,75	1	1,333			2,23123954	14,159293
C13	3,333333	3,667	4	4,333	6,667	7	7,333	7,667	8	0,5	0,6	0,75	1			1,990826848	14,188704
Suma	19,19	21,43	23,92	26,60	47,28	50,85	54,68	58,75	63,00	4,28	5,21	6,37	7,74				
<b>Matriz normalizada de criterios</b>														<b>Vector peso de los criterios [W]</b>			
A/B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13			Consistencia media (c)	13,548941
C1	0,052	0,062	0,070	0,075	0,092	0,092	0,091	0,091	0,090	0,054	0,048	0,043	0,039			Indice de consistencia Ci=(c-n)/(n-1)	0,045745
C2	0,039	0,047	0,056	0,063	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,050	0,044	0,039	0,035			Ratio de consistencia Cr=Ci/Ri	0,0293237
C3	0,031	0,035	0,042	0,050	0,078	0,079	0,079	0,079	0,079	0,047	0,041	0,036	0,032			Si Cr<0.1, el método se considera válido	< 0.1
C4	0,026	0,028	0,031	0,038	0,071	0,072	0,073	0,074	0,074	0,044	0,038	0,034	0,030			En caso contrario, hay que reajustar [C] y repetir el proceso	
C5	0,012	0,012	0,011	0,011	0,021	0,026	0,030	0,034	0,037	0,030	0,026	0,022	0,019				
C6	0,011	0,011	0,010	0,010	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,029	0,025	0,021	0,018				
C7	0,010	0,010	0,010	0,009	0,013	0,015	0,018	0,023	0,026	0,028	0,024	0,020	0,018				
C8	0,010	0,009	0,009	0,009	0,011	0,012	0,014	0,017	0,021	0,027	0,023	0,020	0,017				
C9	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,010	0,011	0,013	0,016	0,026	0,022	0,019	0,016				
C10	0,226	0,218	0,209	0,200	0,162	0,157	0,152	0,148	0,143	0,233	0,256	0,262	0,258				
C11	0,208	0,202	0,195	0,188	0,155	0,151	0,146	0,142	0,138	0,175	0,192	0,209	0,215				
C12	0,191	0,187	0,181	0,175	0,148	0,144	0,140	0,136	0,132	0,140	0,144	0,157	0,172				
C13	0,174	0,171	0,167	0,163	0,141	0,138	0,134	0,130	0,127	0,117	0,115	0,118	0,129				
Suma	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000				



## Anexo K. Interfaces de ArcGIS® para el Capítulo 5

### Escenario 1:

Set weights

Criteria hierarchy

- 1 Objective
  - migrante [10,999]
  - tos [15,847]
  - hogar [7,016]
  - vivienda [8,528]
  - transporte [4,213]
  - educa [5,239]
  - trabajo [5,989]
  - tecnologia [3,843]
  - IPM [30,122]
  - salud [4,668]
  - seguridad [3,534]

Preference matrix

Set values between 1 and 9 (equal (1) to strong (9) preference). Compared is row against column. Transpose values are set automatically.

	migrante	tos	hogar	vivienda	transporte	educa	tra
▶ educa	484	,3...	,758	,625	1,229	1	,8
trabajo	,556	,3...	,862	,714	1,401	1,134	
tecnologia	,349	,2...	,556	,455	,918	,745	,6
IPM	2,597	1,...	4,202	3,401	7,407	5,814	,1
salud	,429	,2...	,676	,556	1,1	,898	,7
seguridad	,319	,2...	,51	,417	,849	,686	,1

Ahp results

migrante: 10,999  
tos: 15,847  
hogar: 7,016  
vivienda: 8,528  
transporte: 4,213  
educa: 5,239

Compute  
CR: 0

Create map  
 create file?

About... Cancel < Previous Next > Finish

### Escenario 2:

Set weights

Criteria hierarchy

- 1 Objective
  - migrante [8,607]
  - educa [3,104]
  - salud [1,532]
  - seguridad [1,269]
  - hogar [5,174]
  - vivienda [6,682]
  - trabajo [4,004]
  - tecnologia [1,907]
  - IPM [14,091]
  - tos [11,043]
  - transporte [2,42]
  - PM2.5 [22,323]
  - PM10 [17,844]

Preference matrix

Set values between 1 and 9 (equal (1) to strong (9) preference). Compared is row against column. Transpose values are set automatically.

	abajo	tecnologia	IPM	tos	transporte	PM2.5	PM10
tecnologia	333	1	,158	,1...	,6	,13	,143
IPM	,333	6,333	1	1,...	5,667	,429	,6
tos	,667	5,667	,6	1	5	,333	,429
transporte	429	1,667	,176	,2	1	,143	,158
▶ PM2.5	,667	7,667	2,3...	3	7	1	1,667
PM10	5	7	1,6...	2,...	6,333	,6	1

Ahp results

migrante: 8,607  
educa: 3,104  
salud: 1,532  
seguridad: 1,269  
hogar: 5,174  
vivienda: 6,682

Compute  
CR: 0

Create map  
 create file?

About... Cancel < Previous Next > Finish

Escenario 3:

Set weights

Criteria hierarchy

- 1 Objective
- migrante [6,786]
- educa [5,959]
- salud [5,234]
- seguridad [4,623]
- hogar [2,124]
- vivienda [1,864]
- trabajo [1,639]
- tecnologia [1,453]
- IPM [1,304]
- tos [20,483]
- transporte [18,147]
- PM2.5 [16,074]
- PM10 [14,31]

Preference matrix

Set values between 1 and 9 (equal (1) to strong (9) preference). Compared is row against column. Transpose values are set automatically.

	trabajo	tecnologia	IPM	tos	transporte	PM2.5	PM10
tecnologia	,75	1	1,3...	,1...	,12	,125	,13
IPM	,6	,75	1	,1...	,115	,12	,12
tos	8,333	8,667	9	1	1,333	1,667	2
transporte	8	8,333	8,6...	,75	1	1,333	1,66
PM2.5	7,667	8	8,3...	,6	,75	1	1,33
PM10	7,333	7,667	8	,5	,6	,75	1

Ahp results

migrante: 6,786  
 educa: 5,959  
 salud: 5,234  
 seguridad: 4,623  
 hogar: 2,124  
 vivienda: 1,864

CR: 0,03

Buttons: Compute, Create map, create file?

Buttons: About..., Cancel, < Previous, Next >, Finish

Escenario 4:

Set weights

Criteria hierarchy

- 1 Objective
- migrante [14,091]
- educa [3,104]
- salud [1,532]
- seguridad [1,269]
- hogar [8,607]
- vivienda [11,043]
- trabajo [6,682]
- tecnologia [1,907]
- IPM [22,323]
- tos [17,844]
- transporte [2,42]
- PM2.5 [4,004]
- PM10 [5,174]

Preference matrix

Set values between 1 and 9 (equal (1) to strong (9) preference). Compared is row against column. Transpose values are set automatically.

	migrante	educa	salud	seguridad	hogar	vivienda	tr.
tecnologia	,158	,429	1,667	2,333	,2	,176	.
IPM	2,333	6,333	8,333	9	3,667	3	4
tos	1,667	5,667	7,667	8,333	3	2,333	3
transporte	,176	,6	2,333	3	,231	,2	.
PM2.5	,231	1,667	3,667	4,333	,333	,273	.
PM10	,273	2,333	4,333	5	,429	,333	.

Ahp results

migrante: 14,091  
 educa: 3,104  
 salud: 1,532  
 seguridad: 1,269  
 hogar: 8,607  
 vivienda: 11,043

CR: 0

Buttons: Compute, Create map, create file?

Buttons: About..., Cancel, < Previous, Next >, Finish