

ETAPA 4 – Tomo II

Realizar un estudio de demanda de transporte mediante la recolección de información primaria, que permita complementar el modelo de transporte como herramienta para la formulación del Plan de Infraestructura de Transporte.

TOMO II - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE

CONSORCIO CONARCON Y TRANSCONSULT UPIT 35

CONTRATO 042 DE 2023

Bogotá D.C., 22 de octubre de 2024

INDICE DE MODIFICACIONES

Índice de revisión	Concepto	Fecha de modificación	Observaciones
01	Versión inicial	03/05/2024	Documento para revisión de la UPIT
02	Atención observaciones	02/08/2024	Avance para revisión de la UPIT
03	Versión Ajustada	21/08/2024	Documento emitido para aprobación de la UPIT
04	Versión Ajustada	30/09/2024	Documento emitido para aprobación de la UPIT
05	Versión Ajustada	22/10/2024	Documento emitido para aprobación de la UPIT

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato de Consultoría Ni: 042 -2023 del 2023

Título del documento: Instrumentos de recolección

Fecha: 22 de octubre de 2024

Responsable interno:	Nombre – cargo:
Por Elaboración:	Equipo Técnico Especialistas Ing. Jonathan Trujillo Ing. Víctor Cantillo Ing. Guerly López Ing. Sandra Navas Ing. Alberto Navarro Ing. Jesús Díaz
Por Revisión:	ING. HANS JONATHAN TRUJILLO Coordinador Técnico
Por Aprobación	ING. ANGELICA CASTRO RODRIGUEZ Director de Proyecto

CONTROL DE REVISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Dependencia	Para entregar a:	No. Copias
UNIDAD DE PLANEACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE	EC. LUZ HELENA MARTÍNEZ MORA Supervisión del Contrato	1 volumen magnético

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 17
1.1. Objetivo general 18
1.2. Objetivos específicos 18
2. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE PARTIDA PMTI 2019 19
2.1. Descripción del modelo de partida 19
2.1.1. Calibración de los modelos de demanda 2019 20
2.1.2. Escenarios futuros modelo 2019 30
2.2. Actualización de la oferta de transporte 31
2.3. Actualización de los modos de transporte 37
2.4. Actualización de los segmentos de carga 38
2.5. Actualización de zonificación y conectividad 41
2.5.1. Zonificación 42
2.5.2. Conectividad 45
3. CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA INTERMODAL 51
3.1. Red carretera 53
3.1.1. Velocidades de operación 55
3.1.2. Clasificación arcos viales carreteros 57
3.1.3. Factores de ajuste de velocidad para vehículos de carga 60
3.1.4. Definición de la función de costo generalizado 61
3.1.5. Tratamiento de fletes carreteros 64
3.2. Red férrea 71
3.3. Red fluvio-marítima 73
3.4. Red de Ductos 87
3.5. Zonas Portuarias 94
3.6. Red Rutas Marítimas 99
3.7. Estaciones de transferencia del modo Férreo 100
3.8. Estaciones de transferencia del modo Fluvial 103
3.9. Arcos de conexión modal a zonas portuarias 106
3.10. Rutas de transporte público carretero 108
3.10.1. Intervalos de paso de las rutas 108
3.10.2. Estimación de la tarifa kilométrica para el TP carretero 110
3.10.3. Velocidad de transporte público carretero 113

4. DEFINICIÓN DE LA DEMANDA DE LA SITUACIÓN BASE 115
4.1. Definición de periodos de modelación 115
4.2. Matrices semilla de transporte privado y transporte público 115
4.3. Construcción de Matrices de carga doméstica 115
4.3.1. Consolidación de la base del RNDC 2022 116
4.3.2. Corrección de la ocupación y reestimación de carga 117
4.3.3. Expansión de la base de datos del RNDC 119
4.3.4. Inclusión de factores de ajuste para ZPP 121
4.3.5. Participación de carga doméstica 123
4.3.6. Adición de demanda de campo y eliminación de dobles conteos 125
4.3.7. Matrices de carga terrestre a Ecuador y Venezuela 127
4.3.8. Obtención de la matriz semilla de Demanda Doméstica 128
4.4. Matrices de carga de comercio exterior (COMEX) 130
4.4.1. Corrección de ocupaciones 131
4.4.2. Separación de Carga 133
4.4.3. Inclusión de Matrices Cautivas 135
4.4.4. Consolidación de Base de Datos 136
4.4.5. Identificación de Factores de Cambio 137
4.4.6. Aplicación de Factores 139
4.4.7. Factores Específicos para Demanda Cautiva 142
4.4.8. Obtención de Volúmenes de Control 145
4.4.9. Demandas cautivas 149
4.5. Matrices de camiones del transporte de carga (día) 151
4.6. Construcción de matrices de carga modo fluvial 152
4.6.1. Revisión de información primaria 152
4.6.2. Revisión de información secundaria 153
4.6.3. Análisis y comparación de información recopilada 153
5. MODELOS DE ELECCIÓN 159
5.1. Elección de ruta 160
5.2. Elección de modo 164
6. ARQUITECTURA DEL PROCESO DE MODELACIÓN 172
6.1. Modelo de Automóviles 172
6.2. Modelo de transporte público 173

6.3. -Modelo de transporte de carga 174
6.4. Script de asignación de automóviles y transporte público 178
6.5. Script de asignación de transporte de carga....179
6.5.1. Script “modelo PIT.py” 179
6.5.2. Script “comercio_internacional.py” 179
6.5.3. Script “comercio nacional.py” 187
6.5.4. Script “suma_comex.py” 194
6.5.5. Script “suma_domes.py”....194
6.5.6. Script “vacios_totales.py”....194
7. CALIBRACIÓN 196
7.1. Definición de indicadores de calibración del modelo de transporte 196
7.2. Calibración de vehículos privados....200
7.3. Calibración de transporte público carretero 204
7.4. Validación de la asignación....208
7.5. Calibración de transporte de carga 215
7.5.1. Calibración de segmentos de carga de comercio exterior....216
7.5.2. Calibración de camiones y ajuste de segmentos de carga doméstica 235
7.5.3. Representación en el modelo de los volúmenes de control de camiones en ZPP 247
7.5.4. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modos férreo – fluvial 252
7.6. Comparación matrices semilla con matrices calibradas 279

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes de carga doméstica PMTI 2019 22
Tabla 2. Estadísticos de calibración carga doméstica PMTI 2019 22
Tabla 3. Resultado de asignación segmentos de carga doméstica 2019 23
Tabla 4. Viajes por tipo de vehículos de camiones 2019 25
Tabla 5. Asignación por tipo de vehículos de camiones 2019 25
Tabla 6. Demanda calibrada de transporte público 2019 27
Tabla 7. Demanda calibrada comercio exterior 2019 28
Tabla 8. Demanda calibrada comercio exterior 2019 29
Tabla 9. Comparación elementos de red modelos 2019 y 2022 31
Tabla 10. Comparación de red modelos 2019 y 2022 32
Tabla 11. Comparación elementos de red modelos 2019 y 2022 38
Tabla 12. Segmentos de carga en el modelo de partida PMTI 2019 39
Tabla 13. Segmentos de carga propuestos para el modelo de demanda 2022 40
Tabla 14. Cantidad de ZAT por departamento 44
Tabla 15. Conectividad con la red carretera 47
Tabla 16. Conectividad con la red fluvial 48
Tabla 17. Conectividad con la red férrea 49
Tabla 18. Conectividad con las zonas portuarias 50
Tabla 19. Toma de información de velocidades 56
Tabla 20. Tipología de vía según pendiente y estado del pavimento 58
Tabla 21. Tipo de vehículo según categoría de cobro 59
Tabla 22. Factores de ajuste a velocidad para vehículos de carga 61
Tabla 23. Costos de operación vehicular para transporte carretero COPkm) 62
Tabla 24. Fletes para terreno ondulado, pavimento regular (COP/Ton/km) 65
Tabla 25. Consumo por combustible SICE-TAC por tipo de terreno 65
Tabla 26. Tasa de fletes del año 2024 al año 2022 67
Tabla 27. Flete carretero por tipología vehicular (COP/Ton/km) 67
Tabla 28. Factor de flete carretero por segmento de carga 68
Tabla 29. Longitud de los tramos férreos 72
Tabla 30. Costos de movilización de carga en modo férreo para el año 2022 72
Tabla 31. Velocidades de operación en corredores férreos 73
Tabla 32. Longitud de los enlaces fluviales 74
Tabla 33. Ríos regiones Amazónica y Orinoquía 75
Tabla 34. Ríos regiones Pacífico y Caribe 75
Tabla 35. Costos de transporte en ríos 76
Tabla 36. Velocidades en corredores fluviales 77
Tabla 37. Puertos Superintendencia de Transporte. 80
Tabla 38. Entrevistas a inspectores fluviales. 83
Tabla 39. Puertos fluviales 87
Tabla 40. Información de oleoductos 89
Tabla 41. Información de poliductos 90
Tabla 42. Puertos Marítimos 94
Tabla 43. Segmento de carga en los puertos marítimos 95

Tabla 44. Tiempos de despacho de importación 96
Tabla 45. Tiempos de despacho de exportación 96
Tabla 46. Tiempo de importación en zona portuaria (h) 96
Tabla 47. Tiempos de cumplimiento fronterizo y documental exportación (h) 97
Tabla 48. Costos de cumplimiento fronterizo y documental importación (COP/ton) 97
Tabla 49. Costos de cumplimiento fronterizo y documental exportación ($/ton) 98
Tabla 50.Hinterlands 100
Tabla 51. Tiempos de transferencia en estaciones férreas 103
Tabla 52. Costos de transferencia en estaciones férreas 103
Tabla 53. Indicadores de representatividad de la tarifa kilométrica TP carretero 112
Tabla 54. Carga total reportada en el RNDC por segmento y tipo de vehículo (Ton/año) 117
Tabla 55. Ocupación media vehicular para carga doméstica 118
Tabla 56. Ocupación media vehicular para carga doméstica 118
Tabla 57. Carga total expandida 120
Tabla 58. Información de factores de ZPP por departamento 122
Tabla 59. Carga total ajustando los pares OD con origen en ZPP 123
Tabla 60. Carga total ajustada por tipo doméstica 125
Tabla 61. Carga total ajustada por adición de demanda de campo y eliminación de dobles conteos 127
Tabla 62. Carga total por segmento y tipo de vehículo (Ton/año) 127
Tabla 63. Volúmenes de control del comercio exterior terrestre 2022 (Ton/año) 128
Tabla 64. Valores semilla obtenidos para la carga doméstica 129
Tabla 65. Carga total con origen en ZPP 129
Tabla 66. Cargas máximas resolución 1782 de 2009 131
Tabla 67. Datos de cargas históricas en rutas de COMEX 132
Tabla 68. Carga normalizada PMTI 2019 por tipo de vehículo 132
Tabla 69. Factor de carga COMEX 133
Tabla 70. Registros asociados a importación o exportación PMTI 2019 134
Tabla 71. Totales de matrices cautivas (Ton/año) 135
Tabla 72. Carga PMTI 2019 ajustada 136
Tabla 73. Recuento bases de datos COMEX PMTI 2019 137
Tabla 74. Recuento bases de datos COMEX PMTI 2019 141
Tabla 75. Factores demanda cautiva COMEX 2022 142
Tabla 76. Totales de matrices cautivas 2022(Ton/año) 143
Tabla 77. Valores totales por segmento COMEX 2022(Ton/año) 144
Tabla 78. Volúmenes de control COMEX Contenedores refrigerados 2022 146
Tabla 79. Volúmenes de control COMEX Contenedores No refrigerados 2022 146
Tabla 80. Volúmenes de control COMEX Hidrocarburos 2022 147
Tabla 81. Volúmenes de control COMEX Carbón metalúrgico y coque 2022 147
Tabla 82. Volúmenes de control COMEX Granel Líquido 2022 147
Tabla 83. Volúmenes de control COMEX Granel Sólido 2022 148
Tabla 84. Volúmenes de control COMEX Carga general 2022 148
Tabla 85. Volúmenes de control Carbón térmico 2022 149

Tabla 86. Demanda cautivas año base 2022 150
Tabla 87. Asignación segmentos de carga fluvial 154
Tabla 88. Total carga ríos segmentada, toneladas 2022. 156
Tabla 89. Total carga de ríos COMEX, toneladas 2022. 158
Tabla 90. Niveles atributos situaciones de elección PD ruta carretero 161
Tabla 91. Resultados estimación modelo elección de ruta 163
Tabla 92. Valores del tiempo por tipología vehicular modo carretero 164
Tabla 93. Niveles atributos situaciones de elección PD generadores.....165
Tabla 94. Resultados estimación del modelo elección de modo según modelo preliminar de validación.....166
Tabla 95. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo según modelo preliminar de validación.....167
Tabla 96. Resultados estimación del modelo elección de modo.....168
Tabla 97. Criterios de selección variables modelo de elección.....169
Tabla 98. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo segmentos ZPP 169
Tabla 99. Resultados estimaciones modelo elección de modo para segmentos COMEX 170
Tabla 100. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo segmentación COMEX.....171
Tabla 101. Valores GEH esperados para modelo calibrado 199
Tabla 102. Validación de tiempos de viaje 210
Tabla 103. Proporciones modeladas y observadas de cnr desde América Central a Bogotá 216
Tabla 104. Constantes estimadas y proporciones modeladas de cnr desde América Central a Bogotá 217
Tabla 105. Información de calibración para carga general.....218
Tabla 106. Información de calibración para contenedores no refrigerados.....219
Tabla 107. Información de calibración para modos fluvial y férreo 220
Tabla 108. Información de calibración para contenedores refrigerados.....222
Tabla 109. Información fluvial para contenedores refrigerados.....223
Tabla 110. Información de calibración para carbón metalúrgico y coque 224
Tabla 111. Información fluvial para la zona de Barranquilla carbón metalúrgico y coque225
Tabla 112. Información de calibración para carbón térmico.....226
Tabla 113. Información fluvial y férrea para carbón térmico.....227
Tabla 114. Información de calibración para granel líquido.....228
Tabla 115. Información de calibración para granel sólido 229
Tabla 116. Información de calibración para hidrocarburos crudos.....230
Tabla 117. Información de oleoducto de Cartagena para hidrocarburos crudos.....231
Tabla 118. Información de calibración para hidrocarburos refinados.....233
Tabla 119. Información fluvial y poliductos para los hidrocarburos refinados 233
Tabla 120. Calibración fluvial alimentos agro 252
Tabla 121. Calibración fluvial alimentos procesados.....254
Tabla 122. Calibración fluvial animales vivos 256

Tabla 123. Calibración fluvial bebidas con y sin alcohol 258
Tabla 124. Calibración fluvial y férreo combustibles 260
Tabla 125. Calibración fluvial grasas y aceites.....262
Tabla 126. Calibración fluvial hidrocarburos.....264
Tabla 127. Calibración fluvial maderas.....267
Tabla 128. Calibración fluvial minerales.....269
Tabla 129. Calibración fluvial otros.....271
Tabla 130. Calibración fluvial papel y cartón.....273
Tabla 131. Calibración fluvial producción industrial.....275
Tabla 132. Calibración fluvial y férreo materiales de construcción.....277
Tabla 133. Comparación total matrices semilla vs calibradas.....279
Tabla 134. Comparación total matrices semilla vs calibradas para las ZPP 280
Tabla 135. Comparación total matrices semilla vs calibradas para comercio exterior 280

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de actualización del Plan Maestro de Transporte 19
Figura 2. Puntos de calibración carga doméstica 2019 21
Figura 3. Puntos de calibración automóviles 2019 26
Figura 4. Asignación de automóviles 2019 27
Figura 5. Puntos de calibración transporte público 2019 28
Figura 6. Proyectos futuros (modelo 2019) 31
Figura 7. Comparación Red vial carretera 33
Figura 8. Comparación Red vial carretera 34
Figura 9. Comparación Red fluvial 34
Figura 10. Comparación Red férrea 35
Figura 11. Comparación Red de oleoductos 36
Figura 12. Comparación Red de poliductos 36
Figura 13. Comparación Rutas de transporte público 37
Figura 14. Zonificación 42
Figura 15. Zonas Hinterland 43
Figura 16. Zona de Belén de Bajirá 44
Figura 17. Red de conectores 46
Figura 18. Red general del modelo de oferta 52
Figura 19. Detalle red general del modelo de oferta 53
Figura 20. Red carretera modelo de oferta condición base 54
Figura 21. Detalle red carretera del modelo de oferta 55
Figura 22. Tomas de velocidades en aplicaciones 56
Figura 23. Caracterización velocidades carreteras condición base 57
Figura 24. Tipología de vía 58
Figura 25. Peajes en la red 60
Figura 26. Frecuencia acumulada factor de flete por par OD C6M 70
Figura 27. Frecuencia acumulada factor de flete por par OD C2G 70
Figura 28. Corredores férreos condición base 71
Figura 29. Red fluvial 73
Figura 30. Corredores fluviales 76
Figura 31. Puertos Superintendencia de Transporte y ZPP 81
Figura 32. Puertos Superintendencia de Transporte y consolidado de Zarpes 82
Figura 33. Puertos Superintendencia de Transporte, consolidado de Zarpes, inspecciones fluviales, PATIS y trabajo de campo. 84
Figura 34. Puertos ZPP 85
Figura 35. Puertos fluviales considerados en el modelo 86
Figura 36. Principales ductos del modelo de oferta condición base 88
Figura 37. Situación actual oferta de poliductos 92
Figura 38. Situación actual oferta de Oleoductos 93
Figura 39. Representación de zonas portuarias en el modelo de transporte 98
Figura 40. Red de rutas marítimas en el modelo de oferta condición base 99
Figura 41. Estaciones de transferencia férrea condición base 101
Figura 42. Visualización de detalle, corredor férreo central 102

Figura 43. Estaciones de transferencia fluvial condición base 104
Figura 44. Visualización de detalle, río Magdalena 105
Figura 45. Arcos de conexión intermodal a zonas portuarias condición base.....106
Figura 46. Detalle arcos de conexión a zonas portuarias.....107
Figura 47. Rutas de transporte público.....108
Figura 48. Histograma de frecuencia de intervalos de paso en rutas TP carreteras.....109
Figura 49. Visualización espacial de los intervalos de paso por ruta 109
Figura 50. Relación tarifa vs longitud del trayecto TP carretero 111
Figura 51. Comportamiento de tarifa kilométrica TP carretero 112
Figura 52. Mediciones de tiempo de viaje de transporte privado y público carretero.....114
Figura 53. Proceso de construcción de matrices de carga doméstica 116
Figura 54. Porcentaje de participación por tipología vehicular 119
Figura 55. Histograma de factor ZPP 122
Figura 56. Histograma de los factores utilizados en la participación de carga doméstica125
Figura 57. Porcentaje de participación por tipología vehicular para la matriz semilla 130
Figura 58. Proceso de construcción de matrices carga de comercio exterior 131
Figura 59. Factor de ajuste COMEX 2019-2022 139
Figura 60. Participación de carga COMEX 2022.....144
Figura 61. Participación de carga COMEX cautiva 2022 145
Figura 62. Participación de carga COMEX No cautiva 2022.....145
Figura 63. Construcción de matrices de carga modo fluvial.....152
Figura 64. Asignación de carga en ríos de ZPP 157
Figura 65. Distribución de muestra PD ruta por tipología y porcentaje de escogencia de cada alternativa 162
Figura 66. Distribución de muestra PD generadores por distancia de viajes 166
Figura 67. Diagrama de flujo de automóviles 172
Figura 68. Diagrama de flujo del transporte público 173
Figura 69.Flujograma de asignación de transporte de carga doméstica.....176
Figura 70.Flujograma de asignación de transporte de carga de comercio internacional .177
Figura 71. Proceso general del script de carga para el modelo. 196
Figura 72. Desviación relativa aceptable según flujos observados para GEH 199
Figura 73. Arcos con volúmenes de calibración autos 200
Figura 74. Indicador de GEH para vehículo privado.....201
Figura 75. Dispersión en los puntos de control autos.....201
Figura 76. Indicador de GEH para vehículo privado.....202
Figura 77. Asignación autos regiones ZPP 203
Figura 78. Arcos con volúmenes de calibración del transporte público.....204
Figura 79. Indicador de GEH para transporte público carretero.....205
Figura 80. Dispersión en los puntos de control TP.....205
Figura 81. Asignación transporte público 206
Figura 82. Asignación transporte público en ZPP 207
Figura 83. Comparación tiempos de viaje Montería – Neiva.....208
Figura 84. Comparación tiempos de viaje Medellín - Pasto 209
Figura 85. Comparación tiempos de viaje Medellín - Pasto 210

Figura 86. Dispersión de tiempos de viaje....215
Figura 87. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carga general 218
Figura 88. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados contenedores no refrigerados....219
Figura 89. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modos férreo-fluvial cnrco....221
Figura 90. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados contendores refrigerados....222
Figura 91. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modo fluvial crco 223
Figura 92. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carbón metalúrgico y coque....224
Figura 93. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modo fluvial cmco 225
Figura 94. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carbón térmico 226
Figura 95. Asignación del segmento carbón térmico por el río Magdalena....227
Figura 96. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados granel líquido 228
Figura 97. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados granel sólido 229
Figura 98. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados hidrocarburos crudos....230
Figura 99. Asignación del oleoducto de Cartagena....232
Figura 100. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados hidrocarburos refinados....232
Figura 101. Asignación de hidrocarburos refinados para la alternativa fluvial 234
Figura 102. asignación de hidrocarburos refinados para la alternativa poliductos....235
Figura 103. Indicador de GEH para C2P....237
Figura 104. Dispersión en los puntos de control C2P 237
Figura 105. Diagrama de asignación C2G 238
Figura 106. Indicador de GEH para C2G 239
Figura 107. Dispersión en los puntos de control C2G 239
Figura 108. Diagrama de asignación C2G 240
Figura 109. Indicador de GEH para C34 241
Figura 110. Dispersión en los puntos de control C34....241
Figura 111. Diagrama de asignación C34 242
Figura 112. Indicador de GEH para C5 243
Figura 113. Dispersión en los puntos de control C5....243
Figura 114. Diagrama de asignación C5 244
Figura 115. Indicador de GEH para C6M 245
Figura 116. Dispersión en los puntos de control C6M....245
Figura 117. Diagrama de asignación C6M 246

Figura 118. Indicador de GEH para C2P en ZPP 247
Figura 119. Dispersión en los puntos de control C2P en ZPP 247
Figura 120. Indicador de GEH para C2G en ZPP 248
Figura 121. Dispersión en los puntos de control C2G en ZPP 248
Figura 122. Indicador de GEH para C34 en ZPP 249
Figura 123. Dispersión en los puntos de control C34 en ZPP 249
Figura 124. Indicador de GEH para C5 en ZPP 250
Figura 125. Dispersión en los puntos de control C5 en ZPP 250
Figura 126. Indicador de GEH para C6M en ZPP 251
Figura 127. Dispersión en los puntos de control C6M en ZPP 251
Figura 128. Dispersión en los puntos de control fluvial alimentos agro 253
Figura 129. Asignación fluvial alimentos agro 254
Figura 130. Dispersión en los puntos de control fluvial alimentos procesados 255
Figura 131. Asignación fluvial alimentos procesados 256
Figura 132. Dispersión en los puntos de control fluvial animales vivos 257
Figura 133. Asignación fluvial animales vivos 258
Figura 134. Dispersión en los puntos de control fluvial bebidas con y sin alcohol 259
Figura 135. Asignación fluvial bebidas con y sin alcohol 260
Figura 136. Dispersión en los puntos de control fluvial y férreo combustibles 261
Figura 137. Asignación fluvial y férreo combustibles 262
Figura 138. Dispersión en los puntos de control fluvial grasas y aceites 263
Figura 139. Asignación fluvial grasas y aceites 264
Figura 140. Dispersión en los puntos de control fluvial hidrocarburos 265
Figura 141. Asignación fluvial hidrocarburos 266
Figura 142. Dispersión en los puntos de control fluvial maderas 267
Figura 143. Asignación fluvial maderas 268
Figura 144. Dispersión en los puntos de control fluvial minerales 269
Figura 145. Asignación fluvial minerales 270
Figura 146. Dispersión en los puntos de control fluvial otros 271
Figura 147. Asignación fluvial otros 272
Figura 148. Dispersión en los puntos de control fluvial papel y cartón 273
Figura 149. Asignación fluvial papel y cartón 274
Figura 150. Dispersión en los puntos de control fluvial producción industrial 275
Figura 151. Asignación fluvial producción industrial 276
Figura 152. Dispersión en los puntos de control fluvial y férreo materiales de construcción 277
Figura 153. Asignación fluvial y férreo materiales de construcción 278

LISTA DE ANEXOS

Anexo 01. Ajustes de zonificación

Anexo 02. Diccionario_ZATs Anexo 03. Consolidado toma de velocidades.

Anexo 04. Flete carretero_origen destino rutas_SICETAC Anexo 05. Base actualización_costos fijos 2022-2024 _costos variables Anexo 06. Ajuste_fletes_C6M_Comex

Anexo 07. Ajuste_fletes_C6M_Doméstica.

Anexo 08. Ajuste_fletes_C2G_Doméstica

Anexo 09. Caracteristícas rutas de servicio publico

Anexo 10. Cálculo_tarifa_kilometrica_TP_Carretero

Anexo 11. Correspondencia_tipologias_vehiculares

Anexo 12. Consolidado de información de demanda DOMES

Anexo 13. Consolidado de información de demanda COMEX

Anexo 14. Matrices_Semilla_Demanda

Anexo 15. Mapas de generación y atracción

Anexo 16. Diccionario del Modelo

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	CORRESPONDENCIA
ANI	Agencia Nacional de Infraestructura
COMEX	Comercio exterior
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
ECOPETROL	Empresa Colombiana de Petróleos
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
IPC	Índice de Precios al Consumidor
ND	No definido
PATIS	Plan Amazónico de Transporte Intermodal
PMF	Plan Maestro Fluvial
PMTI	Plan Maestro de Transporte Intermodal
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RNDC	Registro Nacional de Despachos de Carga
RNF	Registro Nacional Fluvial
SICE-TAC	Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga
ZAT	Zona de Análisis de Transporte
ZP	Zona Portuaria
ZPP	Zonas de Potencial Productivo

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento técnico hace parte del desarrollo de la etapa 4 donde se realiza el análisis, procesamiento y construcción de modelos. Esto se realiza mediante la revisión de información primaria referente a encuestas realizadas a generadores de carga en las Zonas de Potencial Productivo (ZPP), encuestas origen y destino de interceptación (EODI) realizadas a transportistas tanto del modo carretero como del modo fluvial. Así mismo a partir de información secundaria como bases de registros de despachos de carga, estadísticas, boletines, Resoluciones entre otras. Lo anterior en el marco de la consultoría que tiene como objeto “Realizar un estudio de demanda de transporte mediante la recopilación de información primaria, que permita complementar el modelo de transporte como herramienta para la formulación del Plan de Infraestructura de Transporte”.

Este documento se estructura en seis capítulos que presentan de manera detallada cada uno de los insumos y procesos que se realizaron para configurar el modelo de transporte. En el primer capítulo se presentan los procesos de actualización y ajuste de las variables consideradas en el modelo de transporte. Para este estudio se tiene como punto de partida el modelo desarrollado en la consultoría “Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del Plan Maestro de Transporte Intermodal” en el marco del contrato DNP-802-2020 (PMTI,2019). En este sentido, en este capítulo se realiza una descripción de la configuración inicial y la actualización del modelo en términos de oferta de transporte, segmentos de demanda, zonificación y conectividad. Adicionalmente se muestran algunos ejemplos donde se evidencian las modificaciones o adiciones realizadas en términos de conectividad.

En el segundo capítulo se realiza la caracterización de la oferta intermodal considerada en el presente estudio, que tiene como base el año 2022. En la caracterización se describen las variables identificadas mediante la recolección de información primaria e información secundaria para los diferentes modos, dentro de estas se tienen, velocidades de operación, tiempos de viajes, costos de operación, plazas de cobro de peaje para el modo carretero entre otros. Así mismo se muestra la parametrización en función de las variables requeridas para la modelación del transporte.

En el tercer capítulo se presenta el proceso para la definición de la demanda base o matrices semilla para cada uno de modos de transporte (carretero, fluvio-marítimo y férreo) para cada uno de los segmentos de carga dependiendo de la vocación doméstica o de comercio exterior. Así mismo, se explica la metodología utilizada para la consolidación de las bases de datos tanto de información primaria como de información secundaria, los factores de ajustes utilizados y los resultados de este proceso.

Siguiendo esta línea y con el propósito de tener un modelo que permita estimar las probabilidades de escogencia de los corredores en función de las características propias de los segmentos de carga, en el cuarto capitulo se presentan los modelos de elección discreta, la formulación y el insumo principal que corresponde a las Encuestas de Preferencias Declaradas, cuyo objetivo consiste en estimar parámetros decisivos en

proceso de asignación y elección de ruta, como lo es el valor del tiempo de viaje (VOT por sus siglas en inglés).

En el quinto capítulo se describen los procesos para la configuración de los modelos de transporte en la herramienta de modelación EMME, para los vehículos privados (automóviles y camiones), carga y transporte público.

Finalmente, en el sexto capítulo se describe el proceso de asignación y calibración de las distintas tipologías vehiculares, así como para los segmentos definidos para la carga doméstica y de comercio exterior. De igual manera se presenta la asignación y calibración del transporte público. Adicionalmente, se presentan los parámetros utilizados en la asignación, los criterios de calibración y datos de validación de los procesos.

1.1. Objetivo general

Brindar una descripción detallada del proceso de actualización del modelo de transporte mediante la incorporación de información primaria y secundaria para posteriormente realizar los análisis de los productos y movimientos que se dan a través de la zona asociada a los proyectos en los diferentes modos y los desarrollos intermodales identificados.

1.2. Objetivos específicos

Actualizar y caracterizar la oferta intermodal en el modelo de transporte entregado al consultor

Representar en el modelo de transporte las variables más relevantes empleadas en los modelos de elección como son los tiempos, costos, transferencias entre otros.

Construir un modelo que permitan estimar las probabilidades de escogencia de los corredores definidos en función de las características propias de los segmentos de carga y de lo atractivas que resulta las alternativas de transporte (corredores) propuestas, en comparación con cada una de las alternativas disponibles.

Definir los movimientos de carga (volumen y/o toneladas) a través de la consolidación de las bases de datos obtenidas mediante la recolección de información primaria que se realizan dentro de la zona del proyecto complementado con información secundaria, para su incorporación en el modelo de transporte.

Evaluar el comportamiento de la generación y atracción de los diferentes segmentos de demanda, asociados a nivel municipal y zonas portuarias, considerando la vocación de carga doméstica y de comercio exterior.

2. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE PARTIDA PMTI 2019

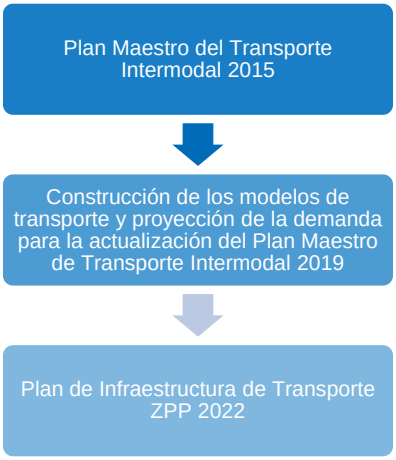
En este capítulo se realiza una descripción detallada de los elementos y variables que se consideraron en el modelo de partida que corresponde al desarrollado en la consultoría "Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del Plan Maestro de Transporte Intermodal" en el marco del contrato DNP-802-2020. De igual manera, se presentan los resultados en términos de asignación para cada segmento y se describe el proceso de actualización.

2.1. Descripción del modelo de partida

El modelo de partida PMTI 2019 corresponde al producto generado para la actualización del Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) del año 2015, realizado bajo la premisa de gestionar una planificación integral y estructural para lograr una intermodalidad eficiente y un país más competitivo a través de la inversión sustentada en el transporte de carga y transporte de pasajeros.

De manera gráfica, la siguiente imagen muestra el proceso seguido desde el año 2015 cuando se formuló el Plan Maestro de Transporte Intermodal, continuando con la construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte del año 2019, que a su vez son el punto de partida para la complementación del modelo de transporte como herramienta para la formulación del plan de infraestructura de transporte y que es el producto de este estudio.

Figura 1. Proceso de actualización del Plan Maestro de Transporte



Fuente: Elaboración propia

El Plan Maestro de Transporte Intermodal de Colombia es un documento de gestión, finalizado y publicado en el año 2015, con la intención de "organizar en forma eficiente y estratégica el crecimiento del país, a través de una red de infraestructura que logre conectar a las ciudades, las regiones, las fronteras y los puertos, priorizando los proyectos que mayor impacto tendrán para la economía nacional" , y cuyos principales objetivos son: 1. Impulsar el comercio exterior, reduciendo los costos generalizados de transporte en los corredores y

transversales existentes y venideros, y en los accesos a las grandes ciudades; 2. Impulsar el desarrollo regional, mejorando la calidad y accesibilidad de las regiones (menor tiempo de llegada a capitales, corredores y transversales); 3. Integrar el territorio, aumentando la presencia del Estado, para que se reduzca el espacio de actividades ilegales y se acerque a ciudadanos y regiones a los mercados principales y los centros de servicio.

En cumplimiento de los objetivos anteriormente expuestos, el PMTI se estructuró bajo dos módulos. El primero abarca las necesidades de infraestructura, y su objetivo se centra en mejorar los niveles de servicios de una Red Básica Intermodal con capacidad para conectar las aglomeraciones más relevantes del Sistema de Ciudades con el comercio exterior, permitiendo la expansión de la red de transporte en regiones aisladas del país por medio de iniciativas institucionales y de financiación de largo plazo. El segundo se concentra en el desarrollo de políticas públicas, el fortalecimiento de la movilidad urbana, la gerencia logística de corredores nacionales, conformación de un sistema de gestión de activos en las redes regionales y la financiación de modos alternos. La correcta implementación de ambos módulos buscaba elevar la posición de Colombia en la economía global, proyectando al país hacia un escenario adecuado para competir.

Para el año 2019 se realizó la Construcción de los Modelos de Transporte y Proyección de la Demanda para la Actualización del Plan Maestro de Transporte Intermodal para lograr herramientas efectivas de medición de la eficiencia en la inversión realizada en el sector de la infraestructura y para la simulación de escenarios orientados al desarrollo y consolidación regional por medio del sistema de transporte. Para completar el estudio se tuvo en cuenta la siguiente información: Ministerio de Transporte, 2019, Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC); Departamento Nacional de Planeación, 2020, Política Nacional Logística; Departamento Nacional de Planeación, 2017, Plan Nacional de Dragados; Departamento Nacional de Planeación, 2019, Estudio de demanda de transporte en el corredor del Río Magdalena y el Canal del Dique; Departamento Nacional de Planeación, 2020, Plan Maestro Ferroviario; Departamento Nacional de Planeación, 2019 Estudio de demanda, capacidad y eficiencia portuaria en Colombia; Departamento Nacional de Planeación, 2015, Plan Maestro Fluvial; Departamento Nacional de Planeación, 2015, Plan Maestro de Transporte Intermodal

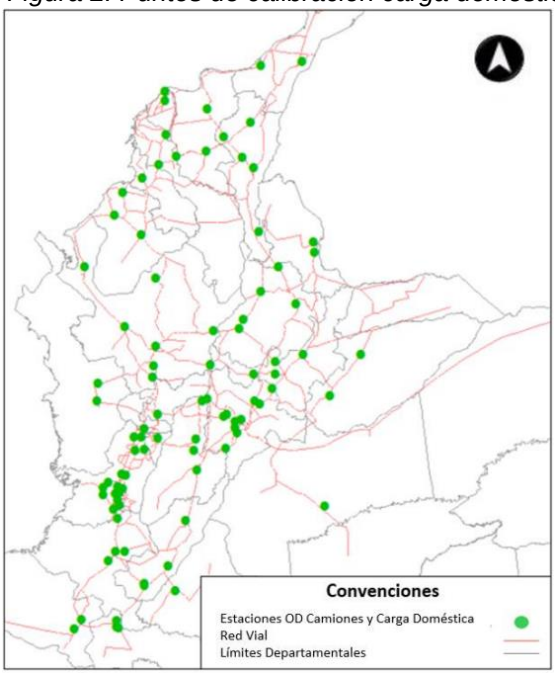
2.1.1. Calibración de los modelos de demanda 2019

Para el modelo de partida se realizó la calibración de 28 segmentos de demanda discriminados de la siguiente manera: 9 segmentos de comercio exterior, 13 segmentos de carga de flujo doméstico, 6 modelos vehiculares y un modelo de transporte público de pasajeros.

El proceso de calibración consistió en reproducir los volúmenes de carga, de vehículos y de pasajeros en puntos (estaciones de transporte público, puertos, peajes y red) donde se contó con información, así mismo se realizó un proceso de verificación de los tiempos y la elección congruente de las rutas por cada uno de los segmentos de demanda.

Para la calibración de los modelos de carga de flujo domestico que posteriormente se transformaron en unidades vehiculares de camiones se contó con información en 89 estaciones, su localización y distribución se aprecian en la siguiente figura.

Figura 2. Puntos de calibración carga doméstica 2019



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

En la siguiente tabla se relaciona el resultado del proceso de calibración de la carga de flujo doméstico por segmento en unidades de toneladas/año.

Tabla 1. Volúmenes de carga doméstica PMTI 2019

codModelo	Segmento	Demanda (Ton/año)
cnrdo	Contenedores No Refrigerados	3,797,441
crdo	Contenedores Refrigerados	12,678,357
gsdo	Granel Sólido	89,694,992
gldo	Granel Líquido	45,669,892
cgdo	Carga General	146,622,752
ctdo	Carbón Térmico	2,988,299
cmdo	Carbón Metalúrgico y coque	12,405,183
hcdo	Hidrocarburos Crudos	6,446,820
hrdo	Hidrocarburos Refinados	2,227,309
gdo	Gas	3,301,359
avdo	Animales y Víveres	121,270,976
codo	Correo	28,802
mcdo	Materiales de Construcción	24,054,096
Total	**Total**	**471,186,278**

Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

En la siguiente tabla se relacionan los estadísticos de validación del proceso de calibración de los segmentos de carga doméstica definidos para el PMTI 2019.

Tabla 2. Estadísticos de calibración carga doméstica PMTI 2019

Segmento	Coeficiente de determinación R^2	Error cuadrático medio RMSE
Contenedores No Refrigerados	0.987	16,005.85
Contenedores Refrigerados	0.985	19,787.48
Granel Sólido	0.974	159,972.21
Granel Líquido	0.979	58,806.74
Carga General	0.967	226,554.05
Carbón Térmico	0.987	13,450.98

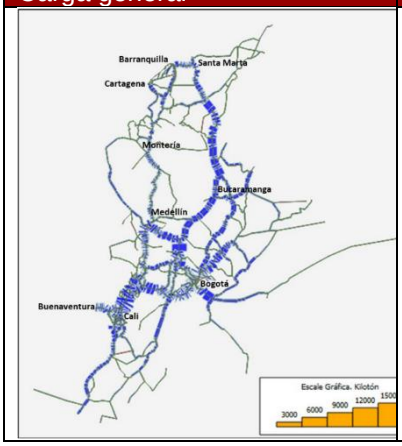
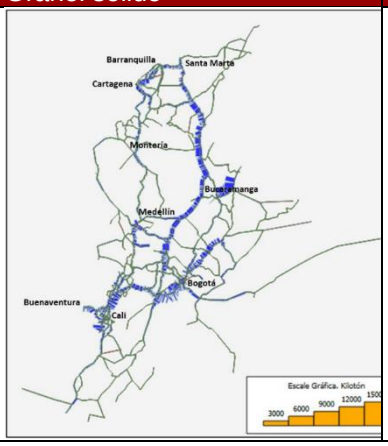
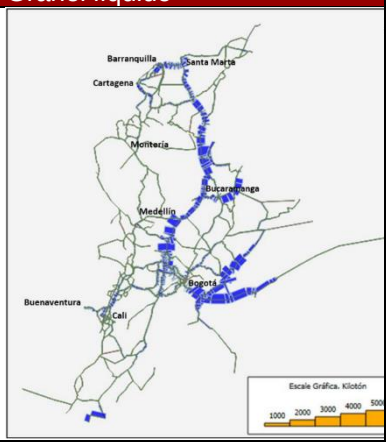
Segmento	Coeficiente de determinación R^2	Error cuadrático medio RMSE
Carbón Metalúrgico y coque	0.987	5,487.25
Hidrocarburos Crudos	0.981	27,047.35
Hidrocarburos Refinados	0.983	6,038.49
Gas	0.995	4,415.83
Animales y Víveres	0.974	257,032.27
Correo	0.927	211.38
Materiales de Construcción	0.991	40,179.35

Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

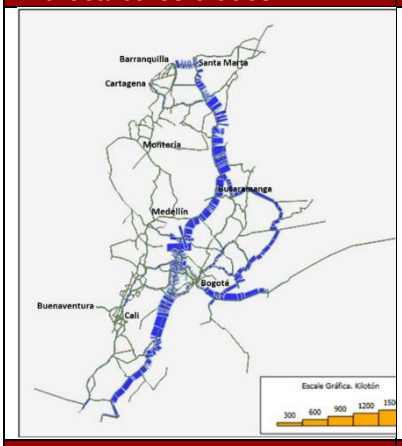
Las matrices calibradas de los segmentos de carga doméstica se asignaron en el modelo de transporte y los resultados se muestran en la siguiente tabla donde se resalta la importancia de los corredores logísticos que conectan las principales zonas portuarias.

.

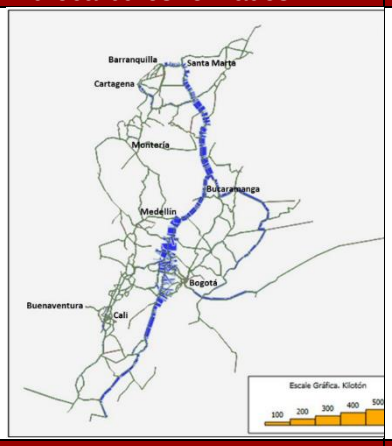
Tabla 3. Resultado de asignación segmentos de carga doméstica 2019

Carga general	Granel sólido	Granel líquido
		

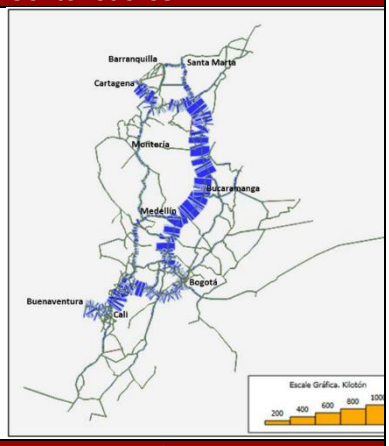
Hidrocarburos crudos



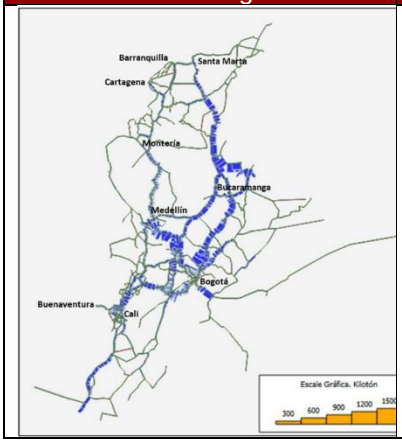
Hidrocarburos refinados



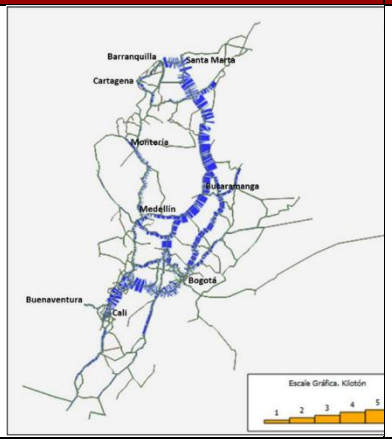
Contenedores



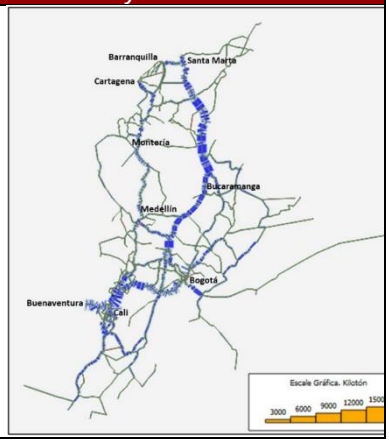
Contenedores refrigerados



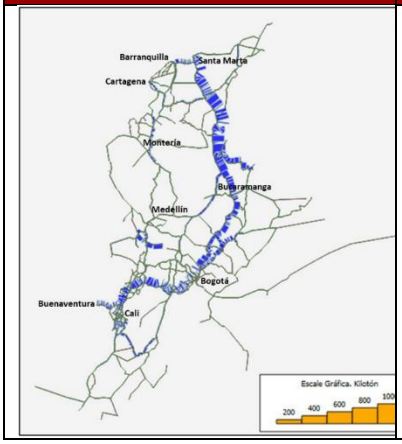
correo



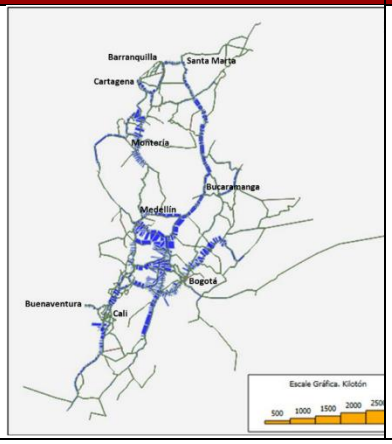
Animales y víveres



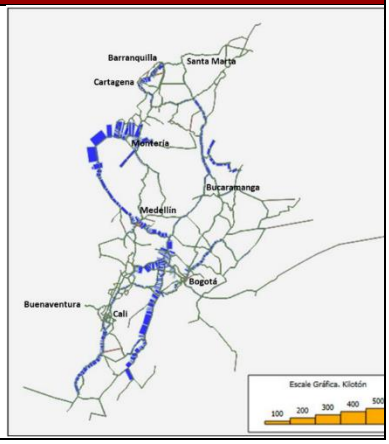
Carbón térmico



Materiales de construcción



Gas



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

Así mismo se realizó el proceso de transformación ajuste y validación de datos de segmentos de carga doméstica en toneladas anuales a camiones diarios. Los valores de las matrices calibradas de las diferentes tipologías de camiones se relacionan en la siguiente tabla.

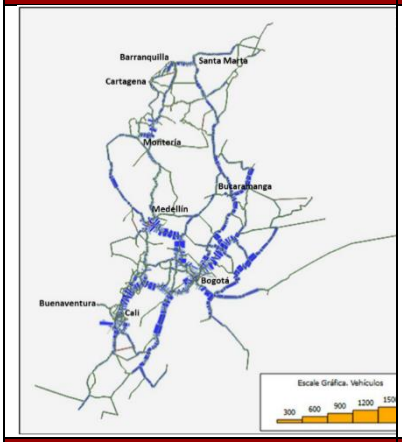
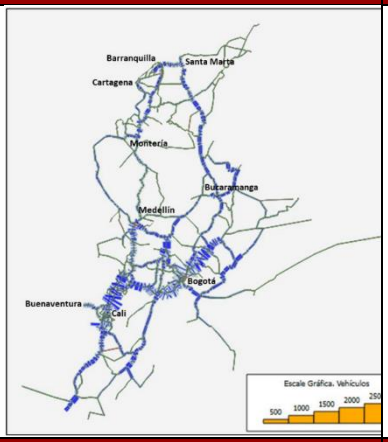
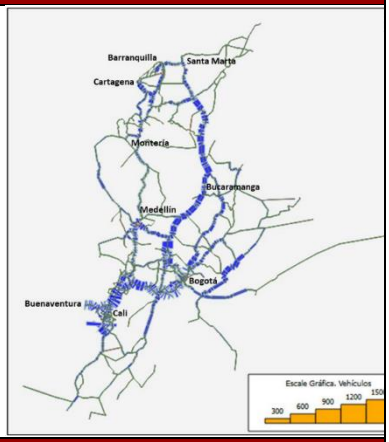
Tabla 4. Viajes por tipo de vehículos de camiones 2019

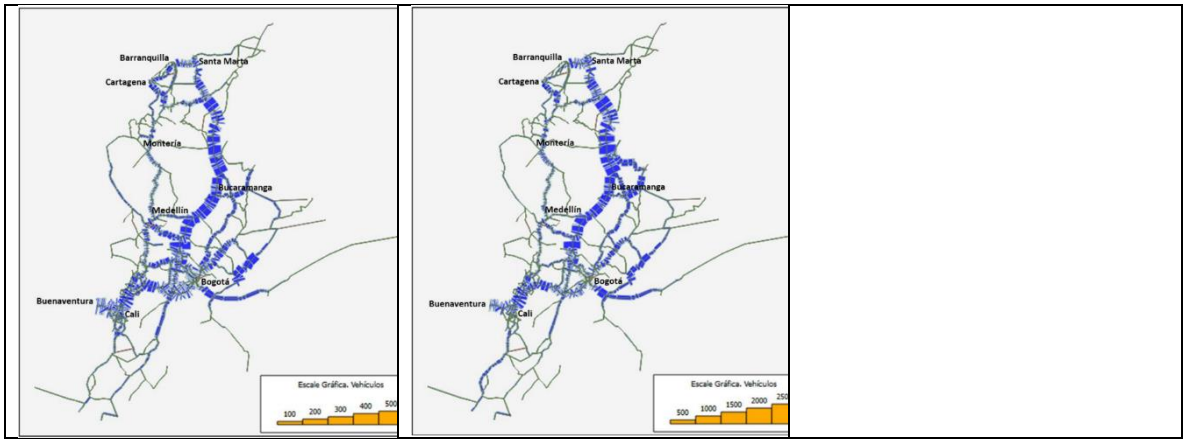
Tipo de vehículo	Viajes (Viajes/día)
C2P	31,060
C2G	33,251
C34	12,976
C5	8,311
C6M	20,287
Total	**105,886**

Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

Así mismo como con los segmentos de carga doméstica, en la siguiente tabla se muestran los resultados de la asignación de las tipologías de camiones.

Tabla 5. Asignación por tipo de vehículos de camiones 2019

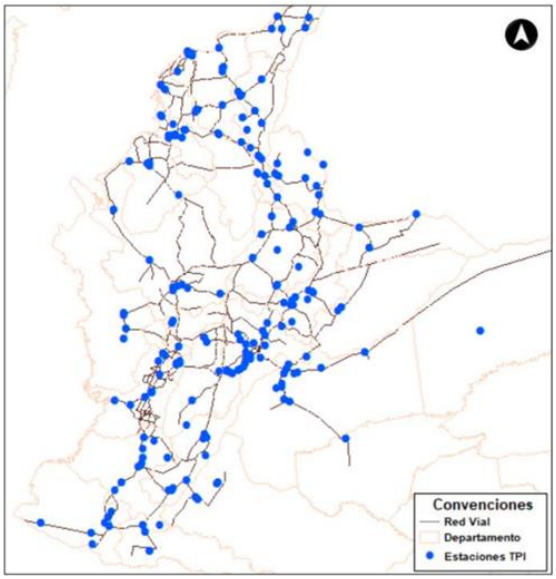
Camiones C2P	Camiones C2G	Camiones C34
		
Camiones C5	**Camiones C6M**	



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

El modelo de asignación de automóviles se realizó para un día promedio del año, partiendo del ajuste y calibración de matrices semilla obtenidas del proceso de combinación de las bases de datos de las encuestas de interceptación realizadas para el estudio y la matriz actualizada del Plan Maestro de Transporte Intermodal 2015 con datos recopilados en 58 estaciones de control. La siguiente figura muestra la localización y distribución de los puntos utilizados para efectuar la calibración de los automóviles en el año 2019.

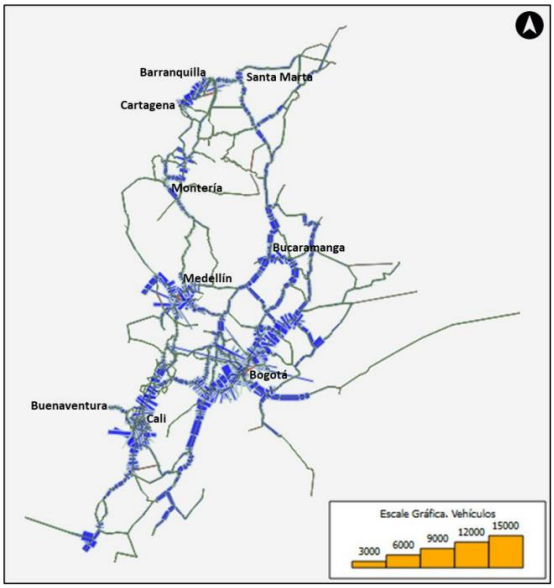
Figura 3. Puntos de calibración automóviles 2019



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

La siguiente figura ilustra la asignación de la matriz calibrada del segmento automóviles para el año base de modelación 2019.

Figura 4. Asignación de automóviles 2019



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

El modelo de pasajeros en transporte público intermunicipal fue realizado para un día promedio del año para dos categorías de demanda. La primera de ellas corresponde a usuarios que se transportan en autobuses pequeños y medianos, mientras que la otra categoría se refiere a los viajeros en autobuses grandes. La información utilizada para la conformación y calibración de matrices partió de estudios de frecuencia y ocupación visual e información secundaria del Ministerio de Transporte en 165 puntos distribuidos en el territorio nacional.

Los totales de las matrices calibradas para los segmentos de transporte público de pasajeros se muestran en la siguiente tabla:

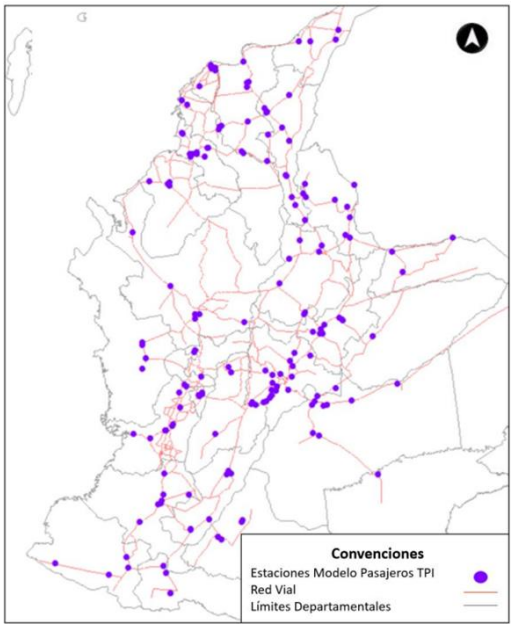
Tabla 6. Demanda calibrada de transporte público 2019

Descripción	Demanda (Pax/día)
Buses pequeños y medianos	173,734
Buses grandes	128,292

Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

La siguiente figura muestra la localización y distribución de los puntos utilizados para efectuar la calibración del transporte público en el año 2019.

Figura 5. Puntos de calibración transporte público 2019



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

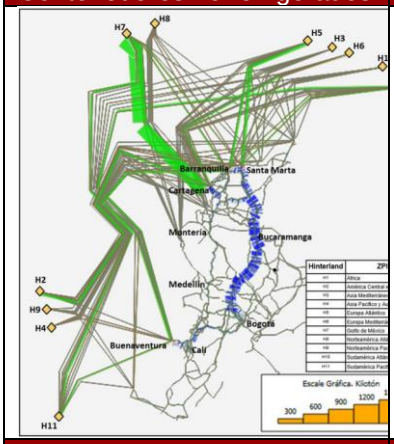
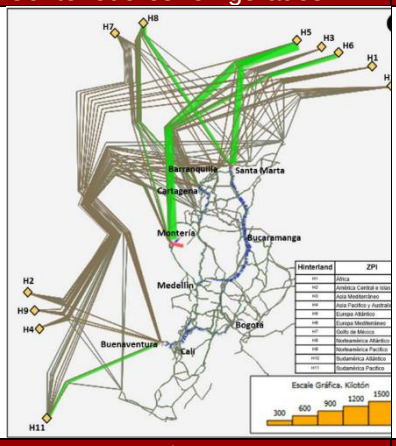
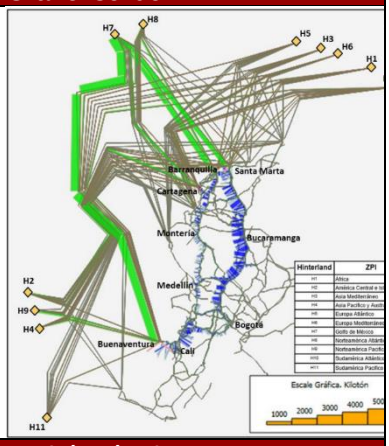
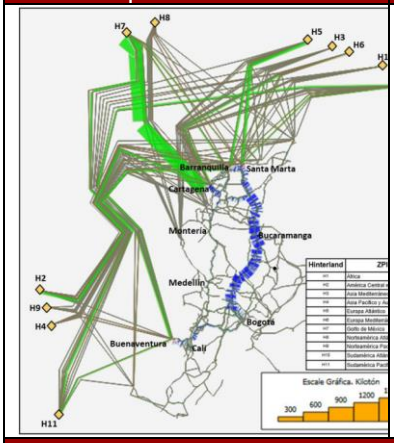
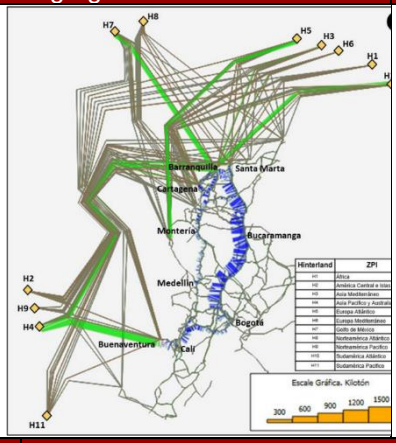
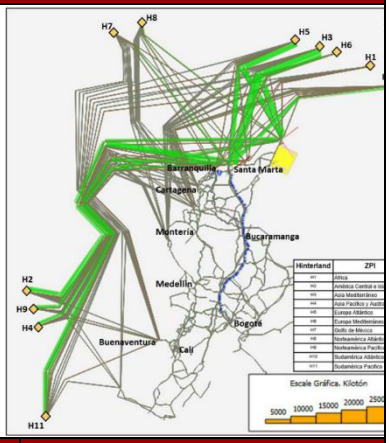
Los modelos de comercio de carga exterior se realizaron para 9 segmentos de carga, los valores totales de las matrices se relacionan en la siguiente tabla.

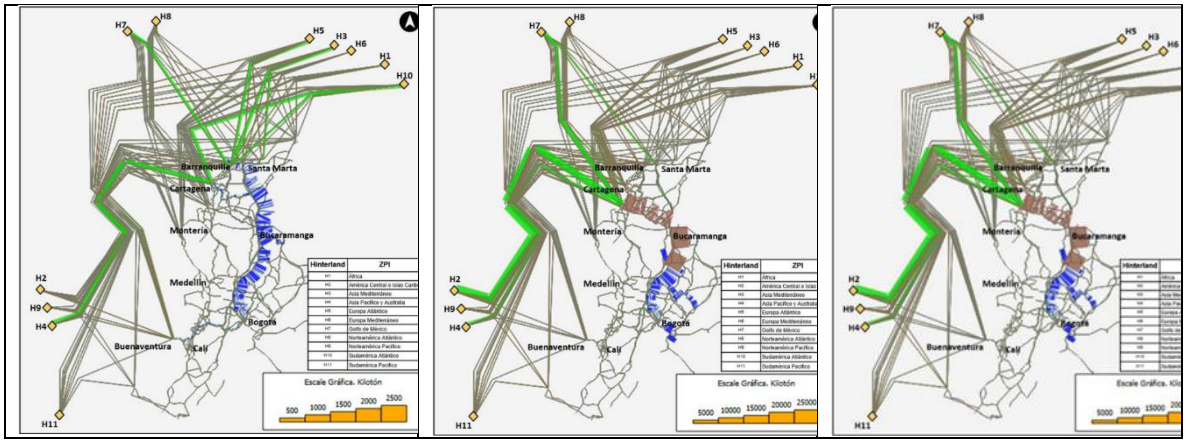
Tabla 7. Demanda calibrada comercio exterior 2019

codModelo	Segmento	Distribución	Volumen de carga ajustado (Ton/año)
cnrco	Contenedores No Refrigerados	Comex	15,462,380
crco	Contenedores Refrigerados	Comex	1,350,841
gsco	Granel Sólido	Comex	14,579,743
glco	Granel Líquido	Comex	2,832,608
cgco	Carga General	Comex	3,688,712
ctco	Carbón Térmico	Comex	9,731,632
cmco	Carbón Metalúrgico y coque	Comex	3,778,756
hcco	Hidrocarburos Crudos	Comex	266,149
hrco	Hidrocarburos Refinados	Comex	6,554,950

Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

Tabla 8. Demanda calibrada comercio exterior 2019

Contenedores no refrigerados	Contenedores refrigerados	Granel sólido
		
Granel líquido	**Carga general**	**Carbón térmico**
		
Carbón Metalúrgico y coque	**Hidrocarburos Crudos**	**Hidrocarburos Refinados**



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

A partir de la calibración efectuada de los diferentes segmentos de carga doméstica, comercio exterior, tipologías vehiculares y pasajeros de transporte público, se formularon indicadores de movilidad de transporte y operación, que permiten validar y comparar el modelo base con los modelos estructurados para los escenarios futuros.

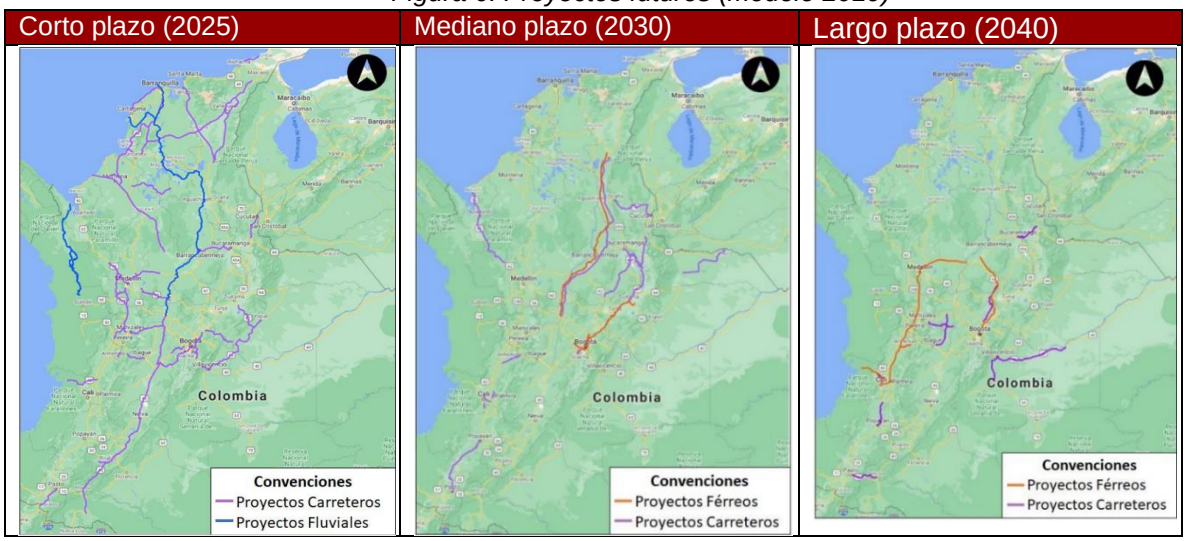
Los indicadores de movilidad del modelo fueron:

Kilómetros recorridos por cada segmento.
Tiempos de viaje.
Identificación de los principales centros generadores y atractores.
Toneladas anuales por segmento.
Pasajeros transportados.
Distribución modal del transporte de mercancías.
Costos de transporte de usuarios del transporte intermunicipal por kilómetro.

2.1.2. Escenarios futuros modelo 2019

Para la formulación y evaluación de escenarios futuros se tuvieron en cuenta 67 proyectos carreteros, 4 proyectos fluviales y 7 proyectos férreos que fueron estructurados en documentos públicos de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI), Plan Nacional de Desarrollo (PND 2018 - 2022) Plan Maestro Fluvial (PMF), Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI), Estudio de demanda de transporte en el corredor del Río Magdalena y el Canal del Dique, Plan Maestro Ferroviario, Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A. (CENIT), Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), Product Master Data Management (PMDM), Estudio de Demanda, Capacidad y Eficiencia Portuaria en Colombia (2019). Los proyectos fueron formulados para los cortes temporales: 2025 corto plazo, 2030 mediano plazo y 2040 largo plazo, la siguiente tabla muestra su distribución en el territorio nacional.

Figura 6. Proyectos futuros (modelo 2019)



Fuente: Construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del plan maestro de transporte intermodal, 2020

2.2. Actualización de la oferta de transporte

En el modelo, las redes representan la infraestructura disponible y los servicios que conforman la oferta de cualquier sistema de transporte. Los elementos principales de las redes son los arcos, que simbolizan tramos viales, y los nodos, que pueden representar intersecciones, cambios de sección transversal, puntos de parada, estaciones de intercambio modal, puertos y cualquier otro tipo de variación en las características de una vía.

Para la construcción del presente modelo, se tomaron como referencia las redes de modelos existentes, específicamente los resultantes del PMTI 2019. A estas redes se les realizó una revisión, validación y actualización de los elementos, junto con la caracterización física y operativa asociada, basada en la información primaria y secundaria recopilada.

La red resultante es una red de transporte intermodal que representa aquellos tramos viales sobre los que es posible el tránsito de los modos carreteros, férreo, fluvial, oleoductos y poliductos. Para comprender la morfología del modelo resultante, se presenta una tabla resumen con los cambios en los elementos de red y los ajustes a la oferta de transporte público.

Tabla 9. Comparación elementos de red modelos 2019 y 2022

Modelo	Zonas	Nodos	Arcos	Rutas de TP	Modos
2019	1,131	3,223	6,706	770	9
2022	1,134	35,272	64,651	778	28

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En términos de zonificación se agregó una nueva Zona de Análisis de Transporte (ZAT) que corresponde al municipio de Belén de Bajirá que para el 2022, elevó la categoría de corregimiento a municipio. En lo referente a las zonas que representan los Hinterland de comercio exterior se mantienen el mismo número de 11 zonas, esto se describe en mayor detalle en la sección de zonificación y conectividad. Es importante mencionar, que un Hinterland, según el diccionario de comercio Internacional "…Es un área de influencia que se sitúa en el interior y detrás de un puerto. En esta zona es donde se recogen los productos destinados a la exportación y se distribuyen las importaciones…"[1]

Respecto a los arcos del modelo, se produjo un cambio en el número de elementos, ya que se crearon y segmentaron arcos para representar las vías urbanas. Además, estos arcos fueron segmentados para obtener un mayor detalle en las mediciones de las velocidades y características de los tramos viales. A continuación, se presenta la comparación del número de arcos y longitud (en los dos sentidos de circulación), considerando la tipología de la red.

Tabla 10. Comparación de red modelos 2019 y 2022

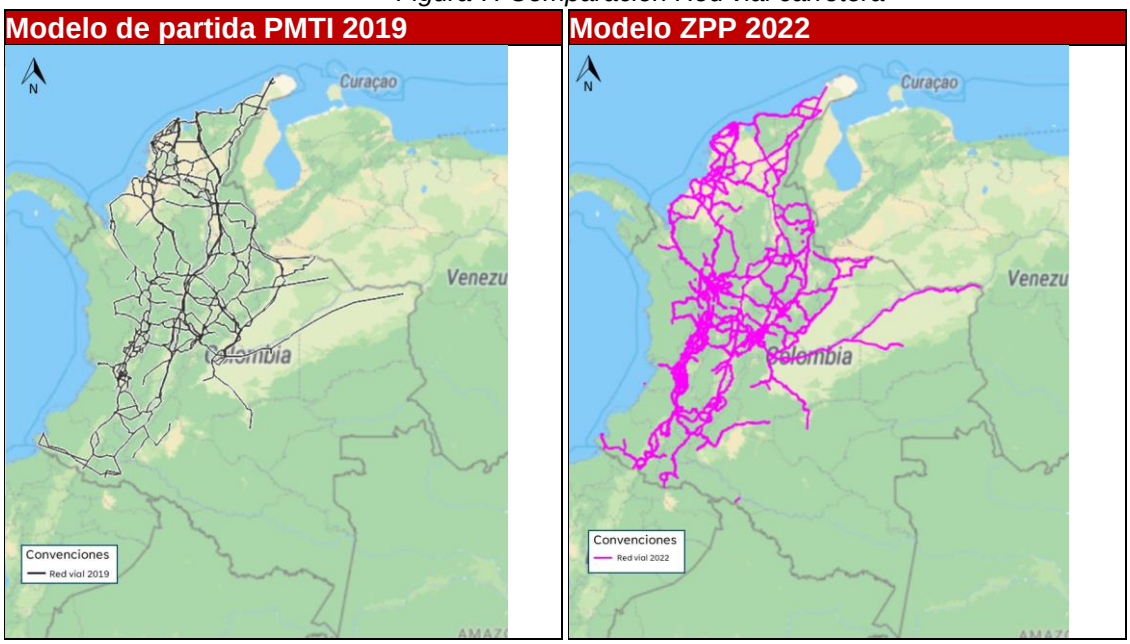
Modelo	2019		2022	
Tipología	N°	Km	N°	Km
Arcos carreteros	4,464	32,674.45	61,695	54,449.65
Arcos Fluviales	388	1,518.1	739	28,902.94
Arcos ferroviarios	340	767.24	474	2,303.46
Arcos oleoductos	240	5,869.38	248	6,691.04
Arcos poliductos	206	3,172.7	220	5,057.07
Arcos rutas marítimas	850	850	850	850
Arcos zonas portuarias	144	144	144	144
Arco de ingreso a Puerto Fluvial	4	0.004	76	0.076
Arco de egreso a Puerto Fluvial	4	0.004	76	0.076
Arco de ingreso a estación ferroviaria	3	0.003	25	0.025
Arco de egreso de estación ferroviaria	3	0.003	25	0.025
Arco de conexión a zonas portuarias	40	0.04	47	0.047
Arco de ingreso a Estación de Bombeo	10	0.01	16	0.016
Arco de egreso de Estación de Bombeo	10	0.01	16	0.016

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

[1] Diccionario de Comercio Internacional,s.f. https://www.globalnegotiator.com/comercio-internacional/diccionario/hinterland/.

Es importante mencionar que para los arcos que presentan el ingreso y egreso a los puertos, estaciones ferroviarias, conexiones portuarias y estaciones de bombeo, se considera una longitud constante de 0.001 km, no obstante, en estos puntos se actualizaron las demoras y los costos asociados a las dinámicas propias de cada infraestructura. A continuación, se muestran gráficamente la comparación de la red para cada tipología.

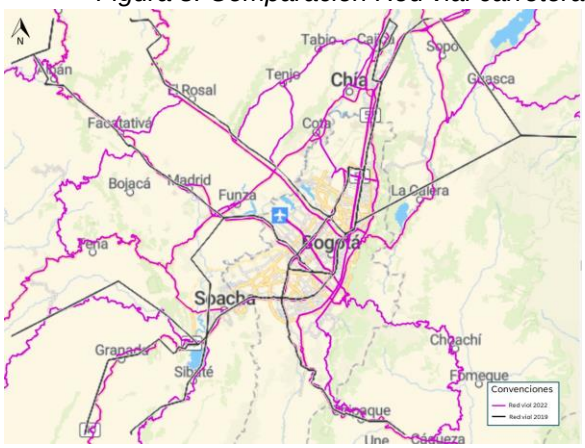
Figura 7. Comparación Red vial carretera



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la figura anterior se realiza una comparación en términos de red carretera de los modelos 2019 y 2022, en las cuales se puede observar una mayor densificación de arcos principalmente en los asentamientos urbanos, así mismo un mayor nivel de detalle de la geometría de la red. Un ejemplo de densificación de la red vial corresponde al área circundante a la ciudad de Bogotá, donde se detalló la geometría de las vías y se agregaron vialidades de conexión.

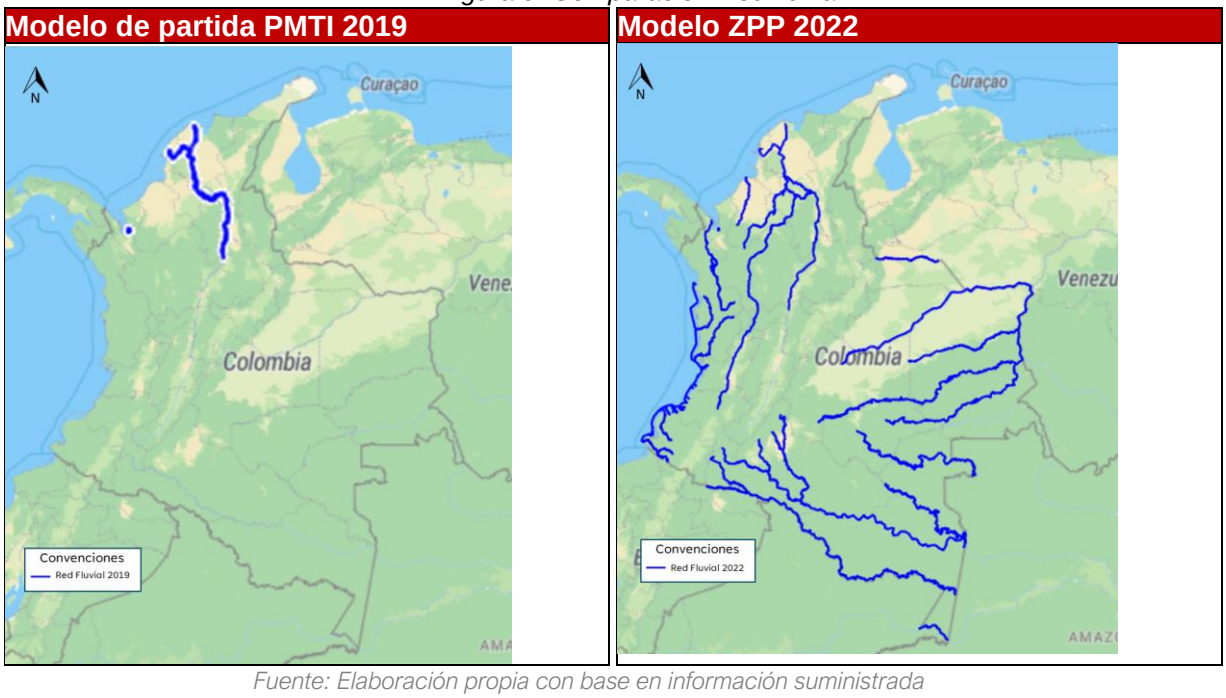
Figura 8. Comparación Red vial carretera



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En cuanto a la red fluvial como se observa en la siguiente figura, en el modelo de partida PMTI 2019 se consideró el tramo del rio Magdalena desde Barrancabermeja hasta la desembocadura en Barranquilla y el tramo del Río León, en el año 2022 se consideran los ríos navegables en todo el país y la Acuapista del Pacífico.

Figura 9. Comparación Red fluvial

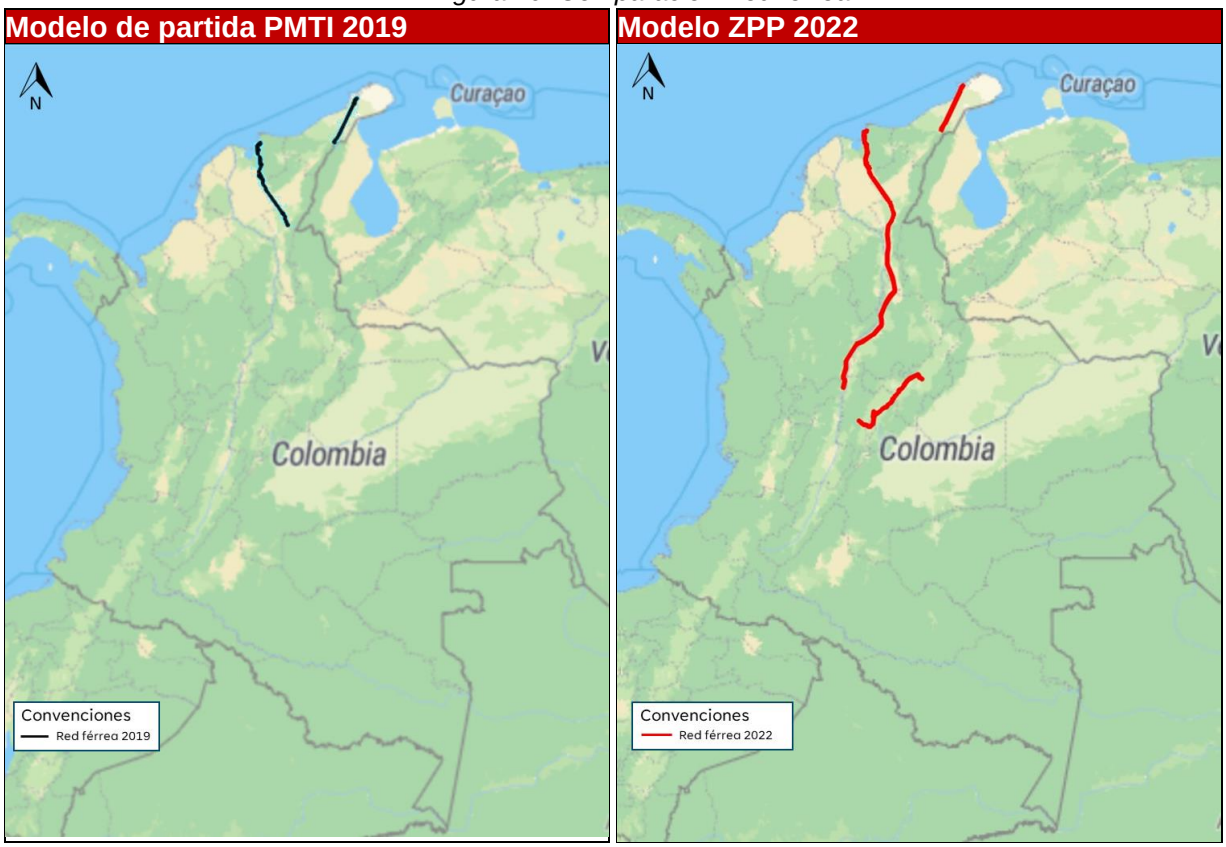


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En términos de red férrea en el modelo de partida se consideró el tramo Chiriguana – Santa Marta administrada por el concesionario FENOCO y el tramo administrado por Cerrejón desde la Mina hasta Puerto Bolívar en la Alta Guajira. En el modelo 2022 se agregaron los

tramos Bogotá - Belencito y La Dorada – Chiriguana. A continuación, se muestra el detalle de la red férrea.

Figura 10. Comparación Red férrea

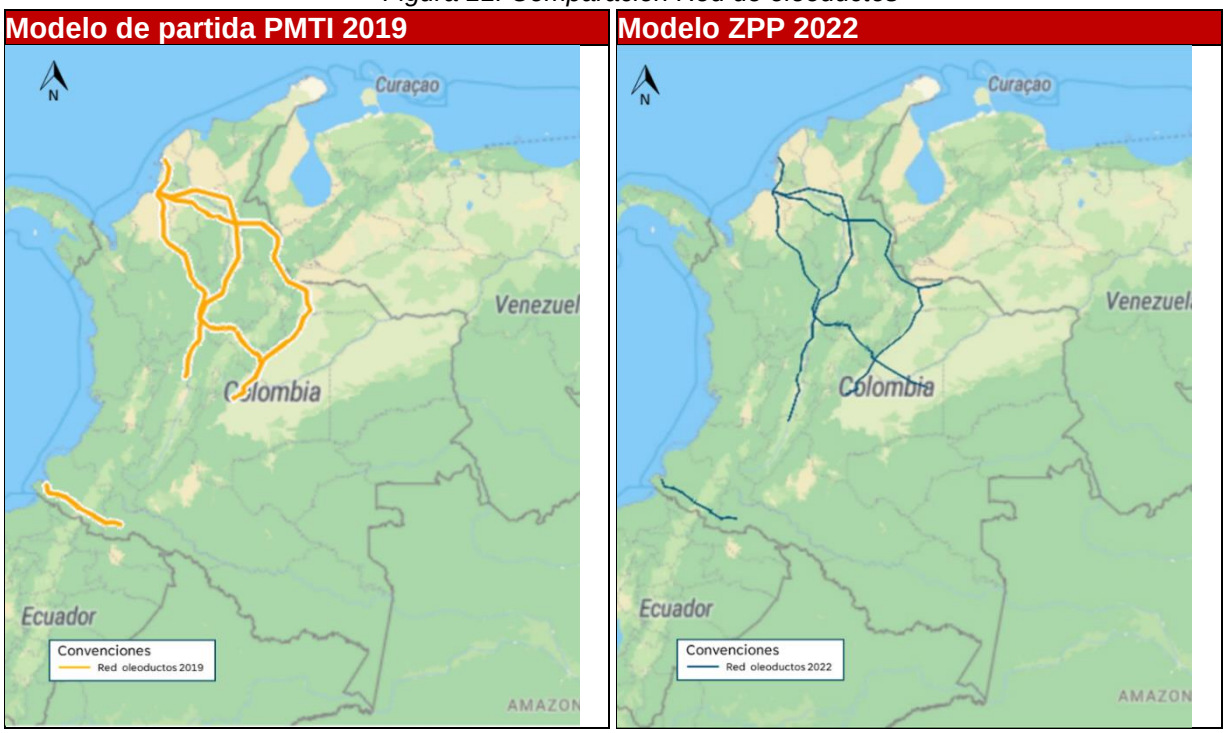


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Por otra parte, en cuanto a las redes de oleoducto en modelo 2022 se agregaron dos tramos adicionales que corresponde a Sutamarchán – Tocancipá y Monterrey – Rubiales (ubicado en el municipio de Puerto Gaitán).

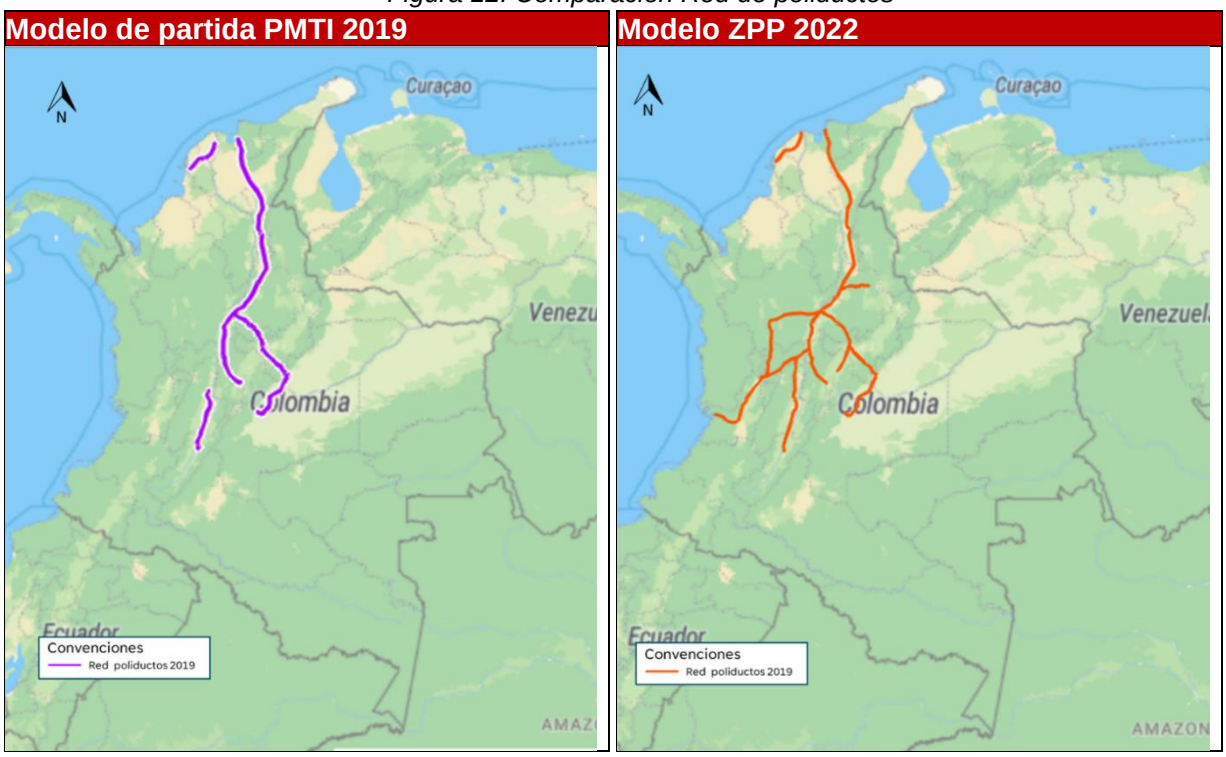
En lo referente a la red de poliductos se agregó la troncal de occidente que tiene un recorrido desde el terminal de Buenaventura hasta Medellín, así mismo se agregó el tramo Pereira – Salgar y el tramo Barrancabermeja - Chimita. A continuación, se muestran las redes de oleoductos y poliductos consideradas en los modelos.

Figura 11. Comparación Red de oleoductos



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

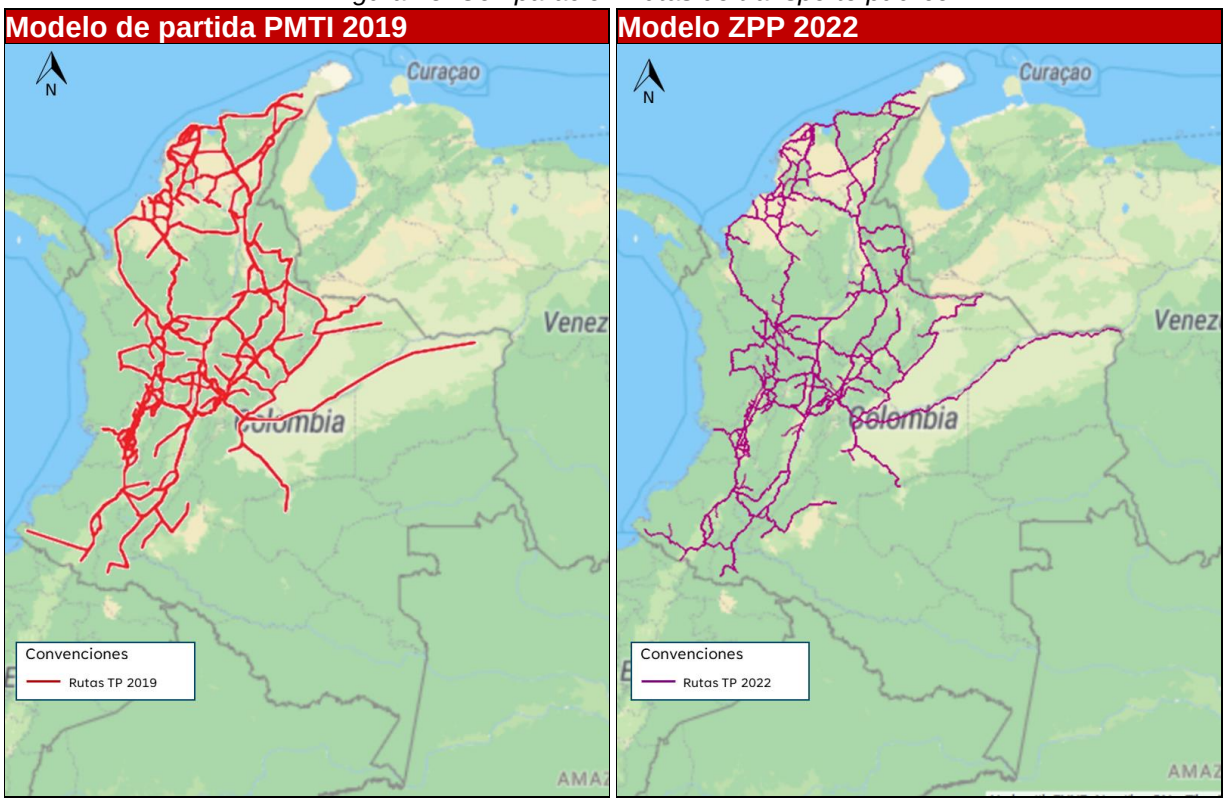
Figura 12. Comparación Red de poliductos



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

De igual manera, en el modelo 2022 se realizó una actualización en las rutas de transporte público carretero, agregando 10 rutas nuevas y se eliminaron dos rutas del modelo 2019 que corresponden a rutas ubicadas en la frontera con Venezuela dado que para el 2022 estas ya no se encontraban operando. De tal manera que para el año base 2022, el modelo cuenta con 778 rutas. En la siguiente figura se muestra la red donde se considera rutas de transporte público.

Figura 13. Comparación Rutas de transporte público



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

2.3. Actualización de los modos de transporte

Dentro de la actualización del modelo, se tiene la configuración de los modos de transporte, esto con el fin de tener mayor representatividad y congruencia con los segmentos de demanda. En este sentido se crearon nuevas tipologías para los proyectos nuevos y para los automóviles. Como se detalla según la lista a continuación Es importante mencionar, que el valor de código en la siguiente tabla hace referencia al valor que se define en la herramienta de modelación EMME.

Tabla 11. Comparación elementos de red modelos 2019 y 2022

Modelo 2019				Modelo 2022		
Modo	**Tipo**	**Código**	**Acción**	**Modo**	**Tipos**	**Código**
Privado (autos)	Privado	a	Se mantiene	Privado (habilitador)	Privado	a
			Nuevo	Auto (auxiliar)	Privado	A
Fluvial	Privado	f	Se mantiene	Carga Fluvial	Privado	f
Carretera	Privado	c	Se mantiene	Carretera(toneladas)	Privado	c
Buses pequeños	Público	b	Se mantiene	Buses pequeños	Público	b
Bus grande	Público	B	Se mantiene	Buses grandes	Público	B
Peatonal	Público	P	Se mantiene	Peatonal	Público	P
Férreo	Privado	t	Se mantiene	Férreo	Privado	t
Oleoducto	Privado	o	Se mantiene	Oleoducto	Privado	o
Poliducto	Privado	p	Se mantiene	Poliducto	Privado	p
			Nuevo	Pasajeros Férreo	Público	F

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La configuración de las condiciones para el transporte público en el modelo considera dos componentes: los vehículos de referencia y las rutas de transporte. Adicional a las dos tipologías de vehículos existentes (bus pequeño y bus grande), se añadió la tipología “tren” para su correspondiente configuración en las rutas férreas.

2.4. Actualización de los segmentos de carga

La segmentación de la carga a representar en el modelo de transporte busca brindar el nivel de detalle a partir del cual es posible analizar la información de distribución de productos en el territorio nacional con un énfasis especial en la producción de las zonas de potencial productivo objeto del presente estudio. Con base en este marco de análisis, se busca que el modelo pueda reflejar la segmentación definida a partir del análisis metodológico de la información primaria. Teniendo esta claridad, es importante entender que la segmentación disponible en el modelo de partida tomado del Plan Maestro Transporte Intermodal (PMTI)

del 2019 requiere un ajuste importante en su definición. En dicho modelo se hace una clara diferenciación de las dinámicas de distribución doméstica y el comercio internacional. De esta manera, se cuenta con 9 segmentos de carga para el comercio internacional (Comex) y 13 segmentos para la carga doméstica, a continuación, se detallan los segmentos.

Tabla 12. Segmentos de carga en el modelo de partida PMTI 2019

Código	Segmentos de carga	Distribución
cnrco	Contenedores No refrigerados	Comex
crco	Contenedores refrigerados	Comex
gsco	Granel Sólido	Comex
glco	Granel Líquido	Comex
cgco	Carga General	Comex
ctco	Carbón Térmico	Comex
cmco	Carbón Metalúrgico	Comex
hcco	Hidrocarburos Crudos	Comex
hrco	Hidrocarburos Refinados	Comex

Código	Segmento de carga	Distribución
cnr	Contenedores No refrigerados	Doméstico
crco	Contenedores refrigerados	Doméstico
gsco	Granel Sólido	Doméstico
glco	Granel Líquido	Doméstico
cgco	Carga General	Doméstico
ctco	Carbón Térmico	Doméstico
cmco	Carbón Metalúrgico	Doméstico
hcco	Hidrocarburos Crudos	Doméstico
hrco	Hidrocarburos Refinados	Doméstico
gdo	Gas	Doméstico
avdo	Animales y víveres	Doméstico
codo	Correo	Doméstico
mcdo	Materiales de construcción	Doméstico

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Al analizar los segmentos existentes en el modelo de partida se evidencia la necesidad de brindar un mayor detalle y resolver las situaciones descritas a continuación:

Desagregar el segmento de “Animales y Víveres” dado que, por su naturaleza y distribución en el territorio nacional, es necesario diferenciar dichos grupos de productos y mercancías.

La segmentación del modelo requiere la estimación de proporciones de distribución entre orígenes y destinos de cada segmento de la información primaria tomada en ZPP para su categorización en el modelo. Por ejemplo: un segmento ZPP como “Alimentos Agro”, tendría que distribuirse en los segmentos del modelo de partida entre “Contenedores no refrigerados”, “Contenedores refrigerados” y, “Granel Sólido” y “Animales y Víveres”, lo cual resultaría en un procesamiento sobre el cual no se cuenta con suficiente información de base.

Aunado a lo anterior, la segmentación del modelo de partida, en sí misma, genera un traslapo de un mismo producto en varios segmentos y por principio, esta condición no debería suceder dado que podría duplicándose la demanda de un producto o bien, no sé podría distribuir correctamente en los segmentos correspondientes debido a la falta de información para tal propósito.

Con base en las anteriores consideraciones, se plantean los siguientes principios para la definición de los segmentos de carga de modelación:

Independencia: hace referencia a que se debe dar una claridad sobre el tipo de productos que se clasifican en cada segmento sin ambigüedad y debe evitarse que un mismo producto pueda pertenecer a dos segmentos diferentes.
Consistencia: hace referencia a manejar una línea de segmentos que tengan una misma base en su definición, es decir, que los segmentos estén definidos a nivel de productos (alimentos, hidrocarburos, etc.), o a nivel de la manera como se envían (contenedores, granel, etc.), evitando mezclar este tipo de clasificaciones entre sí.
Operabilidad: hace referencia a las posibilidades de aplicación práctica, uso de información, cruce de fuentes de referencias con datos de comparación y control.
Escalabilidad: hace referencia a definir una base conceptual que se pueda articular en el tiempo con futuros procesos de actualización y uso de la información, teniendo en cuenta que, en términos de modelación del transporte, siempre se busca ir llegando a un nivel de detalle razonable que permita analizar condiciones específicas según la necesidad.

Teniendo en cuenta los principios descritos, se realiza una propuesta de definición de los segmentos de carga para el modelo 2022, considerando dos fuentes de información: la primera corresponde a información primaria de encuestas realizadas por el consultor a los generadores de carga en las zonas de potencial productivo (ZPP). La segunda fuente corresponde a la información consolidada en el Registro Nacional de Despachos de Carga por Carretera – RNDC. Como resultado de este proceso se obtuvieron 14 segmentos para la carga doméstica, que corresponden a aquellos segmentos validados según la metodología propuesta para las ZPP. En lo referente a los segmentos de carga de comercio internacional estos utilizan la definición tomada del modelo de partida (2019), la razón fundamental por la cual se maneja de esta manera, es basada en el principio de operabilidad teniendo en cuenta que la información que se utiliza para la calibración de los flujos y distribución de la carga se basa en la información de Puertos Comex y dicha información tradicionalmente se clasifica de acuerdo con el tipo de movimiento y manejo que se le da a las mercancías consolidadas, como lo son: contenedores, graneles, etc.

Tabla 13. Segmentos de carga propuestos para el modelo de demanda 2022

Código	Segmentos de carga	Distribución
cnrco	Contenedores No refrigerados	Comex
crco	Contenedores refrigerados	Comex

Código	Segmento de carga	Distribución
aado	Alimento Agro	Doméstico
apdo	Alimento Procesados	Doméstico

Código	Segmentos de carga	Distribución
gsco	Granel Sólido	Comex
glco	Granel Líquido	Comex
cgco	Carga General	Comex
ctco	Carbón Térmico	Comex
cmco	Carbón Metalúrgico	Comex
hcco	Hidrocarburos Crudos	Comex
hrco	Hidrocarburos Refinados	Comex

Código	Segmento de carga	Distribución
apado	Alimentos para animales	Doméstico
avdo	Animales Vivos	Doméstico
bscado	Bebidas con y sin alcohol	Doméstico
gaavdo	Grasa y aceites animales o vegetales	Doméstico
mado	Maderas	Doméstico
mido	Minerales	Doméstico
pcdo	Papel y cartón	Doméstico
pido	Producción industrial	Doméstico
odo	Otros	Doméstico
hdo	Hidrocarburos	Doméstico
codo	Combustibles	Doméstico
mcdo	Materiales de construcción	Doméstico

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar, que la segmentación de la carga doméstica resultante del procesamiento y análisis de la información primaria recolectada en las zonas de potencial productivo (ZPP) es aplicable a las demás zonas del país, dado que la información secundaria del RNDC permite la homologación con dichos segmentos. La definición y homologación de los segmentos de demanda se abordan en detalle en el capítulo 3 del Tomo I de la etapa IV Adicionalmente, cabe destacar que en la codificación la terminación o sufijo “co” corresponde a los segmentos de comercio exterior y “do” corresponde a segmentos de carga doméstica.

Lo anterior permite tener una segmentación congruente con la información primaria, y de esta manera complementar el modelo de transporte como herramienta para la formulación del Plan de Infraestructura de Transporte.

2.5. Actualización de zonificación y conectividad

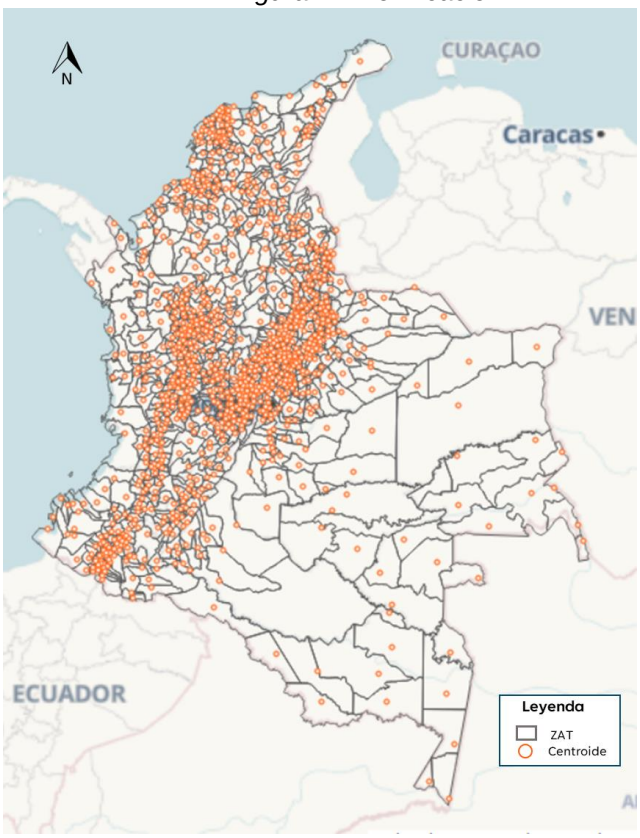
La zonificación corresponde a la división de un área territorial en subáreas o zonas caracterizadas bajo criterios de similitud en atributos como población, actividad económica, condiciones geográficas, entre otros. Para el caso de los modelos corresponde a un insumo fundamental y se definen como Zonas de Análisis de Transporte (ZAT). Las ZAT se configuran como unidades espaciales representadas geográficamente a través de polígonos y permiten representar el origen y destino de los viajes. En este capítulo se

describe el proceso de zonificación y conectividad que se realizó para la construcción del modelo de transporte. Adicionalmente, en el anexo 01 se presentan los cambios realizados a la red; dados los ajustes en la zonificación

2.5.1. Zonificación

La zonificación del presente modelo se realizó teniendo en cuenta dos fuentes de información. La primera corresponde a información primaria referente a encuestas realizadas a generadores de carga en las ZPP y la segunda corresponde a información secundaria del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). De estas, se pudo establecer que los datos contenidos se encuentran en la mayoría de los casos a nivel de municipios. Por tal razón, y para tener una consistencia con los registros, los territorios municipales fueron considerados como el nivel de detalle de este estudio. A continuación, se observa la zonificación considerada.

Figura 14. Zonificación

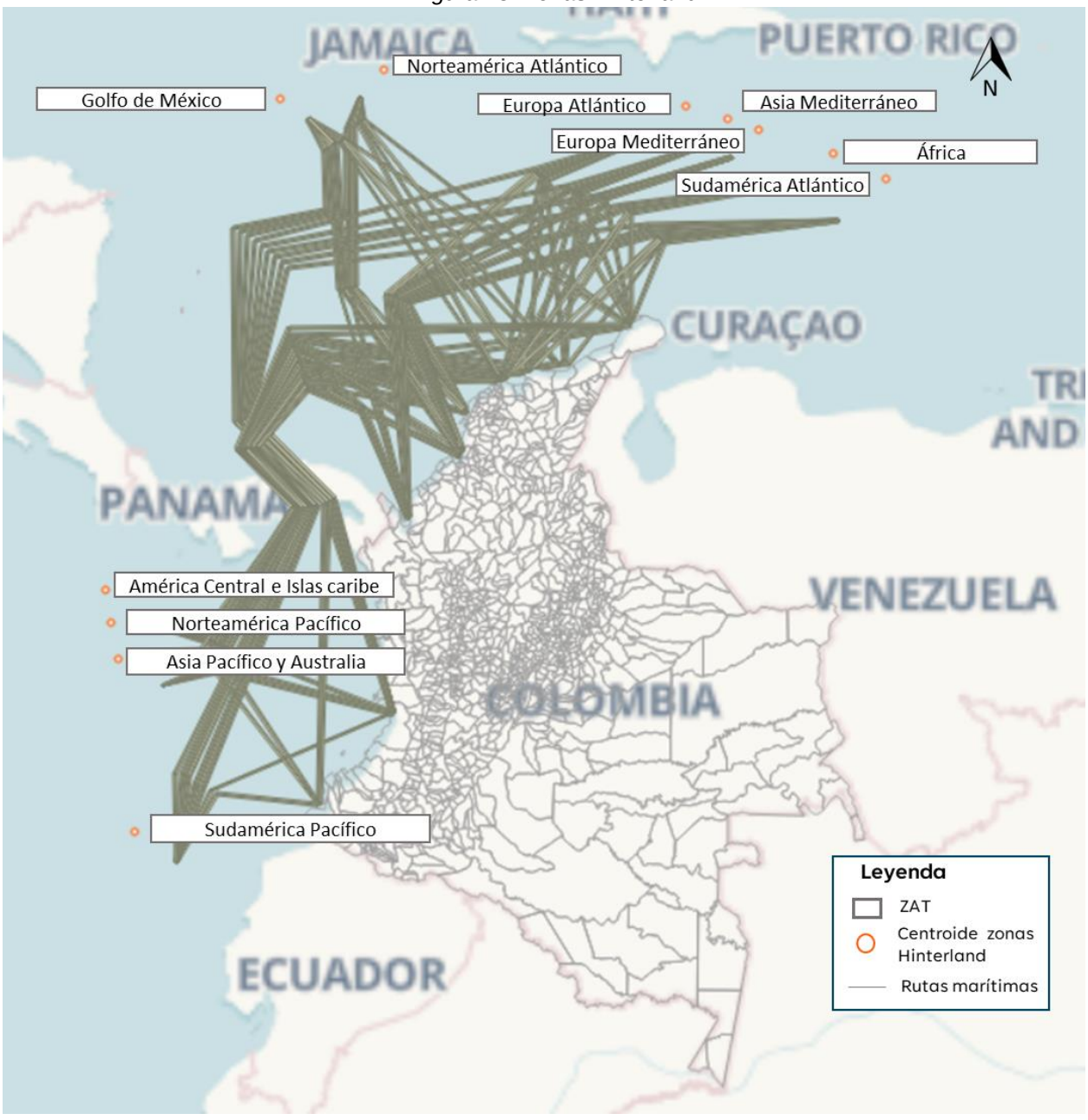


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Adicionalmente a la zonificación municipal, se consideraron dentro del análisis zonas externas que representan los orígenes y destinos del comercio internacional. En total fueron 11 zonas que representan a África, América Central, Asia Mediterráneo, Asia Pacifico y

Australia, Europa Atlántico, Europa Mediterráneo, Golfo de México, Norteamérica Atlántico, Norteamérica Pacifico, Sudamérica Atlántico y Sudamérica Pacifico.

Figura 15. Zonas Hinterland



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Por otro lado, debido a que en el 2022 la Asamblea Departamental de Chocó aprobó la ordenanza de creación del municipio de Belén de Bajirá y adicionalmente dentro de los registros de las distintas fuentes aparece como un origen y destino de los movimientos de

carga, se agregó una zona adicional para representar los viajes hacia y desde este municipio. De esta manera, se llegó a un total 1132 ZAT considerando los municipios y el comercio exterior.

Figura 16. Zona de Belén de Bajirá



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Adicionalmente, se consideraron las zonas de Ecuador y Venezuela para representar los pasos fronterizos, de esta manera se obtuvo un total de 1134 ZAT. Para dar mayor claridad de las zonas o territorios consideradas en el modelo de transporte, en el anexo 02 se relaciona el departamento, el municipio y el identificador de ZAT utilizadas en el modelo. De igual manera, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de ZATs por departamento, comercio internacional y pasos fronterizos terrestres.

Tabla 14. Cantidad de ZAT por departamento

Departamento	Cantidad ZAT	Departamento	Cantidad ZAT
Guainía	9	Nariño	64
Antioquia	125	Norte De Santander	40
Atlántico	23	Quindío	12
Bogotá, D.C.	1	Risaralda	14
Bolívar	46	Santander	87
Boyacá	123	Sucre	26
Caldas	27	Tolima	47
Caquetá	16	Valle Del Cauca	42
Cauca	42	Arauca	7
Cesar	25	Casanare	19
Córdoba	30	Putumayo	13
Cundinamarca	116	Amazonas	11
Chocó	31	Guaviare	4

Departamento	Cantidad ZAT
Huila	37
La Guajira	15
Magdalena	30
Meta	29

Departamento	Cantidad ZAT
Vaupés	6
Vichada	4
Comercio Internacional	11
Pasos Fronterizos Terrestres	2

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Conectividad

La conectividad hace referencia a la forma en que se realizó la conexión de las zonas con la oferta de transporte. En este caso se tuvieron en cuenta varios criterios de tal manera que se lograra representar las conexiones existentes para cada ZAT. Entre los criterios considerados se tienen:

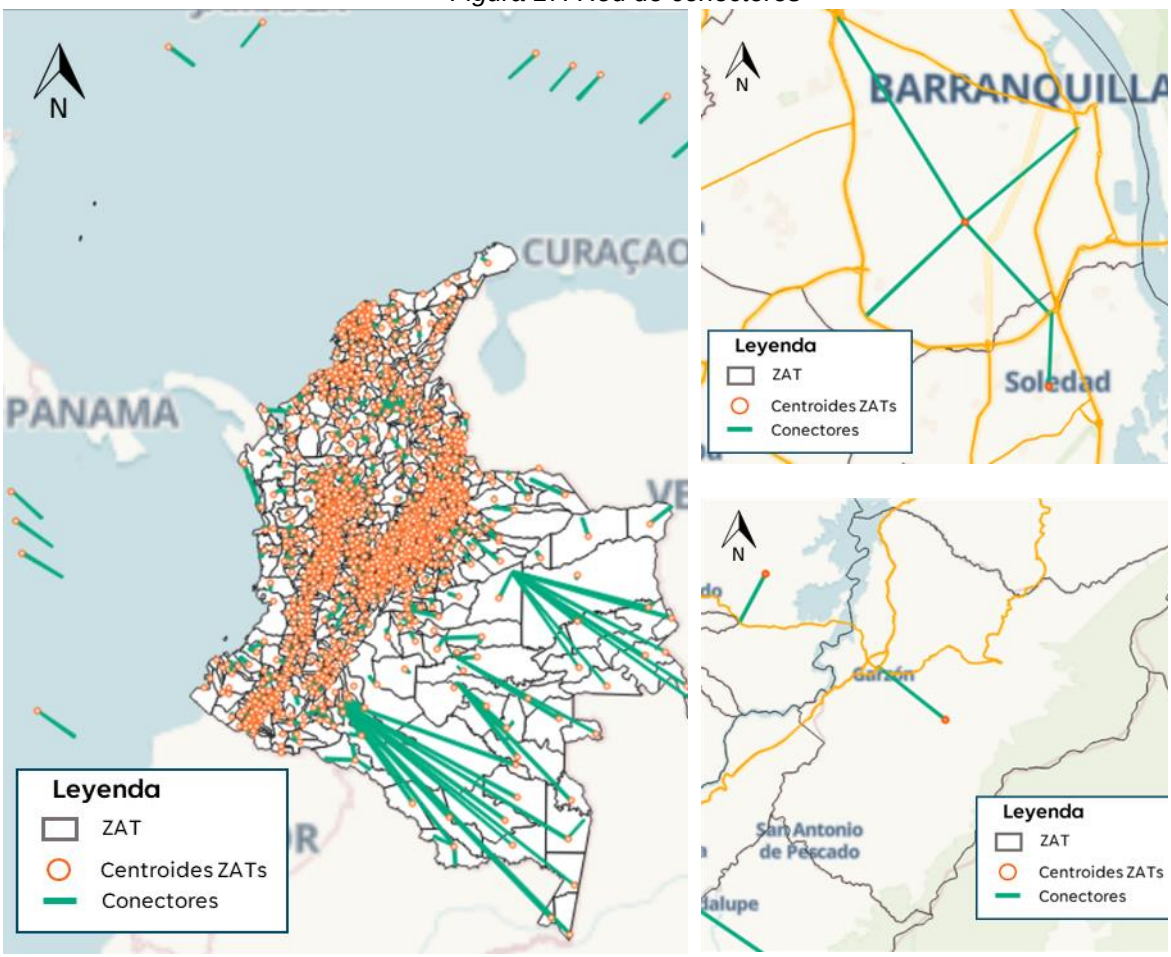
Representar las conexiones que se dan a través de la red terciaria, esto principalmente en las zonas donde se tiene información de origen y destino de movimiento de carga.
Realizar conexiones a puntos dónde se pudo identificar que corresponden con los accesos principales de cada municipio, de tal manera que represente las condiciones de conectividad actual.
Realizar la conexión mediante varios conectores a arcos de acceso a cada tipología o mediante un único conector a la red carretera en dado caso de que esta tuviese conexión con las estaciones de transferencia de cada tipo de arco, para aquellas zonas en las que existen distintos tipos de arcos viales, es decir, corredores férreos, carreteros, fluviales oleoductos o poliductos.
No realizar una conexión directa, sino configurar los conectores sobre los arcos que representan los puertos o estaciones de transferencia modal, de manera que se pudiese representar los tiempos y costos de acceso. Para los arcos viales del modo ferrero, fluvial, oleoducto y poliducto.
Un aspecto importante dentro del proceso de definición de conectividad surge del entendimiento de las condiciones de accesibilidad de las zonas, de manera que se debe evitar el paso por barreras físicas y/o naturales como cuerpos de agua, zonas de reserva natural y otros.

A partir de los criterios mencionados anteriormente, se definió la red de conectores del modelo y se asignaron los modos de transporte correspondientes a cada uno. Es decir, se establecieron ciertos conectores que solo pueden ser utilizados por un modo de transporte específico. Es importante mencionar, que los conectores representan una ruta de acceso o de salida entre el centroide de la ZAT con la red. Por consiguiente, las ZAT tienen uno o varios conectores dependiendo de las conexiones existentes con la red.

Así mismo el número de conectores y su ubicación dependió de la presencia de áreas de interés, zonas metropolitanas y asentamientos urbanos, donde se requirió más de un conector para representar los viajes desde y hacia esas zonas.

Para las zonas de comercio exterior la conexión se realizó mediante un solo conector, ya que las rutas marítimas parten de un solo nodo por zona, lo que hace innecesario realizar más conexiones. De esta manera, en la siguiente figura se aprecia la red de conectores definida para el modelo de transporte y algunos ejemplos.

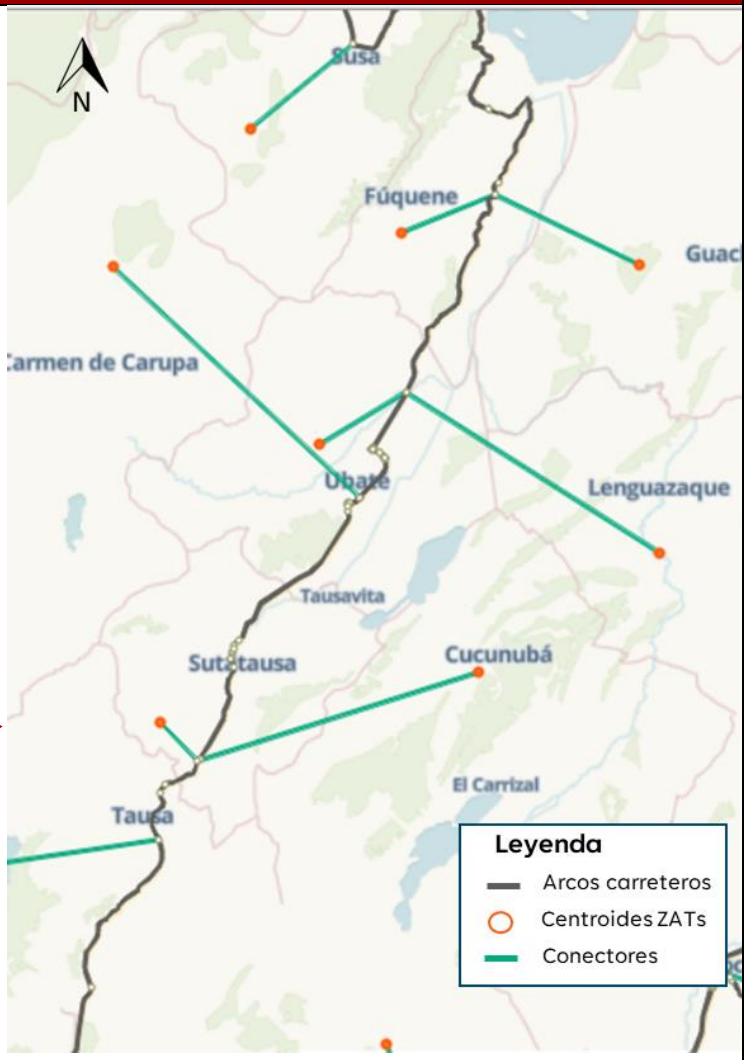
Figura 17. Red de conectores



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Con el propósito de brindar un mayor entendimiento de la configuración de los arcos que representan el acceso y conexión de los diferentes modos, en las siguientes tablas se realiza una descripción de cada una esas conexiones

Tabla 15. Conectividad con la red carretera

Conectividad con la red carretera	Ejemplo
La conexión que se da con la red carretera representada en el modelo de transporte es una conexión directa desde el centroide de la ZAT, mediante la configuración de los conectores en los nodos de la red.	 

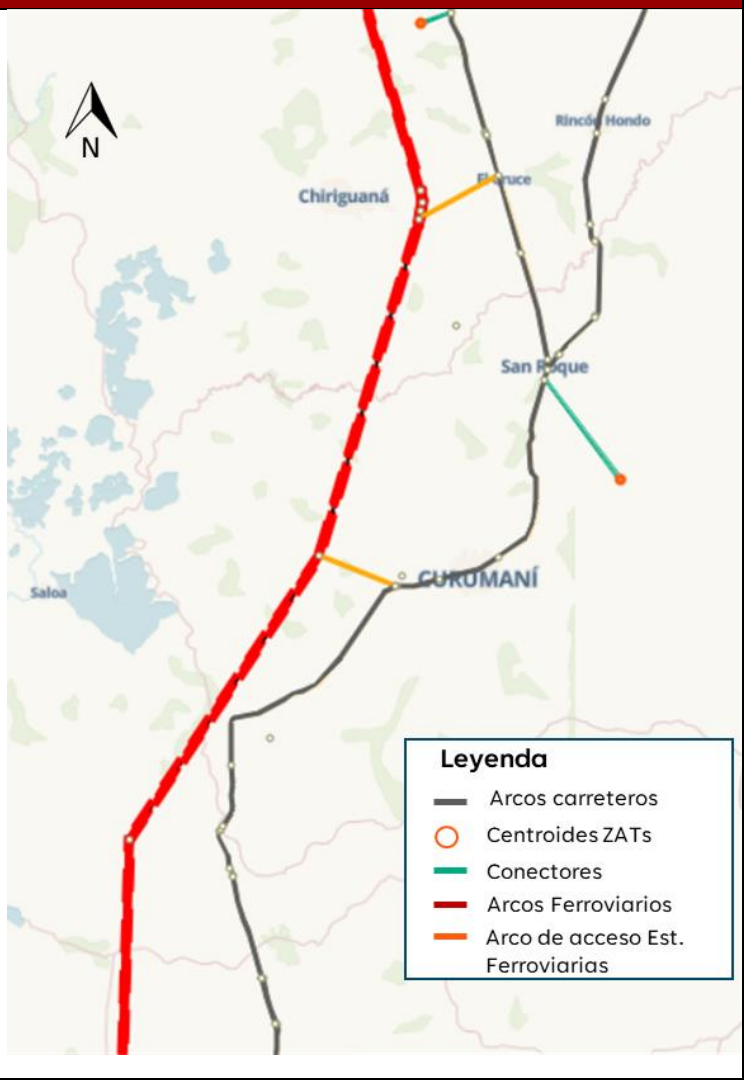
Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Tabla 16. Conectividad con la red fluvial

Conectividad con la red fluvial	Ejemplo
La conexión que se da con la red fluvial representada en el modelo no es una conexión directa, si no que se da a través de los arcos de ingreso y egreso a los puertos fluviales. Estos arcos tienen una longitud de 0.001 km, pero tiene asociados las demoras y los costos que se dan estos puntos.	

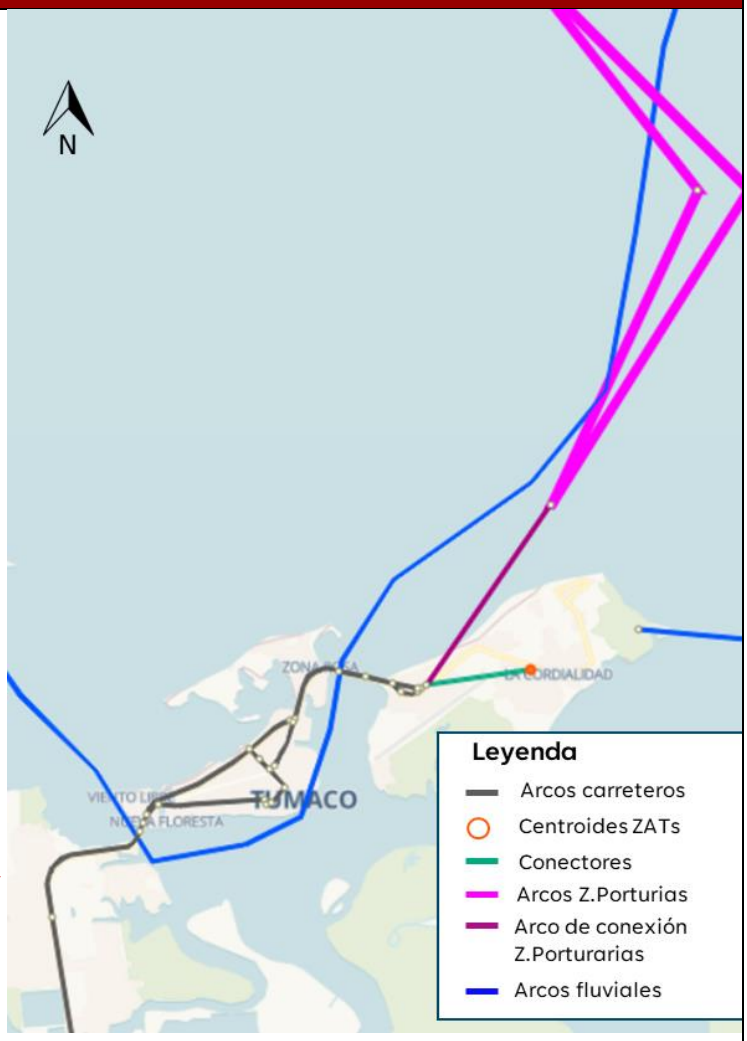
Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Tabla 17. Conectividad con la red férrea

Conectividad con la red férrea	Ejemplo
La conexión que se da con la red férrea en el modelo no es una conexión directa, si no que se da a través de los arcos de ingreso y egreso a las estaciones ferroviarias. Estos arcos tienen una longitud de 0.001 km, pero tiene asociados las demoras y los costos que se dan estos puntos.	
	

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Tabla 18. Conectividad con las zonas portuarias

Conectividad con las zonas marítimas	Ejemplo
La conexión que se da con las zonas portuarias en el modelo no es una conexión directa, si no que se da a través de los arcos de conexión por modo de transporte. Estos arcos tienen una longitud de 0.001 km y no tienen asociados algún valor de tiempo y costo. No obstante, su presencia en el modelo radica en que son utilizados en el proceso de asignación para habilitar la conexión de las zonas marítimas con cada una de las alternativas modales.	 

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3. CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA INTERMODAL

La red de transporte para Colombia se estructura en torno a la definición de la infraestructura necesaria para mover mercancías de las zonas productoras a las zonas de consumo o de comercio exterior que, según el Consejo Privado de Competitividad en el Informe Nacional de Competitividad 2019 - 2020[2] ,en el país el 81% de la carga es transportada por carretera, un 16% se mueve por vía férrea, un 2% por modo fluvial y solo un 1% por vía aérea. Con las anteriores premisas, se definen los modos por los que principalmente se realiza el transporte de carga en Colombia, incluyendo carreteras, ferrocarriles, vías navegables, puertos y aeropuertos, que forman un sistema interconectado sobre el que se moviliza tanto personas como mercancías en todo el país.

Las carreteras constituyen la columna vertebral de la red de transporte. El sistema vial carretero se clasifica en diferentes categorías según su importancia y capacidad, vías primarias, secundarias y terciarias. La red vial se encuentra en constante expansión y mejora, con proyectos de construcción y mantenimiento que buscan mejorar la conectividad y reducir los tiempos de viaje.

El sistema ferroviario en Colombia, aunque más limitado en comparación con las carreteras, desempeña un papel crucial en el transporte de carga pesada. Se compone principalmente de líneas férreas dedicadas al transporte de carbón y otros minerales desde las zonas de producción hasta los puertos de exportación. Sin embargo, se han propuesto proyectos de expansión y modernización para mejorar la conectividad y promover el transporte de pasajeros.

Las vías navegables, principalmente ríos y canales, también forman parte importante de la red de transporte en Colombia, especialmente en las regiones de la Amazonía y la Orinoquía. Estas vías permiten el transporte de carga y pasajeros en áreas donde el acceso terrestre es limitado, contribuyendo a la integración regional y al desarrollo económico de estas zonas.

Los puertos marítimos y fluviales en Colombia son puntos clave de conexión con el comercio internacional, facilitando la importación y exportación de mercancías. Los puertos se encuentran ubicados estratégicamente en las costas del Mar Caribe y el Océano Pacífico, y se han realizado inversiones significativas para mejorar su infraestructura y capacidad operativa.

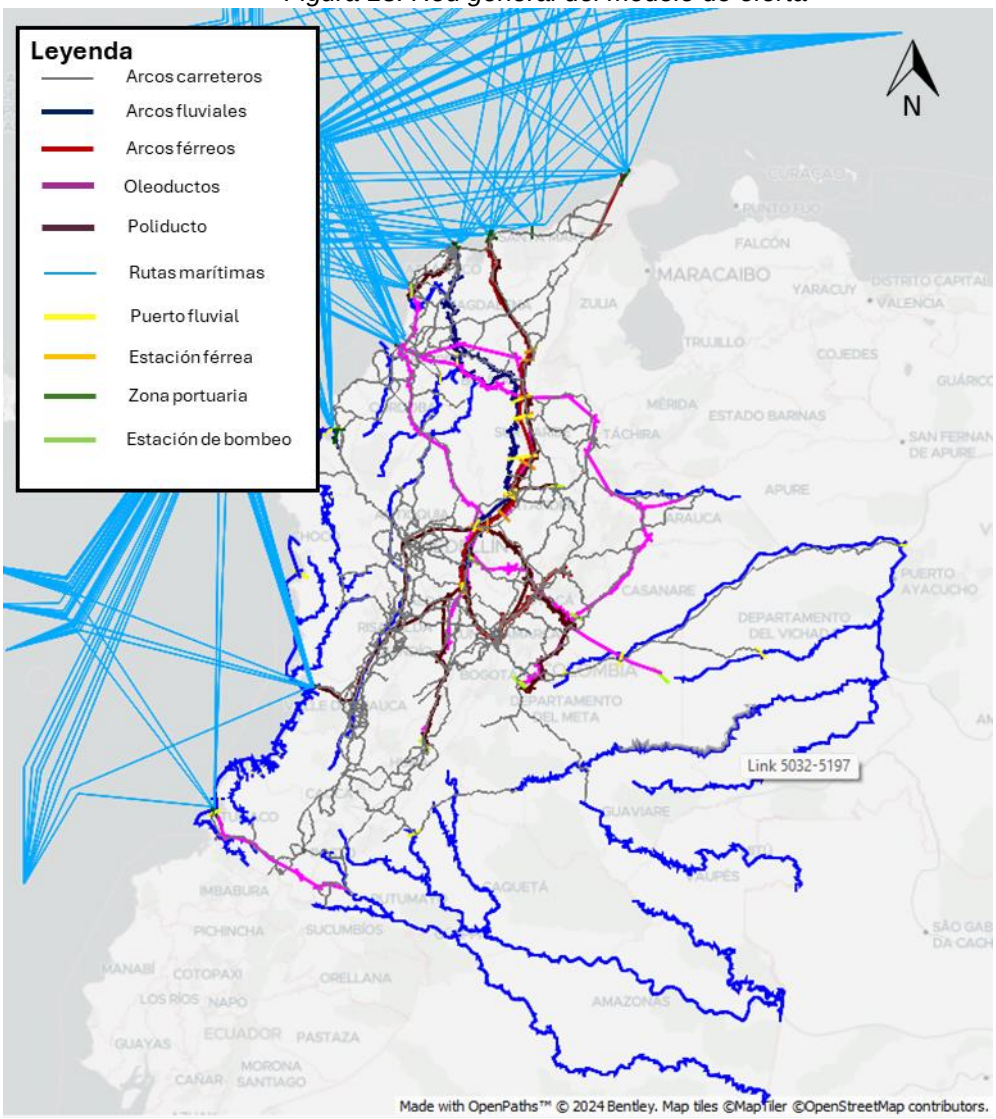
Los ductos, principalmente utilizados para el transporte de hidrocarburos, son una parte importante de la red de transporte en Colombia. Estos ductos permiten el transporte seguro y eficiente de petróleo sus derivados y gas natural desde las áreas de producción hasta las refinerías y terminales de exportación, contribuyendo al desarrollo de la industria energética en el país.

[2] Consejo Privado de Competitividad,2020. https://compite.com.co/informe/informe-nacional-de-competitividad-2019-2020/

En conjunto, la red de transporte en Colombia es un sistema complejo y diverso que requiere una planificación integral y una gestión eficiente para garantizar su operatividad y sostenibilidad a largo plazo. La integración de los diferentes modos de transporte, junto con una adecuada inversión en infraestructura y tecnología, son clave para mejorar la conectividad y la movilidad en el país.

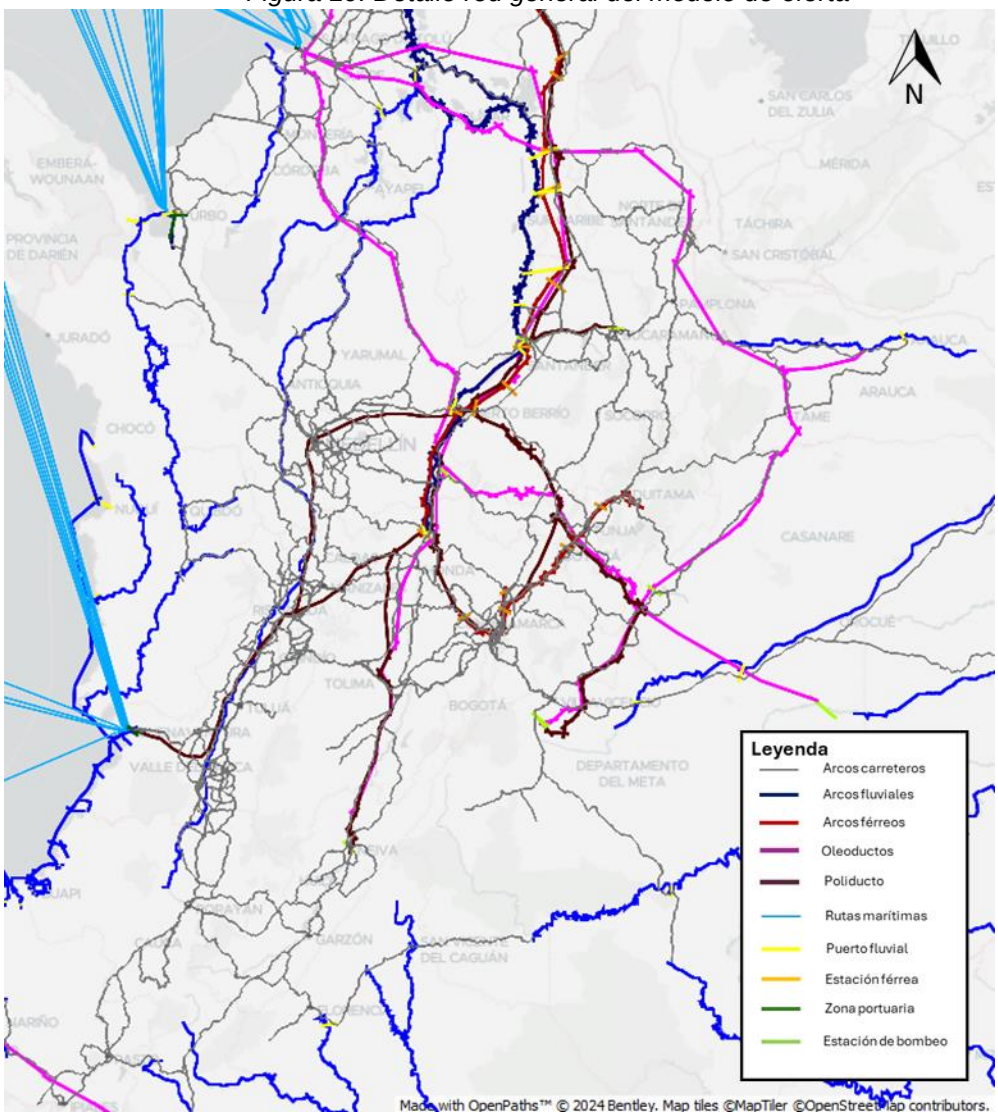
A continuación, se presenta una imagen de la conformación general de la red con todos los modos mencionados, y posteriormente se detalla cada uno de estos para dar mayor detalle y especificidad al respecto.

Figura 18. Red general del modelo de oferta



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Figura 19. Detalle red general del modelo de oferta



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

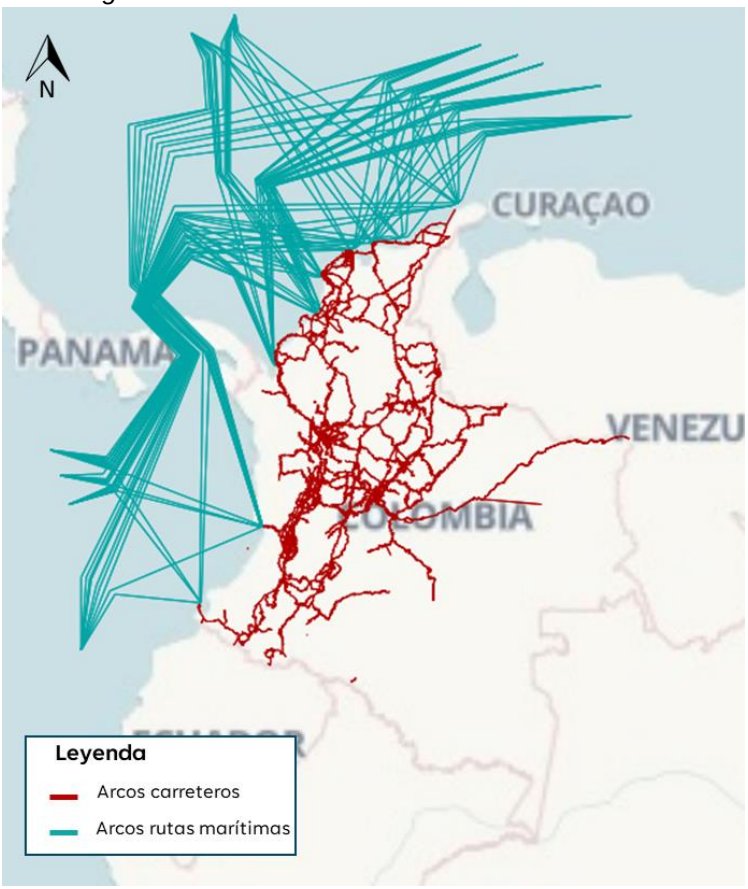
3.1. Red carretera

El modelo de red de carreteras en Colombia se actualizó con el objetivo de representar adecuadamente la geometría de la infraestructura vial. Esta reconstrucción ha permitido otorgar un mayor nivel de detalle a la red, incorporando vías primarias y algunas secundarias importantes a nivel nacional para el transporte de carga. Dicha actualización se realizó a partir de la herramienta Open Street Maps sobre la cual se ha construido la capa final de carreteras.

Además de la reconstrucción, se detallaron las carreteras a nivel urbano para mejorar la representación de las dinámicas de los flujos vehiculares y los pasos urbanos. Esto se hizo el fin de incluir variantes, vías alternas y las eficiencias asociadas a los pasos urbanos.

En el proceso de actualización, se realizó la caracterización de las condiciones físicas, operativas y de costos de peajes para el año base de modelación 2022. Para cada arco de la red se efectuó la caracterización asociada a: sentidos de circulación, longitudes, número de carriles, tipología vial (combinación del tipo de terreno y estado del pavimento), plazas de cobro de peaje y velocidades de recorrido de las unidades de transporte, entre otras. En la siguiente figura se puede apreciar la red vial carretera definida para el modelo base.

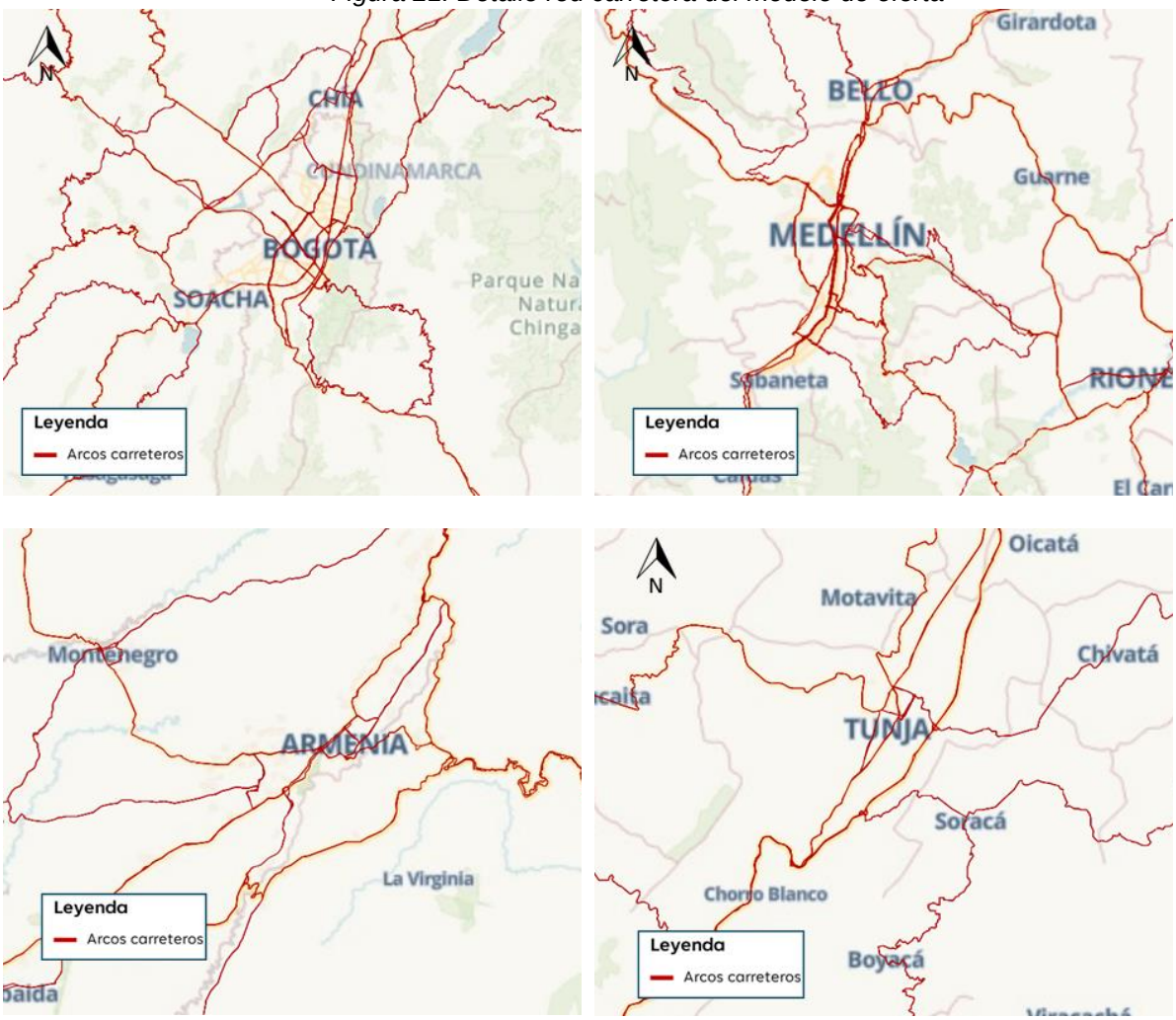
Figura 20. Red carretera modelo de oferta condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Así mismo, en la siguiente figura se muestra el nivel de detalle de la red en las zonas urbanas.

Figura 21. Detalle red carretera del modelo de oferta



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.1.1. Velocidades de operación

La caracterización de las velocidades de operación es fundamental para la elaboración de modelos de simulación de tráfico, que permiten evaluar el desempeño de la red vial y proponer mejoras en la infraestructura existente. Estas dependen de diversos factores como; las condiciones geométricas de la vía, el estado del pavimento, la densidad de tráfico, las condiciones climáticas, y otros.

La caracterización de velocidades en los corredores carreteros de Colombia se realizó utilizando información disponible en plataformas como Google Traffic, de donde se obtuvieron 183.260 registros de manera automática para los meses de abril y noviembre del 2022. Esta información se recopiló para 8 días del mes de abril para 472 tramos y durante 4 días del mes de noviembre para 1443 tramos en períodos que van desde una

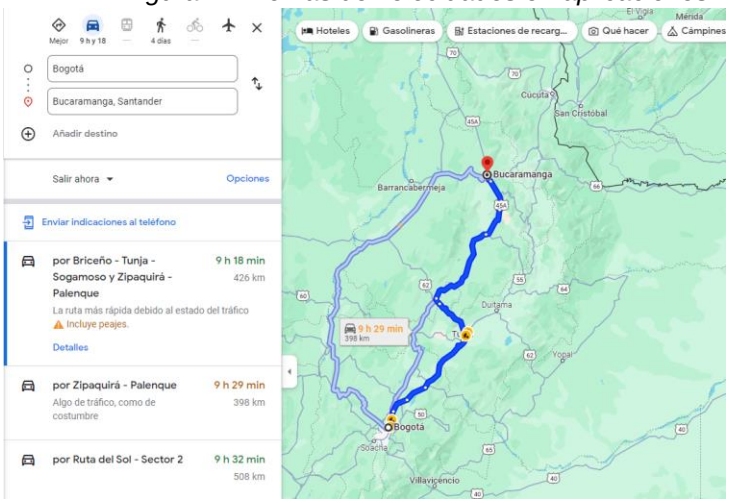
hora hasta 23 horas (ver anexo 03) . Estas herramientas proporcionan datos en tiempo real sobre las condiciones de tráfico y las velocidades de operación en diferentes tramos de la red vial, lo que permite obtener una visión detallada y actualizada del comportamiento del tráfico en el país. La información de velocidades obtenida se agregó al modelo de transporte y de acuerdo con la tipología de vía se obtiene un valor promedio que se asignó al resto de la red. A continuación, se presenta el resumen de la toma de información de velocidades.

Tabla 19. Toma de información de velocidades

Fecha	Día	Hora de inicio	Hora final	Duración (h)	Número de registros
19042022	Martes	12:00	13:00	1	472
21042022	Jueves	5:00	21:00	16	7,552
22042022	Viernes	5:00	21:00	16	7,552
23042022	Sábado	5:00	21:00	16	7,552
24042022	Domingo	5:00	21:00	16	7,552
24112022	Jueves	0:00	23:00	23	33,189
25042022	Lunes	5:00	21:00	16	7,552
25112022	Viernes	0:00	21:00	23	33,189
26042022	Martes	8:00	21:00	13	6,136
26112022	Sábado	0:00	23:00	23	33,189
27042022	Miércoles	8:00	21:00	13	6,136
27112022	Domingo	0:00	23:00	23	33,189
				Total	183,260

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Tomas de velocidades en aplicaciones

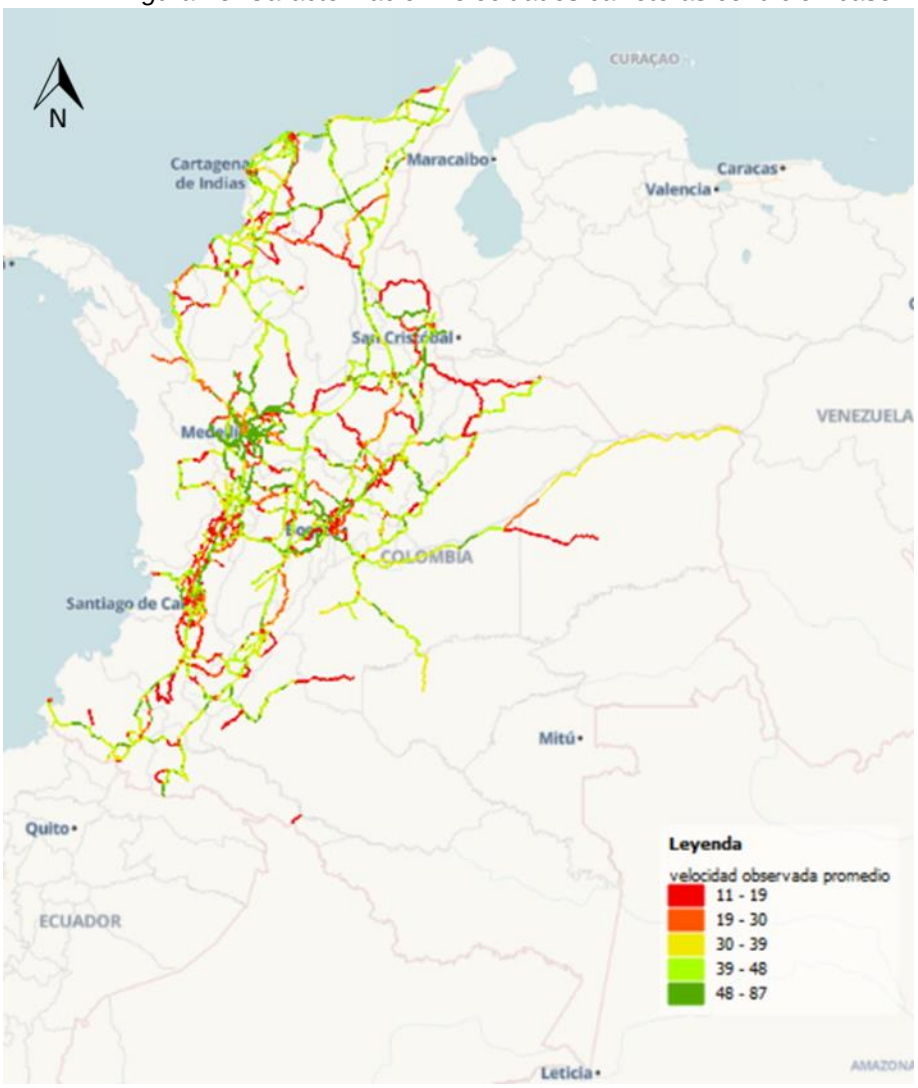


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Una vez consolidada la base de registros de velocidades, el valor que se ingresa a cada arco de modo carretero corresponde al promedio de la velocidad tomadas en la plataforma.

A partir de esta información, se caracterizó la velocidad promedio de operación para los arcos carreteros del modelo.

Figura 23. Caracterización velocidades carreteras condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.1.2. Clasificación arcos viales carreteros

Se realizó la definición de las tipologías viales que toman en cuenta las características del tipo de la capa rodadura (pavimento o afirmado), según el estado que puede ser bueno, regular o malo. Adicionalmente, se considera la pendiente de la vía en función del grado de inclinación del terreno, considerando las categorías plano, ondulado y montañoso. Por lo anterior, la red vial carretera se clasifica en nueve tipologías que combinan el tipo de terreno y el estado del pavimento. La siguiente tabla relaciona las tipologías viales definidas para los arcos carreteros.

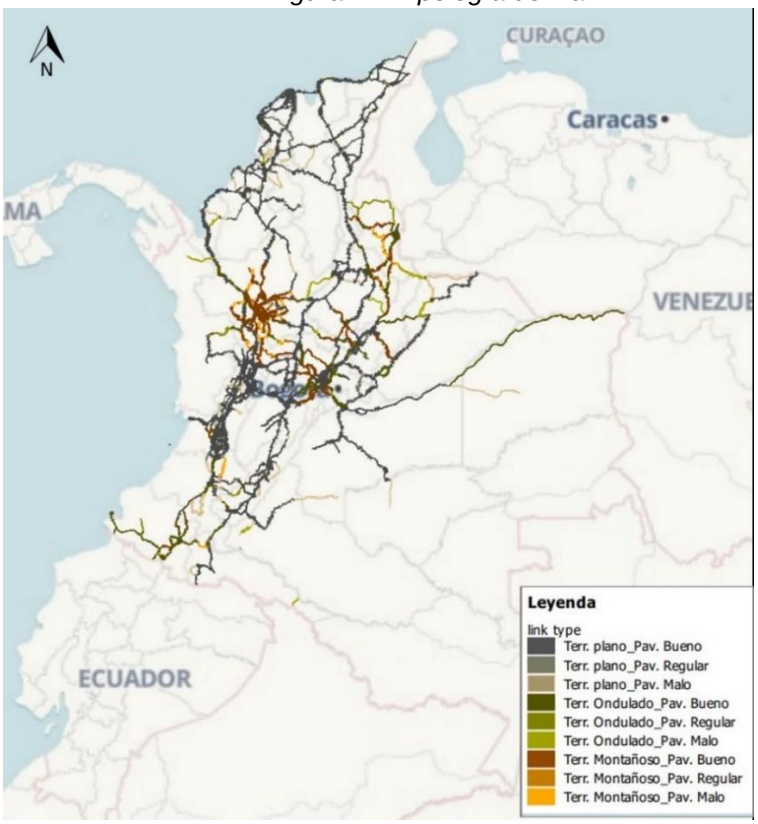
Tabla 20. Tipología de vía según pendiente y estado del pavimento

Tipo	Descripción	Número de arcos en el modelo	Longitud
1	Arco Carretero Tipo de Terreno Plano y Estado Bueno	37,800	27,081.06
2	Arco Carretero Tipo de Terreno Plano y Estado Regular	889	2,736.89
3	Arco Carretero Tipo de Terreno Plano y Estado Malo	1,556	4,315.19
4	Arco Carretero Tipo de Terreno Ondulado y Estado Bueno	6,748	7,174.63
5	Arco Carretero Tipo de Terreno Ondulado y Estado Regular	216	1,111.46
6	Arco Carretero Tipo de Terreno Ondulado y Estado Malo	372	1,396.51
7	Arco Carretero Tipo de Terreno Montañoso y Estado Bueno	13,375	8,285.88
8	Arco Carretero Tipo de Terreno Montañoso y Estado Regular	224	674.81
9	Arco Carretero Tipo de Terreno Montañoso y Estado Malo	514	1,673.23

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta gráficamente la configuración de los arcos carreteros según la pendiente y el estado del pavimento.

Figura 24. Tipología de vía



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.1.2.1. Peajes en arcos carreteros

En Colombia, los peajes son una fuente importante de ingresos para el mantenimiento y desarrollo de la infraestructura vial. La caracterización de los peajes incluye la identificación de su ubicación, los operadores principales, las categorías y las tarifas vigentes.

Los peajes en Colombia son operados principalmente por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y algunos operadores departamentales o municipales, que tienen a su cargo la administración y mantenimiento de las vías en las que se encuentran ubicados los peajes. Estos operadores son responsables de garantizar la operatividad, así como de establecer y actualizar las tarifas de acuerdo con las normativas vigentes.

Las tarifas de los peajes en Colombia varían según el tipo de vehículo y la distancia recorrida. Por lo general, se establecen tarifas diferenciales para vehículos livianos, pesados y del transporte público de pasajeros, con el objetivo de garantizar una contribución equitativa al mantenimiento de la infraestructura vial. Además, de manera paulatina se han implementado sistemas de pago electrónico en algunos peajes, como el TAG y el dispositivo Prepago, para agilizar el proceso de pago y reducir la congestión en las casetas de peaje.

La información sobre los peajes y sus costos en Colombia se encuentra disponible en páginas de internet oficiales de las entidades administradoras de los peajes y esta es actualizada periódicamente para reflejar cambios en las tarifas y condiciones de pago de los usuarios, a su vez está sujeta a regulaciones gubernamentales que garantizan la transparencia y equidad en el cobro de peajes en el país.

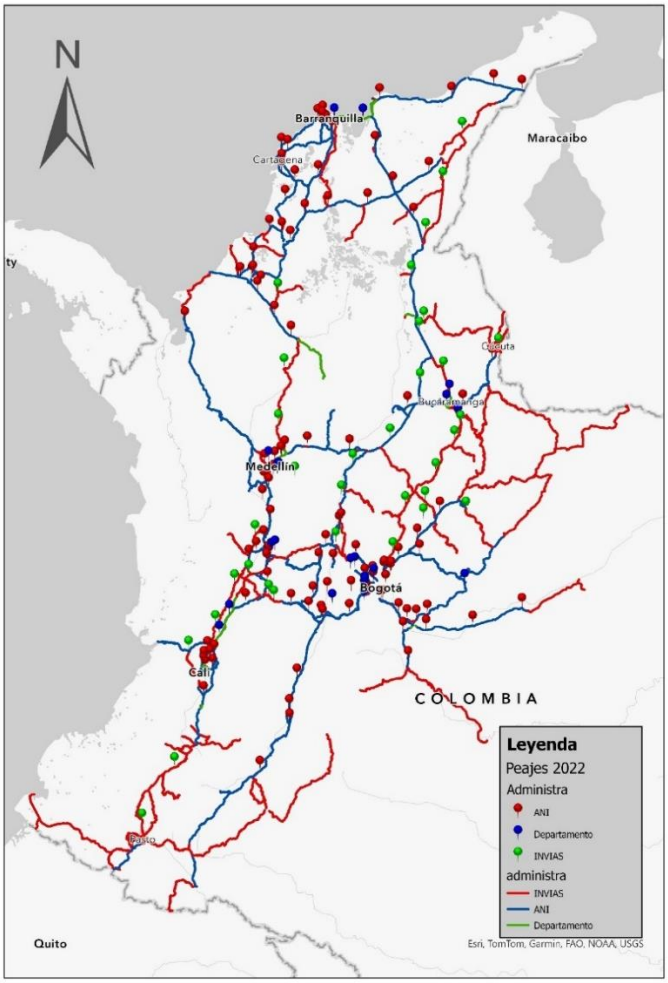
Esta información está cargada en la red de oferta y discriminada por categorías vehiculares de la 1 a la 7 en donde se tendrán en cuenta la aplicación de estas categorías según el tipo de peajes, basado en la siguiente tabla y que se calculara para cada tipo de vehículo en los algoritmos de programación del modelo.

Tabla 21. Tipo de vehículo según categoría de cobro

Categorías de Peaje	Autos	C2P	C2G	C34	C5	C6M
7 categorías	Cat I	Cat III	Cat IV	Cat V	Cat VI	Cat VII
6 categorías	Cat I	Cat III	Cat III	Cat IV	Cat V	Cat VI
5 categorías	Cat I	Cat II	Cat II	Cat III	Cat IV	Cat V

Fuente: Elaboración propia con base en información ANI e INVIAS

Figura 25. Peajes en la red



Fuente: Elaboración propia con base en información ANI e INVIAS

3.1.3. Factores de ajuste de velocidad para vehículos de carga

Este factor representa la afectación que impone la pendiente longitudinal del terreno en la operación vehicular principalmente de carga. La estimación de este factor se realizó para los tipos de terreno plano, ondulado y montañoso, considerando cinco tipologías de camiones, camiones pequeños de dos ejes (C2P), camiones grandes de dos ejes (C2G), camiones de 3 y 4 ejes (C34), camiones de 5 ejes (C5) y camiones de 6 ejes y más (C6). Para esto se realizó una matriz de tiempos origen – destino basado en la información de tiempos obtenida a partir de la base de datos del Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de carga (SICE -TAC)[3] y como punto de referencia de comparación se consideraron la velocidad de operación observada para el transporte privado. Es decir, que el factor de ajuste de velocidad para los vehículos de carga

[3] Ministerio de Transporte. https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417

corresponde a la relación entre la velocidad observada para el automóvil y la velocidad calculada con la base del SICE -TAC. A continuación, se listan los factores obtenidos.

Tabla 22. Factores de ajuste a velocidad para vehículos de carga

Tipologías	Factor de velocidad plano	Factor de velocidad ondulado	Factor de velocidad Montañoso
C2P	0.54	0.52	0.57
C2G	0.54	0.52	0.57
C34	0.61	0.57	0.84
C5	0.61	0.57	0.94
C6	0.57	0.57	0.90

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.1.4. Definición de la función de costo generalizado

La estimación del costo en los arcos de la red se realizó teniendo en cuenta varios elementos que pueden afectar en la decisión de la ruta, dentro de estos se tiene el costo de operación vehicular, el factor de incremento del costo por pasos urbanos, la longitud del arco y por el último el costo del peaje para cada tipología vehicular. A continuación, se describe la función de costo y las variables utilizadas,

Donde:

C: costo total en los arcos por tipología vehicular (COP).

COV: costo de operación por tipología vehicular estimado a partir de datos INVIAS 2016 y proyectados a 2022 con IPC (COP/km).

Faccovu: factor de incremento del COV por pasos urbanos.

L: longitud del arco (Km).

P: costo de peaje para cada tipología vehicular (COP).

A continuación, se describe el proceso de estimación de cada una de las variables dentro de la función de costo generalizado.

3.1.4.1. Costo de operación vehicular (COV)

Para la estimación del COV se definieron treinta y seis tipologías viales en la red de transporte carretero, las cuales resultaron de la combinación de tipos de terreno (plano, plano ondulado, ondulado, sinuoso, montañoso y escarpado), el tipo de pavimento (pavimentado y afirmado) y el estado del pavimento (bueno, regular, malo). Adicionalmente, a cada tipología definida le fueron asignados costos de operación vehicular estimados a

partir de datos del INVIAS 2016[4] y proyectados al año 2022, discriminados por tipología vehicular.

Tabla 23. Costos de operación vehicular para transporte carretero COPkm)

Pendiente	Pavimento	Autos (COV 2022)	C2P (COV 2022)	C2G (COV 2022)	C34(COV 2022)	C5 (COV 2022)	C6M (COV 2022)
Plano	Pavimentado bueno	1454.404	2182.662	2182.662	3728.389	6335.714	6335.714
Plano	Pavimentado regular	1526.604	2367.402	2367.402	3987.399	6887.712	6887.712
Plano	Pavimentado malo	1618.959	2513.895	2513.895	4195.483	7365.465	7365.465
Plano	Afirmado bueno	1592.425	2524.506	2524.506	4301.64	7686.103	7686.103
Plano	Afirmado regular	1656.113	2755.94	2755.94	4694.468	8539.626	8539.626
Plano	Afirmado malo	1924.703	2989.506	2989.506	5184.909	9514.121	9514.121
Plano ondulado	Pavimentado bueno	1483.065	2184.798	2184.798	3736.871	6369.692	6369.692
Plano ondulado	Pavimentado regular	1549.954	2367.397	2367.397	3995.904	6923.8	6923.8
Plano ondulado	Pavimentado malo	1629.578	2513.898	2513.898	4206.12	7412.184	7412.184
Plano ondulado	Afirmado bueno	1594.534	2528.758	2528.758	4303.772	7709.443	7709.443
Plano ondulado	Afirmado regular	1658.233	2758.074	2758.074	4698.691	8560.866	8560.866
Plano ondulado	Afirmado malo	1925.755	2991.626	2991.626	5193.381	9524.794	9524.794
Ondulado	Pavimentado bueno	1551.012	2184.807	2184.807	3741.133	6448.239	6448.239
Ondulado	Pavimentado regular	1608.334	2367.398	2367.398	4002.27	7002.352	7002.352
Ondulado	Pavimentado malo	1655.045	2516.021	2516.021	4212.456	7490.766	7490.766
Ondulado	Afirmado bueno	1594.535	2528.751	2528.751	4316.511	7777.363	7777.363
Ondulado	Afirmado regular	1766.516	2760.194	2760.194	4707.198	8628.732	8628.732
Ondulado	Afirmado malo	1928.953	2993.755	2993.755	5197.664	9582.092	9582.092
Sinuoso	Pavimentado bueno	1601.973	2191.163	2191.163	3794.187	6891.979	6891.979
Sinuoso	Pavimentado regular	1644.434	2375.874	2375.874	4057.466	7433.364	7433.364
Sinuoso	Pavimentado malo	1667.789	2522.401	2522.401	4286.794	7908.987	7908.987
Sinuoso	Afirmado bueno	1596.662	2539.369	2539.369	4380.186	8110.685	8110.685
Sinuoso	Afirmado regular	1768.635	2772.925	2772.925	4760.288	8894.196	8894.196
Sinuoso	Afirmado malo	1933.2	3006.48	3006.48	5246.493	9781.675	9781.675
Montañoso	Pavimentado bueno	1621.083	2210.281	2210.281	3815.438	7089.467	7089.467
Montañoso	Pavimentado regular	1659.292	2392.862	2392.862	4078.73	7639.315	7639.315

[4] Instituto Nacional de vías (INVIAS), 2017. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6608-costos-de-operacion-vehicular

Pendiente	Pavimento	Autos (COV 2022)	C2P (COV 2022)	C2G (COV 2022)	C34(COV 2022)	C5 (COV 2022)	C6M (COV 2022)
Montañoso	Pavimentado malo	1670.969	2539.379	2539.379	4301.635	8134.064	8134.064
Montañoso	Afirmado bueno	1610.464	2569.104	2569.104	4416.285	8346.395	8346.395
Montañoso	Afirmado regular	1780.32	2796.295	2796.295	4766.634	9144.709	9144.709
Montañoso	Afirmado malo	1940.633	3023.468	3023.468	5254.986	10034.389	10034.389
Escarpado	Pavimentado bueno	1623.208	2324.931	2324.931	4274.059	8359.118	8359.118
Escarpado	Pavimentado regular	1661.415	2507.52	2507.52	4537.349	8913.242	8913.242
Escarpado	Pavimentado malo	1673.096	2658.261	2658.261	4756.027	9388.851	9388.851
Escarpado	Afirmado bueno	1629.576	2683.745	2683.745	4830.331	9645.847	9645.847
Escarpado	Afirmado regular	1804.743	2913.067	2913.067	5104.206	10427.145	10427.145
Escarpado	Afirmado malo	1958.667	3140.236	3140.236	5609.531	11263.694	11263.694

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.1.4.2. Factor de incremento por paso urbano (Faccovu)

La estimación del factor de incremento por paso urbano busca representar aquellas variables que aumentan los tiempos de viaje dentro de los arcos urbanos y que no están representadas dentro de la red. Las condiciones de tráfico en entornos urbanos suelen ser más complejas debido a la presencia de diferentes actores como vehículos particulares, transporte público, bicicletas y peatones. Esta coexistencia genera una mayor complejidad en el tráfico y, por ende, incrementa los costos de operación. Además, la presencia de semáforos y señales de tráfico provoca frecuentes paradas y arranques, lo que aumenta el consumo de combustible y el desgaste de componentes vehiculares como frenos y neumáticos. Las zonas urbanas también experimentan altos niveles de congestión vehicular, especialmente en horas pico, lo que resulta en tiempos de viaje más largos y mayores costos de operación debido al incremento en el consumo de combustible y el tiempo de trabajo de los conductores. Otros factores como obras viales, eventos especiales y condiciones climáticas adversas pueden causar detenciones y retrasos inesperados, aumentando aún más los costos.

Para simular de manera más realista la preferencia de los conductores por vías alternas (anillos viales para el tráfico de paso en municipios), que eviten las zonas urbanas congestionadas, se realizó la revisión de diversas fuentes de información para con el fin de estimar un factor que pudiese representar esta situación. Documentos técnicos como el Manual de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS)[5] y estudios de la International

[5] Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Edición 2018. Bogotá, Colombia.

Road Assessment Programme (IRAP)[6] indican que los costos de operación pueden incrementarse entre un 20% y un 30% en áreas urbanas en comparación con áreas rurales o periurbanas, debido a factores como la congestión, el número de paradas y arranques, y el estado variable de las vías.

Se implemento un factor de 25.51%, tal como se estableció en el Plan Regional de Transporte Intermodal para las subregiones Pacífico Medio, Pacífico Frontera Nariñense, Alto Patía y Norte del Cauca de tal forma que los modelos de elección de ruta pudiesen identificar de manera más precisa las rutas óptimas en términos de costo y tiempo.

3.1.4.3. Costo de peaje para cada tipología vehicular (COP)

Estos costos fueron considerados dentro de la caracterización de la red de transporte carretero correspondiente a las plazas de peaje. Estas fueron incorporadas a la red tomando como referencia las tarifas del año 2022 de acuerdo con cada tipología vehicular, como se mencionó anteriormente en el título 3.1.2.1. Peajes en arcos carreteros. Los valores por categoría se pueden consultar en el directorio del modelo (anexo 16).

3.1.5. Tratamiento de fletes carreteros

La información de fletes tomada como referencia en el modelo se basa en la base de datos del sistema de información de costos eficientes de carga (SICE-TAC) del Ministerio de Transporte. Se trata de un sistema de información que permite medir o calcular los costos de operación de transporte de acuerdo con las características propias de cada viaje, incluyendo tipo de vehículo, tipo de carga, OD, horas estimadas de espera, cargue y descargue. Así mismo, el sistema contempla la estructura de costos fijos, variables y otros según se describe a continuación (Mintransporte, 2024)[7]:

> **Costos fijos:** salarios y prestaciones básicas (tripulación), los seguros, el parqueadero, los impuestos y la recuperación de capital.
> **Costos variables:** combustibles, mantenimiento y reparaciones, las llantas, los peajes, los lubricantes, el lavado y engrase y los imprevistos.
> **Otros Costos:** comisiones y prestaciones, el factor de administración, la retefuente y la reteICA.

En el anexo 04 se presenta una base de datos de viajes del SICE-TAC, que contiene información para el año 2024 sobre los orígenes y destinos de los viajes, las toneladas transportadas, el tipo de carga, el tipo de vehículo utilizado, el tiempo de viaje, la distancia recorrida y el costo total pagado por el viaje. A esta base de datos se le aplicó un proceso de depuración, eliminando registros con información nula o incompleta, así como valores

[6] International Road Assessment Programme (IRAP). Global Road Safety Facility: Annual Report 2021. Londres, Reino Unido, 2021. Disponible en www.irap.org
[7] Ministerio de transporte. https://mintransporte.gov.co/publicaciones/4462/sice-tac/

atípicos (valores de flete por tonelada/kilometro superiores a 723 pesos o inferiores a 115 pesos).

A partir de esta base de datos, se calcularon los fletes por kilómetro para el transporte de una tonelada, discriminando los valores por tipo de carga (refrigerada, contenedor, general y granel sólido) y por tipología vehicular. Estos valores fueron asignados a una tipología de arco que representa un terreno ondulado con un estado de pavimento regular. Los anteriores valores se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 24. Fletes para terreno ondulado, pavimento regular (COP/Ton/km)

Tipo de carga/tipología vehicular	C2	C34	C5	C6M
Carga refrigerada	371.54	292.62	189.31	182.61
Contendor		191.48		169.36
General	339.60	248.07	171.13	169.36
Granel sólido	342.32	277.85	178.77	166.94

Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

A partir de la construcción de una segunda base de datos a partir de consultas manuales en el SICETAC, se obtuvo el factor del consumo de combustible (km/galón) por tipo de terreno, que permitieron estimar los valores de fletes para las nueve tipologías de arcos viales de transporte definidas para la modelación. En la siguiente tabla se relacionan los valores de combustible por kilómetros recorrido para combinaciones posibles de tipo de carga y la configuración de vehículo que contempla el SICETAC.

Tabla 25. Consumo por combustible SICE-TAC por tipo de terreno

Tipología	Descripción	Tipo carga	Plano	Ondulado	Montañoso
C2	Camión sencillo de dos ejes	General	12.70	10.01	7.81
C34	Tractocamión de dos ejes Minimula con semirremolque de dos ejes	General	8.76	6.76	5.07
C5	Tractocamión de dos ejes Minimula con semirremolque de tres ejes	General	8.76	6.76	5.07
C34	Camión de tres ejes - Dobletroque	General	8.06	6.22	4.66
C5	Tractocamión de tres ejes Tractomula con semirremolque de dos ejes	General	6.80	5.04	3.42
C6M	Tractocamión de tres ejes Tractomula con semirremolque de tres ejes	General	6.48	4.80	3.26
C2	Camión sencillo de dos ejes	Granel Sólido	12.70	10.01	7.81
C34	Camión de tres ejes - Dobletroque	Granel Sólido	8.06	6.22	4.66

Tipología	Descripción	Tipo carga	Plano	Ondulado	Montañoso
C5	Tractocamión de tres ejes Tractomula con semirremolque de dos ejes	Granel Sólido	6.48	4.80	3.26
C6M	Tractocamión de tres ejes Tractomula con semirremolque de tres ejes	Granel Sólido	6.80	5.04	3.42
C34	Camión sencillo de dos ejes	Contenedor	8.76	6.76	5.07
C6M	Camión de tres ejes - Dobletroque	Contenedor	6.48	4.80	3.26
C2	Tractocamión de dos ejes Minimula con semirremolque de dos ejes	Carga refrigerada	12.70	10.01	7.81
C34	Tractocamión de tres ejes Tractomula con semirremolque de tres ejes	Carga refrigerada	8.06	6.22	4.66
C5	Camión sencillo de dos ejes	Carga refrigerada	6.80	5.04	3.42

Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

Los valores de fletes carreteros calculados para la combinación de tipo de terreno, tipo de carga y configuración de vehículo para el año 2024 se transformaron a valores para el año 2022 a partir de datos de los costos fijos, costos variables y precio del ACPM del SICETAC (ver anexo 05).

Se realizó el análisis de la variación entre los precios del año 2024 y el año 2022 para calcular la tasa de decrecimiento. Lo anterior se realizó teniendo en cuenta el porcentaje de participación de cada uno de los valores de los ítems que componen el valor del costo total del viaje. Para lo anterior se tuvo en cuenta la estructura de costos formulada en el SICE-TAC para los viajes (ver anexo 04). Los ítems para los que se obtuvo información para los dos años fueron:

La revisión técnico-mecánica
Comunicación
El salario
El SOAT
El seguro todo riesgo
El costo del parqueadero
Valor del vehículo comercial
Costos adicionales
Combustible

Con los valores 2024, 2022 y los porcentajes de participación dentro del costo total de viaje de los anteriores ítems, se calculó la tasa de variación del flete, lo cual permitió llevar los valores de flete Tonelada/km. En la siguiente tabla se relacionan las tasas de flete del año 2024 al año 2022.

Tabla 26. Tasa de fletes del año 2024 al año 2022

Tipo carga	Tipología	Tasa 2024 - 2022
General	C2	0.065
General	C34	0.051
General	C5	0.052
General	C6M	0.045
Granel Sólido	C2	0.066
Granel Sólido	C34	0.051
Granel Sólido	C5	0.044
Granel Sólido	C6M	0.047
Contenedor	C34	0.049
Contenedor	C6M	0.045
Carga Refrigerada	C2	0.071
Carga Refrigerada	C34	0.053
Carga Refrigerada	C5	0.051
Carga Refrigerada	C6M	0.050

Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

En la siguiente tabla se muestran los valores de flete calculados para el año 2022 por tipo de carga y tipología vehicular.

Tabla 27. Flete carretero por tipología vehicular (COP/Ton/km)

		Flete Terreno Plano (Ton/km)			Flete Terreno Ondulado (Ton/km)			Flete Terreno montañoso (Ton/km)		
Tipo carga	Tipología	Pav. Bueno	Pav. Regular	Pav. Malo	Pav. Bueno	Pav. Regular	Pav. Malo	Pav. Bueno	Pav. Regular	Pav. Malo
General	C2	217.461	235.867	250.462	276.171	299.252	318.039	354.283	383.548	407.033
General	C34	243.284	260.184	273.762	315.159	337.157	354.864	420.740	449.774	474.355
General	C5	178.469	194.018	207.476	235.596	255.841	273.686	329.992	355.586	378.615
General	C6M	212.064	230.540	246.531	286.601	311.230	332.938	425.269	458.252	487.930
Granel Sólido	C2	219.205	237.758	252.470	278.386	301.651	320.588	357.123	386.623	410.297
Granel Sólido	C34	284.318	304.069	319.937	368.310	394.019	414.712	491.973	525.922	554.664
Granel Sólido	C5	223.848	243.350	260.230	302.526	328.523	351.437	448.899	483.715	515.042
Granel Sólido	C6M	199.199	216.554	231.575	269.055	292.176	312.555	399.584	430.575	458.461
Contenedor	C34	180.279	192.803	202.864	233.543	249.845	262.966	311.622	333.126	351.332
Contenedor	C6M	212.064	230.540	246.531	286.601	311.230	332.938	425.269	458.252	487.930
Carga Refrigerada	C2	237.916	258.053	274.021	302.148	327.400	347.954	387.607	419.625	445.319
Carga Refrigerada	C34	299.434	320.236	336.947	387.892	414.968	436.760	518.129	553.884	584.154
Carga Refrigerada	C5	225.882	245.561	262.594	305.095	331.313	354.422	453.108	488.251	519.872
Carga Refrigerada	C6M	228.654	248.575	265.817	309.022	335.577	358.983	458.537	494.101	526.101

Fuente: Elaboración propia

Los datos seleccionados para modelación fueron los valores de flete calculados para el tipo de carga general y las tipologías C6M y C2G, ya que corresponden a los vehículos predominantes de la carga Comex y doméstica, la estimación de los vehículos predominantes se detallará más adelante.

Asimismo, utilizando las bases de datos generadas de las consultas al SICE-TAC, se realizó la validación de la variabilidad del costo de viaje para los distintos segmentos en la misma tipología vehicular. Se encontró que el costo del viaje es el mismo para el camión C6M para el tipo de carga general, contenedor y refrigerada, sin embargo, varia para los graneles

sólidos con una disminución del 4.7% . Para la tipología C2G el valor del costo total del viaje no varía en función del tipo de carga. En la siguiente tabla se relacionan los factores de flete por segmento de carga para las tipologías C6M y C2G que corresponden a los vehículos predominantes para los diferentes segmentos tanto de carga Comex como de carga doméstica.

Tabla 28. Factor de flete carretero por segmento de carga

ID	Segmento de carga	C6M	C2G
1	Alimento Agro	0.96	1.00
2	Alimento para animales	1.00	1.00
3	Alimentos Procesados	1.00	1.00
4	Animales Vivos	1.00	1.00
5	Bebidas con y sin alcohol	1.00	1.00
6	Combustibles	1.00	1.00
7	Grasas y aceites animales o vegetales	1.00	1.00
8	Hidrocarburos	1.00	1.00
9	Maderas	0.96	1.00
10	Materiales de construcción	1.00	1.00
11	Minerales	0.96	1.00
12	Papel y cartón	1.00	1.00
13	Producción Industrial	1.00	1.00
14	Otros	1.00	1.00
16	Carga general	1.00	1.00
17	Granel solido distinto de carbón	0.96	1.00
18	Granel líquido distinto de hidrocarburos	1.00	1.00
19	hidrocarburos crudos	1.00	1.00
20	hidrocarburos refinados	1.00	1.00
21	Contenedor	1.00	1.00
22	Contenedor refrigerado	1.00	1.00
23	Carbón metalúrgico y coque	0.96	1.00
24	Carbón térmico	0.96	1.00

Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

Con los valores de flete-Tonelada/km estimados para los diferentes arcos viales, se realizó la asignación de matrices de viajes Comex y domésticas para obtener los fletes totales entre los diferentes pares origen–destinos calculados a partir del modelo.

A partir de la base de datos del SICE-TAC de los costos por viaje transportado, se tiene una matriz de orígenes y destinos para las capitales y algunas ciudades intermedias en Colombia, que dice cuánto se debe cobrar por concepto de flete en transporte carretero. Es importante mencionar que la información abarca los principales OD de la red a modelar, pero no alcanza a cubrir el detalle total de la zonificación que hace parte del estudio. Por ello es necesario definir una metodología de conversión de fletes y asignación a los municipios que no cuentan con información:

> Se toma como referencia las nueve tipologías viales que se conforman según el tipo de terreno y el estado de la superficie de rodadura. Para cada par OD de la red se realiza una medición acumulada de kilómetros de ruta para cada una de las

tipologías viales definidas que conforman cada uno de los segmentos de la ruta del par OD.

Para las ciudades principales donde sí se tiene información de flete disponible en la base de costos eficientes SICE-TAC se calcula un flete promedio por tipo de vía y que se aproxime al acumulado total de las distintas tipologías de vías que conforman el par OD. Es decir, se genera 9 estadísticas de kilómetros que recorren ese par OD y se estima el costo por kilómetro de flete (tonelada km), que, al sumarse y acumularse, define la aproximación más parecida a todos los orígenes y destinos del SICE-TAC.

Con esta aproximación se estima un factor de ajuste que corresponde al cociente del valor del SICE-TAC entre el valor acumulado aproximado que se obtiene desde el modelo. De esa manera en el año base para la situación calibrada se tiene exactamente lo reportado en SICE-TAC.

Gracias a este proceso de estimación del factor de ajuste, es posible asignar una información de fletes en aquellos pares OD donde no se tiene información de la base de datos del sistema de costos eficientes. Por ejemplo, podría tomarse un par OD desde el municipio de Cajicá en Cundinamarca hacia el municipio del Carmen de Bolívar . En este caso, se hace referencia al par entre capitales informado en la base de datos, es decir, el trayecto Bogotá – Cartagena del que se tomará la información de flete de referencia y su correspondiente factor de ajuste. Posteriormente con las distancias acumuladas reales por tipología vial entre los municipios Cajicá-Carmen de Bolívar se valida la distancia total acumulada de viaje y se estima el flete correspondiente a partir del factor de ajuste.

Adicionalmente, esta metodología permite brindar una estimación consistente de los fletes asociados a la entrada de nuevos proyectos carreteros, ya que el valor a estimar de los fletes toma en cuenta la nueva tipología vial definida para el corredor. Es decir, para un par OD permite incorporar los posibles ahorros en distancias y nuevos beneficios en las condiciones de circulación al contemplar mejores especificaciones viales para los nuevos corredores con respecto a las opciones actuales.

Basado en lo anterior, se llevó a cabo la validación y actualización de las denominadas “matrices de ajustes del flete del modo carretero”, las cuales se obtuvieron a partir del cálculo del factor de transformación de la acumulación de los costos de operación vehicular (COV) y peajes al valor de flete. Para calcular este factor, se toma el costo total de operación vehicular y peajes reportado por el modelo de transporte y se divide en el valor reportado en el SICE-TAC, asegurando así una representación precisa y efectiva de los costos de flete en distintos escenarios de transporte.

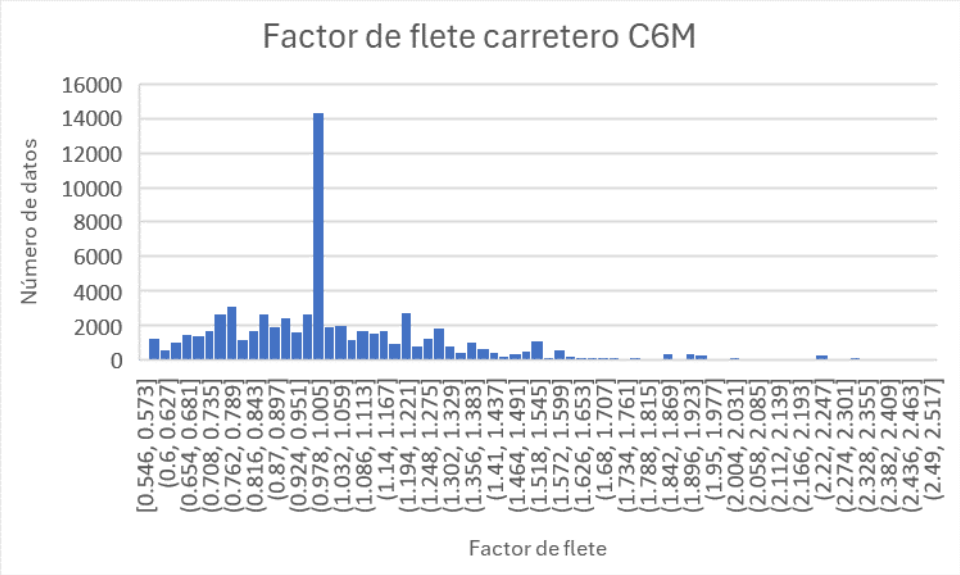
En el anexo 06 se presentan los factores de flete por zona portuaria para las matrices de viajes Comex.

En el anexo 07 se presentan los factores de flete carretero para las matrices domésticas para la tipología vehicular C6M.

En el anexo 08 se presentan los factores de flete carretero para las matrices domésticas para la tipología vehicular C2G.

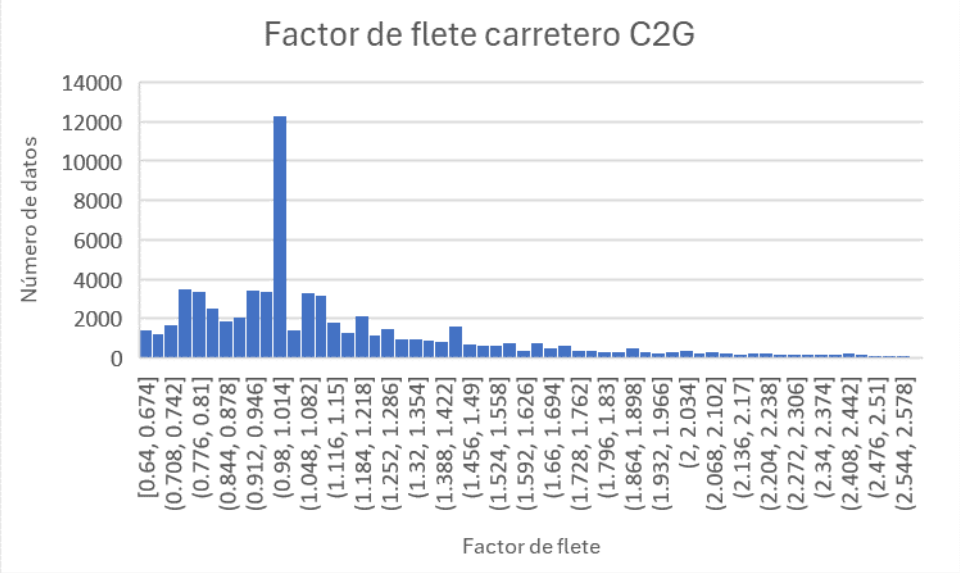
A continuación, se presentan los histogramas de frecuencia acumulada en función del factor de flete por cada par origen- destino para la carga doméstica para las tipologías vehiculares C6M y C2G.

Figura 26. Frecuencia acumulada factor de flete por par OD C6M



Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

Figura 27. Frecuencia acumulada factor de flete por par OD C2G



Fuente: Elaboración propia con base en información del SICETAC

3.2. Red férrea

La red férrea en Colombia es limitada, pero desempeña un papel importante en el transporte de carga pesada, especialmente de productos como el carbón y otros minerales. Se compone principalmente de líneas que conectan las zonas de producción con los puertos de exportación. Para la caracterización de las vías férreas se tomó como referencia la información proporcionada en los boletines de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y el Ministerio de Transporte a través del Portal Logístico de Colombia[8]. Asimismo, se consideró la información del PMTI 2019, y del estudio de demanda y mercado del modo férreo desarrollado por el DNP en el año 2022. De igual manera, se consideraron las especificaciones técnicas que definen las velocidades acordes a las restricciones de vía por su geometría, características de rieles, tipología de locomotora y material rodante, pendientes entre otros. A continuación, se muestran los tramos considerados en el modelo.

Figura 28. Corredores férreos condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

[8] Ministerio de Transporte, 2024. https://plc.mintransporte.gov.co/Estad%C3%ADsticas/Carga-Modo-f%C3%A9rreo

En el caso de las líneas férreas, se determinó la longitud total de la red utilizando información oficial de entidades especializadas en transporte. Esta medida es esencial para la planificación y gestión eficiente de la red ferroviaria, permitiendo identificar áreas de mejora y optimización. En la siguiente tabla se muestran las longitudes de los tramos modelados (teniendo en cuenta los dos sentidos de circulación)

Tabla 29. Longitud de los tramos férreos

Tramo	Longitud (km)
Arco Ferroviario del Cerrejón	268.66
Arco Ferroviario de Fenoco	498.58
Arco Ferroviario La Dorada - Chiriguaná	1,022.19
Arco Ferroviario Bogotá - Belencito	514.02

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En términos de caracterización para el modo férreo, con base en la información secundaria recopilada, se realizó la revisión, validación y complemento de la parametrización de los tramos que conforman la red ferroviaria en cuanto a: velocidad de transporte del convoy (Km/h) y tarifa unitaria del flete en la ferrovía ($/ton/km), para cada segmento de demanda considerados. En la siguiente tabla se relacionan los costos por tonelada kilómetro para los segmentos de comercio exterior y doméstico.

Tabla 30. Costos de movilización de carga en modo férreo para el año 2022

Tramo	Segmento de demanda	Flete (COP/Ton/Km)
Cerrejón	ctco	40.53
Chiriguaná – Santa Marta	cgco	40.53
	cnrco	82.27
	crco	82.27
	ctco	40.53
	glco	82.64
	gsco	82.64
	cgco	86.98
Dorada – Chiriguaná	cnrco	82.27
	crco	82.27
	ctco	86.98
	glco	86.98
	gsco	86.98
	codo	82.26
Bogotá - Belencito	cgco	87.06
	cnrco	87.06
	gsco	87.06
	mcdo	77.82

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

A continuación, se presenta la información de velocidades para cada uno de los tramos considerados.

Tabla 31. Velocidades de operación en corredores férreos

Tramo Férreo	Velocidad (km/h)
Cerrejón	40
Chiriguaná – Santa Marta	30
La Dorada – Chiriguaná	40
Bogotá - Belencito	20

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

3.3. Red fluvio-marítima

La descripción de la red de transporte fluvio-marítima se basó en la identificación de los cursos fluviales y marítimos con operación fluvial de transporte de pasajeros y de carga en el país. A pesar de la presencia abundante de ríos y esteros en estas áreas, se identificó que, para el proceso de modelación de la situación actual, era necesario centrarse en los trazados fluvio-marítimos que contaban con una demanda significativa de carga y pasajeros. La siguiente figura muestra la localización de los arcos fluviales que son utilizados para el transporte de personas y mercancías en Colombia.

Figura 29. Red fluvial



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se relacionan los ríos que se consideraron en el modelo, con la longitud calculada desde la herramienta de modelación, es importante mencionar que el valor es una aproximación dada la sinuosidad de los ríos, así mismo la información que se presenta corresponde a los dos sentidos de circulación.

Tabla 32. Longitud de los enlaces fluviales

Tramo	Longitud (km)	Tramo	Longitud (km)
Río Amazonas	283.90	Río Guaviare	2,326.64
Acuapista del pacífico	1,959.86	Río Inírida	1,434.81
Conexión acuapista	112.66	Río Magdalena	1,568.24
Río Guajui: Guapi, San José de Guare	73.48	Río Meta	1,742
Río Guiza	198	Río Orinoco	678
Río Mira	419.25	Río Orteguaza	313.26
Río Saija	19	Río León	22.80
Río San Juan Bajo Calima	119.76	Río Putumayo	3,035.17
Río Telembí	266.03	Río San Jorge	776.11
Río Naya	28.99	Río San Juan	548
Río Arauca	506	Río Sinú	452
Río Atrato	1,144.81	Río Vaupés	1,450.31
Río Baudó	408	Río Vichada	1,102
Río Caguán	876.76	Rio Apaporis	1,472.80
Canal del Dique	237.89	Rio San Miguel	414.84
Río Caquetá	2,502.03	Rio Unilla	307.55
Río Cauca	2,102		

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La caracterización de los corredores fluviales se realiza de acuerdo con la información primaria de Encuestas Origen – Destino, entrevistas a inspectores fluviales y entrevistas a empresa, y con información secundaria, específicamente de Plan Amazónico de Transporte Intermodal (PATIS) realizado por EPYPASA COLOMBIA mediante el contrato de consultoría N° VA-CCOC-037-2021. De esta recopilación de información se tiene diecisiete ríos, agregados en cuatro regiones, Amazónica, Orinoquía, Pacífico y caribe. En la siguiente tabla se muestran los ríos considerados en cada región.

Tabla 33. Ríos regiones Amazónica y Orinoquía

ID	Región Amazónica
1	Río Caquetá
2	Río Guaviare
3	Río Inírida
4	Río Orteguaza
5	Río Putumayo
6	Río Amazonas
7	Río Caguán
8	Río Vaupés

ID	Región Orinoquía
9	Río Meta
10	Rio Arauca
11	Río Orinoco
12	Río Vichada

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

Tabla 34. Ríos regiones Pacífico y Caribe

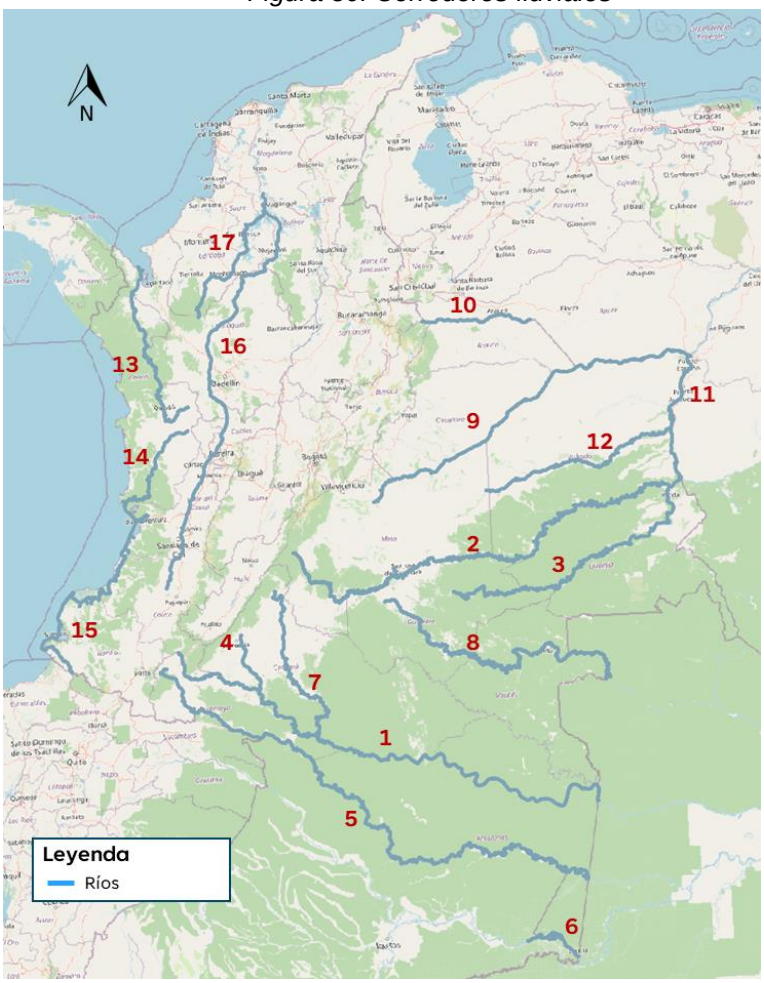
ID	Región Pacífico
13	Rio Atrato
14	Río San Juan
15	Acuapista del Pacífico

ID	Región Caribe
16	Rio Cauca
17	Río San Jorge

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

En la siguiente figura se muestran los rio considerados, de acuerdo con la información primaria e información secundaria específicamente del PATIS.

Figura 30. Corredores fluviales



Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

De acuerdo con las anteriores fuentes de información, se determinaron los costos kilométricos por tonelada transportada en los diecisiete ríos anteriormente mencionados. Es importante mencionar que la información de los ríos Amazonas, Caguán, Cauca, Arauca, Orinoco, Vichada y San Juan, corresponde a un promedio de los costos de los demás ríos de la Región donde se encuentran, esto debido a que no se cuenta con información consistente, para el río Magdalena fueron utilizados datos provenientes de la consultoría especializada para elaboración de demanda de transporte en el corredor del río Magdalena y el Canal del Dique En la siguiente tabla se muestra la información correspondiente.

Tabla 35. Costos de transporte en ríos

Rio	Costo x km x ton
Acuapista del Pacífico	$ 1.569

Rio	Costo x km x ton
Amazonas	$ 720
Arauca	$ 505
Atrato	$ 702
Caguán	$ 720
Caquetá	$ 528
Cauca	$ 3.151
Guaviare	$ 267
Inírida	$ 2.913
Magdalena	$ 112
Meta	$ 505
Orinoco	$ 505
Orteguaza	$ 476
Putumayo	$ 103
San Jorge	$ 3.151
San Juan	$ 1.135
Vaupés	$ 32
Vichada	$ 505

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

En la siguiente tabla se muestran las velocidades de operación de algunos ríos importantes en la nación.

Tabla 36. Velocidades en corredores fluviales

Río	Velocidad (km/hr)
Río Amazonas	10
Río Arauca	8
Río Atrato	9

Río	Velocidad (km/hr)
Río Caguán	8
Río Caquetá	11
Río Guaviare	8
Río Inírida	8
Río Meta	8
Río Orinoco	8
Río Orteguaza	12
Río Putumayo	10
Río San Jorge	6
Río San Juan	12
Río Vaupés	7
Río Vichada	7
Río León	13
Río Magdalena	20
Acuapista del pacífico	20
Canal del Dique	14
Río Apaporis	9
Río Baudó	10
Río Guajui: Guapi, San José de Guare	5
Río Guiza	5
Río Mira	5
Río Saija	5
Río San Juan Bajo Calima	12
Río Sinú	7
Río Telembí	5

Río	Velocidad (km/hr)
Río Yana	5

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

El modo fluvial para las ZPP, a diferencia de los demás cuenta con poca información general, gran porcentaje de informalidad en sus rutas y poco control en sus registros que no permiten conocer la información plena de la situación actual; a pesar de esto, se realizó un estudio profundo por medio de información secundaria además de visitas de campo a puertos importantes de estas ZPP que permitieran conocer parte de la situación actual para el transporte de carga.

El proceso de construcción de redes fluviales parte del reconocimiento de los ríos en donde se tiene registro histórico de operación de carga, con base en la consulta en el Portal Logístico Colombiano (Portal Logístico de Colombia, Ministerio de Transporte, 2024). Esta información es complementada con el registro de puertos, muelles y embarcaderos reportado por la Superintendencia de Transporte (Superintendencia de Transporte, 2022). Dentro de este reporte se presentan puestos que movilizan pasajeros carga o que son de servicio mixto, con lo cual se procedió a realizar la selección de puntos de interés para esta consultoría. Posteriormente esta información es contrastada con los registros de campo, a partir de los cuales se identificaron puntos de embarque de transporte de carga adicionales a los reportados en las fuentes de información secundaria.

3.3.1.1. Información secundaria para la construcción de la red fluvial

Respecto a la información secundaria se cuenta con las siguientes fuentes:

Registro de Zarpes del Registro Nacional Fluvial – RNF: En el RNF, las empresas de servicio público de transporte fluvial de pasajeros y carga, como también los particulares que movilicen carga, pueden realizar el Registro de Zarpe Electrónico durante las 24 horas de los 365 días al año. En el área correspondiente a las ZPP, se cuenta con registros de zarpes para los ríos Putumayo, Amazonas y Atrato.
Plan Amazónico de Transporte Intermodal Sostenible PATIS: Este estudio, adelantado por el Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Transporte cuenta con caracterización de los ríos en la región amazónica colombiana.
Estadísticas Fluviales – Inspecciones fluviales (Portal Logístico de Colombia, Ministerio de Transporte, 2024)

Como insumo de información secundaria para el estudio se tomó de referencia un archivo tipo shape con la ubicación geográfica de puertos y muelles a lo largo del territorio nacional perteneciente a la Superintendencia de Transporte, en el cual fue posible identificar gran parte de los puertos de estudio, adicional a esto, se puede conocer si su estado es activo y se identificaron geográficamente aquellos que forman parte de las ZPP, en la siguiente tabla se puede evidenciar la caracterización

Tabla 37. Puertos Superintendencia de Transporte.

Departamento	Puertos	ZPP	Activos
Amazonas	2	2	2
Antioquia	18	1	11
Arauca	2	2	2
Caquetá	13	13	11
Casanare	1	1	1
Cauca	6	6	2
Chocó	28	28	18
Córdoba	9	8	5
Guainía	7	7	6
Guaviare	3	3	3
Huila	6	6	3
Meta	12	11	11
Nariño	4	4	0
Putumayo	7	7	6
Sucre	7	7	2
Vaupés	1	1	1
Vichada	4	4	2

Fuente: Elaboración propia con base en datos Superintendencia de Transporte.

En la siguiente figura se identifican geográficamente los puertos teniendo cuenta en este caso los que hacen parte de las ZPP. Con un total de 200 puertos de los cuales 117 forman parte de estas ZPP.

Figura 31. Puertos Superintendencia de Transporte y ZPP

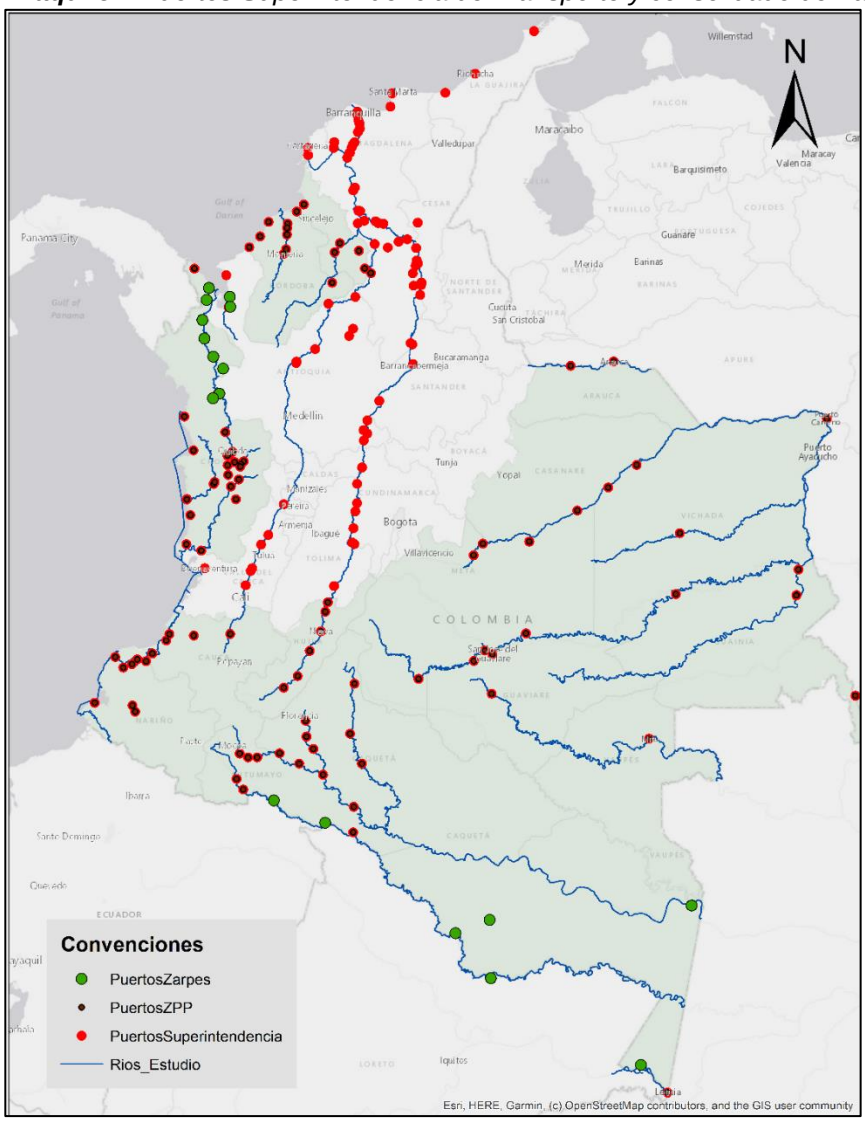


Fuente: Elaboración propia con base en datos Superintendencia de Transporte.

El consolidado de zarpes es una base proveniente del Registro Nacional Fluvial (RNF) del Ministerio de Transporte, este es utilizado como herramienta donde por medio de implementación tecnológica se logra automatizar los trámites para dar a conocer información del transporte fluvial, específicamente estos Zarpes se conocen gracias a aquellos reportes de empresas públicas o privadas que movilicen tanto carga como pasajeros.

Respecto a la información secundaria consultada en el consolidado de zarpes se cuenta con datos de ríos pertenecientes a este estudio como lo son Amazonas, Atrato y Putumayo, por medio de esta base de datos se lograron identificar 15 rutas para el rio Atrato, 23 rutas para el rio Putumayo y 2 rutas para el rio Amazonas, lo que permitió identificar 18 puertos más ubicados en las ZPP cuya ubicación geográfica se presenta en la siguiente figura.

*Figura **¡Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí.**32. Puertos Superintendencia de Transporte y consolidado de Zarpes.*



Fuente: Elaboración propia con base en información Superintendencia de Transporte y Consolidado de Zarpes.

Como parte del trabajo de campo se consolidaron 12 entrevistas a inspectores fluviales, estas pertenecientes a los municipios de Arauca, Calamar, San José del Guaviare, Montería, Puerto Leguizamo, Puerto Asís, Solano, Itsmina, Magangué, Puerto Carreño y Puerto Inírida. Esta además de brindar los datos personales del inspector entrevistado solicitaba datos de las características de operación del transporte de carga, información de muelles, productos transportados, empresas en operación, estado de infraestructura, afectaciones, información de rutas, condiciones actuales, información de la demanda del transporte de carga en la región, y finalmente planes y proyectos que conocen relacionados con el transporte fluvial.

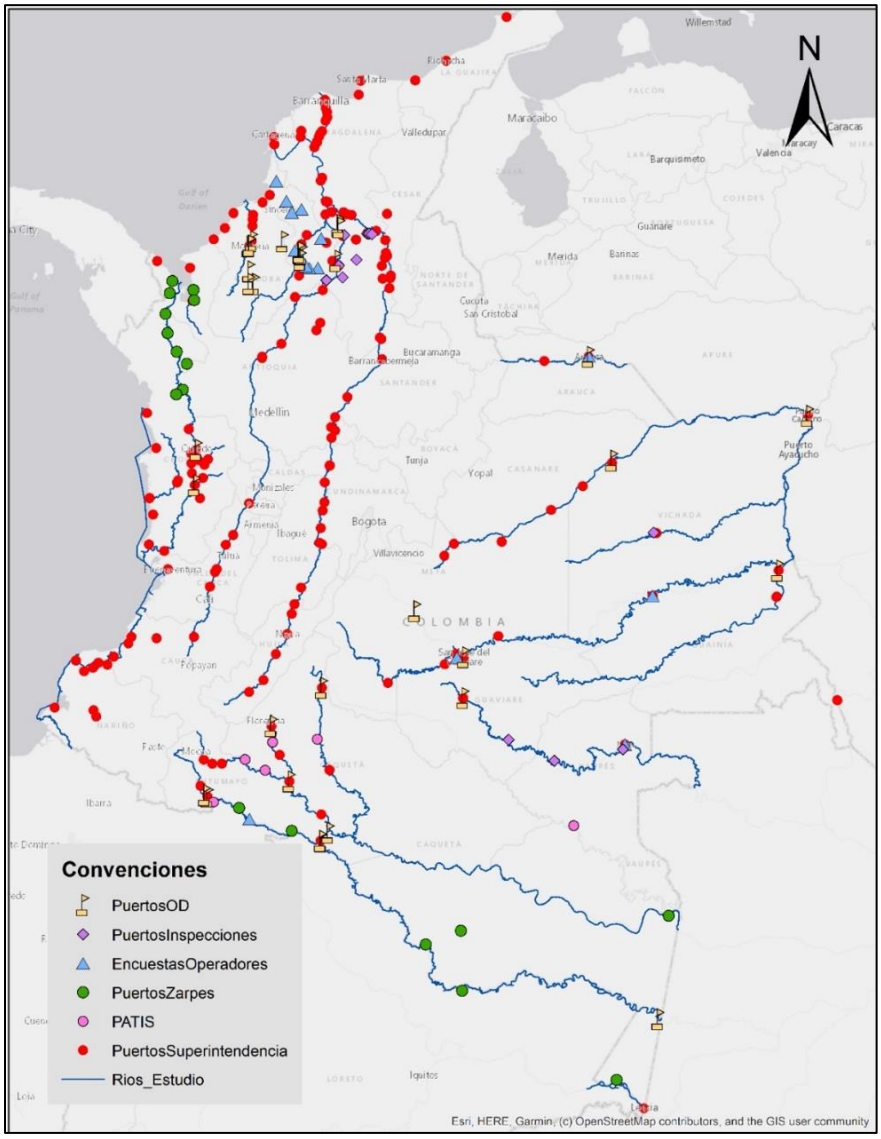
Tabla 38. Entrevistas a inspectores fluviales.

Fecha entrevista	Lugar	Nombre funcionario	Cargo	Inspección Fluvial
12/10/23	ARAUCA	MARIA ISABEL VESCANCE	INSPECTORA FLUVIAL	ARAUCA
12/04/23	SAN JOSE DEL GUAVIARE	HUGO ALBERTO PINTO RAMIREZ	INSPECTOR FLUVIAL	CALAMAR
29/11/2023	SAN JOSE DEL GUAVIARE	HUGO ALBERTO PINTO RAMIREZ	INSPECTOR FLUVIAL	SAN JOSE DEL GUAVIARE
12/01/23	MONTERIA, Barrio la castellana	ERASMO DOMILLE RUIZ	INSPERCTOR FLUVIAL	MONTERIA
30/11/2023	PUERTO LEGUIZAMO, Barrio Centro	NANCY GARCIA	INSPECTORA FLUVIAL	PUERTO LEGUIZAMO
29/11/2023	PUERTO ASÍS, Barrio la Pista	NANCY GARCIA	AUXILIAR ADMINISTRATIVO	PUERTO ASÍS
12/05/23	SOLANO	SAMIR ROSAS	INSPECTOR FLUVIAL	SOLANO
12/07/23	PUERTO ARANGO	SAMIR JOSE ROSAS GULFO	INSPECTOR FLUVIAL	SOLANO
12/06/23	CALLE 26 BARRIO LUIS SAN JUAN	JHAMILTON MURILLO	INSPECTOR FLUVIAL	ISTMINA
12/05/23	INSPECCIÒN FLUVIAL MAGANGUE BOLIVAR	SERGIO ENRIQUE COLL JIMENEZ	INSPECTOR FLUVIAL	MAGANGUE
13/12/2023	PUERTO CARREÑO	LUIS HERNANDO GONZALEZ SANCHEZ	INSPECTOR FLUVIAL	PUERTO CARREÑO
12/12/23	PUERTO INIRIDA, Barrio Comuneros	DIDIER ENRIQUE GUEVARA CARDENAS	INSPECTOR FLUVIAL	PUERTO INIRIDA

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo.

Por medio de esta información recolectada se logra consolidar una base de datos de puertos en las ZPP más grande, con 12 puertos más identificados por medio de estas entrevistas. Finalmente, el Plan Amazónico de Transporte Intermodal Sostenible (PATIS) brinda datos de carga para los ríos comprendidos en esta zona los cuales son el Amazonas, Caguán, Caquetá, Guaviare, Inírida, Putumayo y Vaupés. Además de lograr conocer datos de las rutas comprendidas en estos departamentos por medio de estas se lograron identificar 6 puertos más, para con esto consolidar finalmente la base de datos de puertos. Con el fin de georreferenciar los puertos consolidados y adicional mostrar las ubicaciones donde se hizo trabajo presencial de campo y se tomó información primaria, se consolida el siguiente mapa.

Figura 33. Puertos Superintendencia de Transporte, consolidado de Zarpes, inspecciones fluviales, PATIS y trabajo de campo.



Fuente: Elaboración propia con base en información Superintendencia de Transporte, Consolidado de Zarpes, información de campo, PATIS.

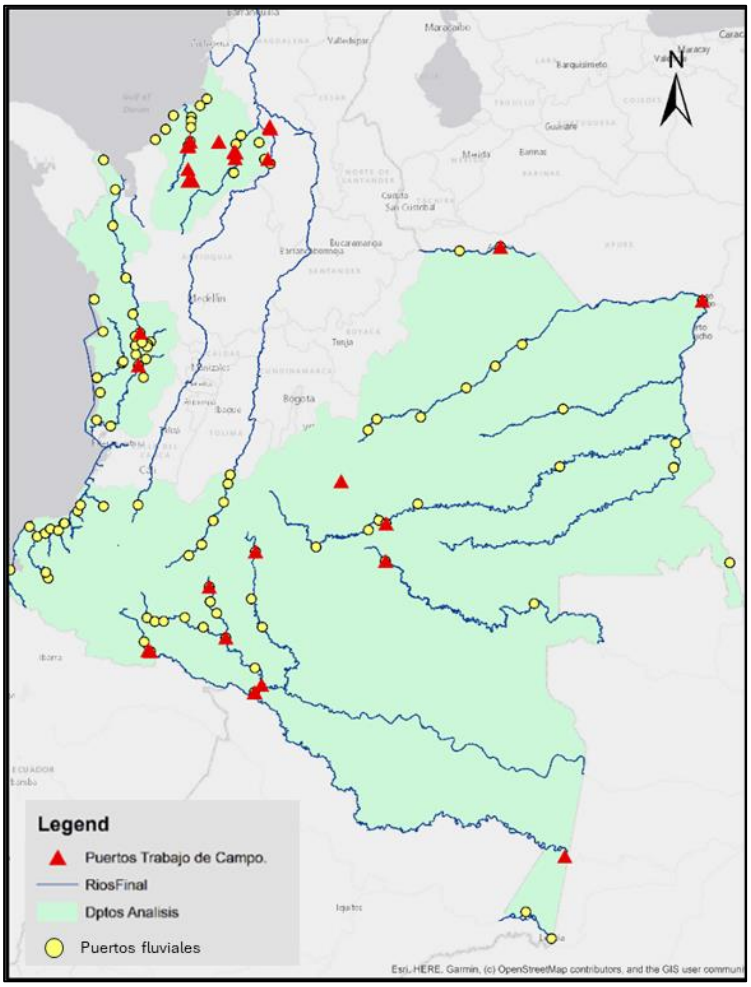
3.3.1.2. Información primaria para la construcción de red fluvial

Inicialmente, como información primaria se llevó a cabo un trabajo de campo que incluyo visitas de inspección, caracterización de infraestructura y encuestas Origen Destino para más de 36 puertos, adicional a esto entrevistas a empresas fluviales de las zonas y entrevistas a inspectores fluviales. Este trabajo de campo buscó recolectar información en la zona de estudio en los puertos que se consideraron de mayor importancia y que puedan representar información relevante de los departamentos involucrados y sus ríos principales.

Las visitas tuvieron lugar en nueve departamentos, en los cuales se visitaron 55 muelles o embarcaderos en alrededor de 15 ríos principales donde tiene lugar el transporte de carga por medio del modo fluvial, de estos muelles visitados se realizaron bitácoras de campo de 44, allí se describe la situación actual de cada puerto y se dan datos generales del mismo.

En la siguiente figura se puede ver representado tanto los principales ríos que se tuvieron en cuenta para el estudio de las ZPP, también los muelles visitados en el trabajo de campo y la comparación respecto de los puertos en general que se encuentran en las ZPP y en la base de datos de la superintendencia de transporte.

Figura 34. Puertos ZPP

Arauca Ariari Atrato Caguán Caquetá Ciénaga de Ayapel Guaviare Meta Orinoco Orteguaza Putumayo San Jorge San Juan Sinú Unilla Arauca Ayapel Calamar Itsmina La primavera Leguizamo Montería Puerto Arango Puerto Asís Puerto Carreño Puerto Inírida Puerto Lleras Quibdó San Benito Abad San José del Guaviare San Marcos San Vicente del Caguán Solano Tagua	

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Superintendencia de Transporte.

Como resultado de análisis de la información primaria y secundaria, en el modelo de transporte se consideran 57 puertos en todo el territorio nacional. A continuación, se muestra la ubicación de los puertos en los diferentes ríos y se listan cada uno de estos.

Figura 35. Puertos fluviales considerados en el modelo



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Superintendencia de Transporte.

Tabla 39. Puertos fluviales

ID	Puerto	Rio
1	Tumaco	Acuapista del Pacífico
2	Mosquera (cabecera)	Acuapista del Pacífico
3	La Tola Municipal	Acuapista del Pacífico
4	El Charco (municipal)	Acuapista del Pacífico
5	Iscuande (municipal)	Acuapista del Pacífico
6	Guapi (Municipal)	Acuapista del Pacífico
7	Timbiquí	Acuapista del Pacífico
8	Puerto Saija	Acuapista del Pacífico
9	Pto Asís	Putumayo
10	Pto Leguízamo	Putumayo
11	Puerto Ospina	Putumayo
12	San José del Guaviare	Guaviare
13	Barranco minas	Guaviare
14	La Macarena	Guayabero
15	Calamar	Unilla
16	Mapiripán	Guaviare
17	Inírida	Inirida
18	S.Vicente del Caguán	Caguán
19	Cartagena del Chairá	Caguán
20	Puerto Rico	Caguán
21	Leticia	Amazonas
22	Puerto Nariño	Amazonas
23	Tarapacá	Putumayo
24	Solano	Caquetá
25	Puerto Arango	Orteguaza
26	Tagua	Caquetá
27	Mecaya	Caquetá
28	Curillo	Caquetá
29	Milán	Orteguaza

ID	Puerto	Rio
30	Getucha	Orteguaza
31	Mitú	Vaupés
32	La concepción	Putumayo
33	El encanto	Putumayo
34	La pedrera	Putumayo
35	Marandua	Putumayo
36	Vigía del Fuerte	Atrato
37	Turbo	Atrato
38	Carmen del Darién	Atrato
39	Murindó	Atrato
40	Riosucio	Atrato
41	Unguia	Atrato
42	El amparo	Arauca
43	Playas del coco	San Jorge
44	Miraflores	Vaupés
45	Caruru	Vaupés
46	Pinillos	Rio Magdalena
47	Barranco de loba	Rio Magdalena
48	San Martín de loba	Rio Magdalena
49	Cumaribo	Vichada
50	San Marcos	Ciénaga de Ayapel
51	Ayapel	Ciénaga del Ayapel
52	Quibdó	Atrato
53	Itsmina	Atrato
54	San Benito Abad	Ciénaga del Ayapel
55	Caimito	Ciénaga del Ayapel
56	Venezuela	Arauca
57	Puerto Carreño	Meta

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Superintendencia de Transporte.

Es importante mencionar que en el modelo de transporte desarrollado en la herramienta de modelación estas infraestructuras se representan como arcos categorizados en el atributo " type" con los identificadores 61 y 62, esta información puede consultarse en el directorio del modelo (anexo 16)

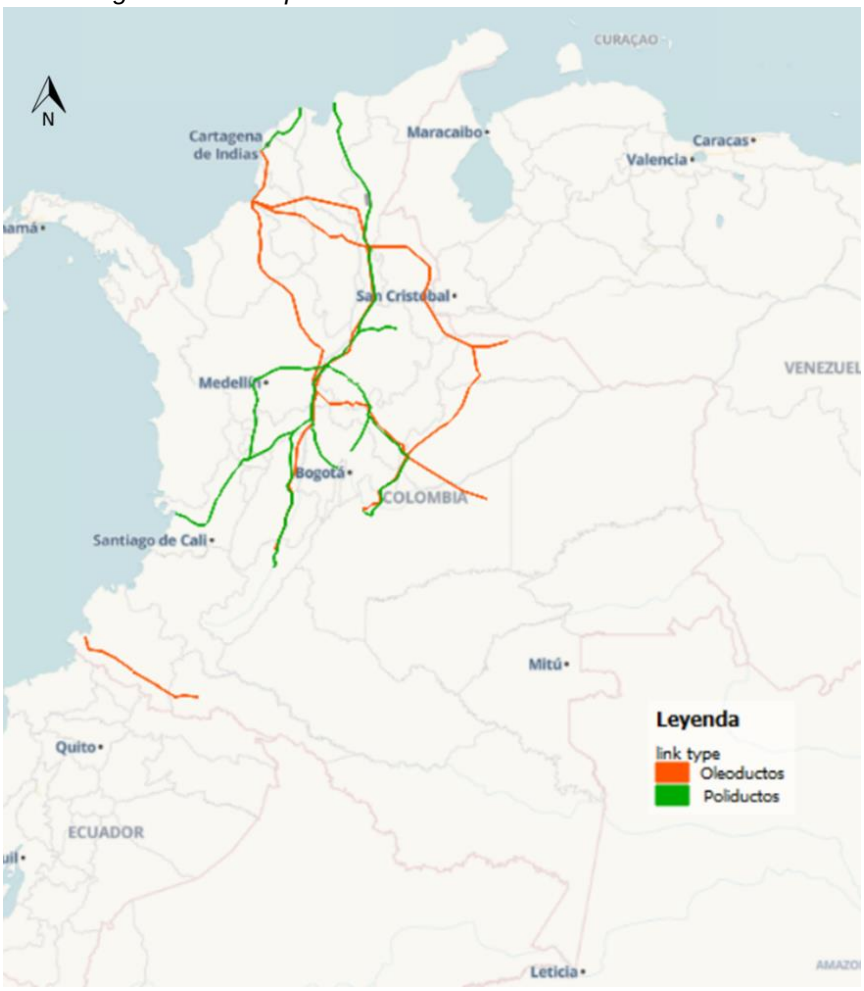
3.4. Red de Ductos

La red de ductos en Colombia es un componente esencial del modelo de oferta de transporte de hidrocarburos en el país. Esta red está compuesta por una serie de ductos y oleoductos que conectan las áreas de producción de petróleo crudo, gas natural y otros productos derivados de los hidrocarburos con las refinerías, plantas de procesamiento y terminales de exportación.

La construcción de la red de ductos se ha realizado con un enfoque estratégico, considerando la ubicación de las áreas de producción y consumo, así como las condiciones geográficas y ambientales de cada región. La red de ductos se ha diseñado para garantizar un flujo continuo y seguro de productos a lo largo de toda la cadena de suministro, minimizando los costos y los riesgos asociados al transporte de hidrocarburos.

Los ductos en Colombia son operados por empresas especializadas en transporte de hidrocarburos, que se encargan de mantener la infraestructura en óptimas condiciones y de cumplir con las normativas ambientales y de seguridad establecidas por las autoridades competentes. Estas empresas utilizan tecnología de punta para monitorear y controlar el flujo de productos en tiempo real, garantizando la seguridad y eficiencia de la operación.

Figura 36. Principales ductos del modelo de oferta condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se presenta la información de los tramos o líneas de oleoductos que se representaron en el modelo de transporte. Los datos que se presentan en la tabla corresponden a información secundaria de la compañía filial del grupo Ecopetrol Cenit. Es importante mencionar que la longitud corresponde a un solo sentido de circulación.

Tabla 40. Información de oleoductos

Tramo (Línea)	Estación inicial	Estación final	Longitud (km)
Caño Limón – Banadía OCC	Caño Limón	Banadia	78.84
Banadía – Ayacucho OCC	Banadia	Ayacucho	392.70
Ayacucho – Coveñas OCC	Ayacucho	Coveñas	302.94
Ayacucho – Coveñas L16"	Ayacucho	Coveñas	285.39
Coveñas – Cartagena L18"	Coveñas	Cartagena	123.31
Galán – Ayacucho L18"	Galán	Ayacucho	187.34
Galán – Ayacucho L14"	Galán	Ayacucho	186.23
Vasconia – CIB	Vasconia	Casabombas 8 (GRB)	171.48
Ayacucho – Galán 8"	Ayacucho	Casabombas 8 (GRB)	188.97
Orito – Tumaco (OTA)	Orito	Tumaco	307.20
San Miguel – Orito (OSO)	San Miguel	Orito	71.92
Mansoya – Orito (OMO)	Mansoya	Orito	73.55
Churuyaco – Orito (OCHO)	Churuyaco (VPR)	Punto de inyección OTA (Guamuez)	17.85
Araguaney – Monterrey	Araguaney	Monterrey	104.51
Santiago – Porvenir	Santiago	Porvenir	85.75
Apiay – Monterrey 20"	Apiay	Monterrey	128.55
Monterrey-Altos-Porvenir	Monterrey	Porvenir	7.30
Monterrey-Porvenir L12"	Monterrey	Porvenir	4.30
Yaguara – Tenay	Yaguara (VPR)	Tenay(OAM)	68.65
San Fernando – Apiay – Monterrey	San Fernando	Sabanalarga (tramo construido KM 89)	140.60
Toldado-Gualanday	Toldado	Gualanday	61.11
vasconia-Velasquez	Vasconia	Velázquez	15
Gasoducto GDA	–	–	13

Fuente: Cenit, https://cenit-transporte.com/oleoductos/,s.f.

A continuación, se presenta la información de los tramos o líneas de poliductos que se representaron en el modelo de transporte. Los datos que se presentan en la tabla corresponden a información secundaria de la compañía filial del grupo Ecopetrol, Cenit. Es importante mencionar que la longitud corresponde a un solo sentido de circulación.

Tabla 41. Información de poliductos

Tramo (Línea)	Estación inicial	Estación final	Longitud (km)
Zona Norte			
Pozos-Ayacucho	Pozos	Ayacucho	321.05
Ayacucho-Galán	Ayacucho	Galán	190.70
Cartagena-Barranquilla	Cartagena	Baranoa	103.69
Zona Este			
Galán-Bucaramanga	Galán	Bucaramanga	97.61
Zona Central			
Galán-Sebastopol 16″	Galán	Sebastopol	114.35
Galán – Sebastopol 12″	Galán	Sebastopol	116.23
Galán- Sebastopol 8″GLP	Galán	Sebastopol	107
Sebastopol-Salgar 16″	Sebastopol	Salgar	134.76
Sebastopol-Salgar 12″	Sebastopol	Salgar	136.55
Sebastopol-Salgar 8″GLP	Sebastopol	Salgar	138
Sebastopol – Medellín 12″	Sebastopol	Medellín	163.46
Zona Oeste			
Medellín-Cartago	Medellín	Cartago	235.96
Cartago-Yumbo 10″	Cartago	Yumbo	157.70
Salgar-Cartago	Salgar	Cartago	210.98
Cartago-Yumbo 6″	Cartago	Yumbo	157.70
Yumbo – Buenaventura	Yumbo	Buenaventura	102.70
Buenaventura- Yumbo	Buenaventura	Yumbo	102.70
Zona Sur			
Salgar-Gualanday	Salgar	Gualanday	168.54
Gualanday-Neiva	Gualanday	Neiva	162.50
Zona Bogotá			

Tramo (Línea)	Estación inicial	Estación final	Longitud (km)
Salgar-Mansilla 10″	Salgar	Mansilla	109.44
Salgar-Mansilla 8″	Salgar	Mansilla	107.67
Salgar- La Dorada	Salgar	La Dorada	3.80
Mansilla – Puente Aranda 10″	Mansilla	Puente Aranda	43.31
Puente Aranda el Dorado	Puente Aranda	El Dorado	9,51
Sebastopol - Sutamarchán	Sebastopol	Sutamarchán	174
Sutamarchán - Apiay	Sutamarchán	Apiay	255.72
Sutamarchán - Tocancipá	Sutamarchán	Tocancipá	101.92

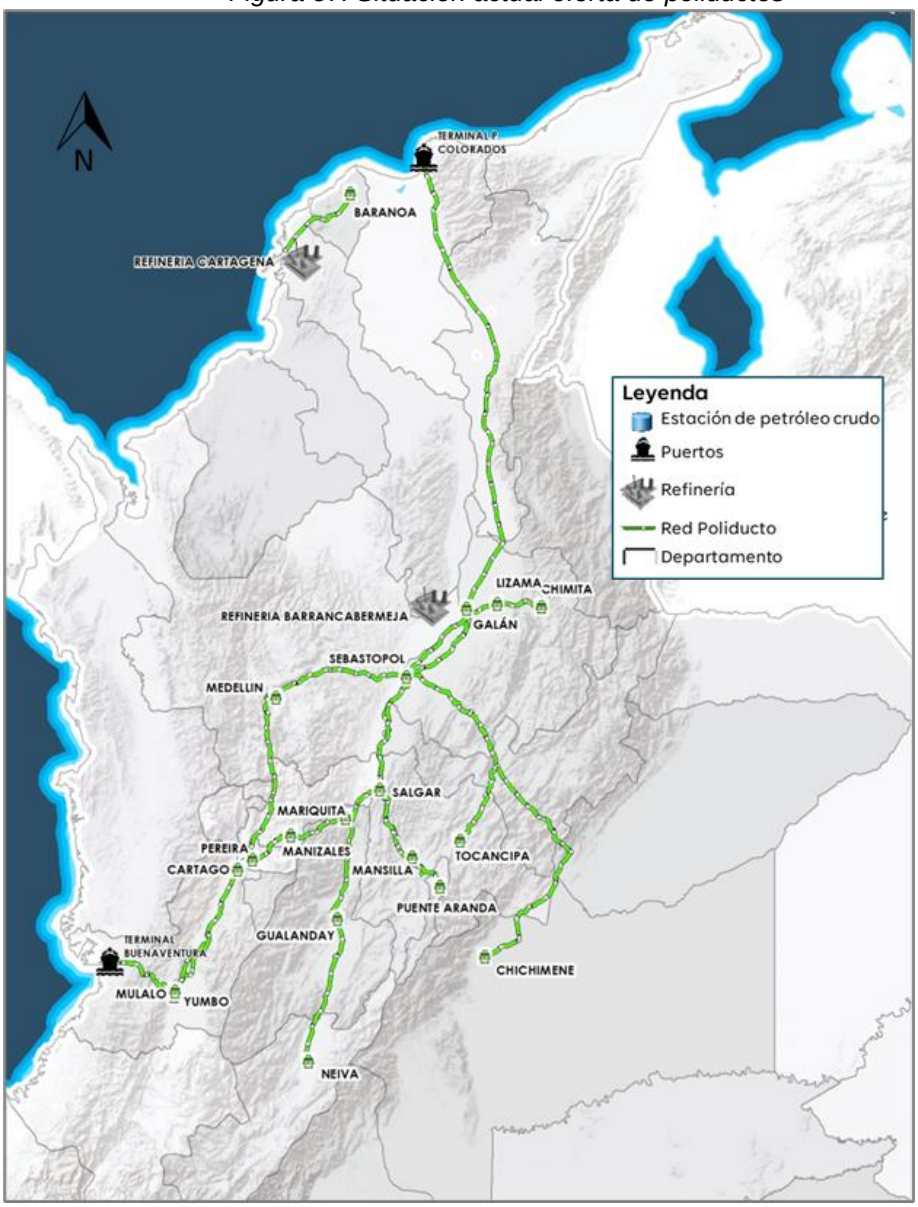
Fuente: Cenit, https://cenit-transporte.com/poliductos/,s.f.

La red de ductos en Colombia se caracteriza por incluir la velocidad de transporte, la cual se determina según la información disponible de CENIT, entidad encargada de la operación de los ductos en el país. Esta velocidad es un factor de alta importancia en el modelo de transporte, ya que influye en los tiempos de tránsito y en la eficiencia de la cadena logística.

Además, el costo de transporte en ductos se define en unidades de pesos por tonelada por kilómetro ($/ton/km), lo que permite estimar de manera precisa los costos asociados al transporte de hidrocarburos y otros productos a través de la red de ductos en Colombia.

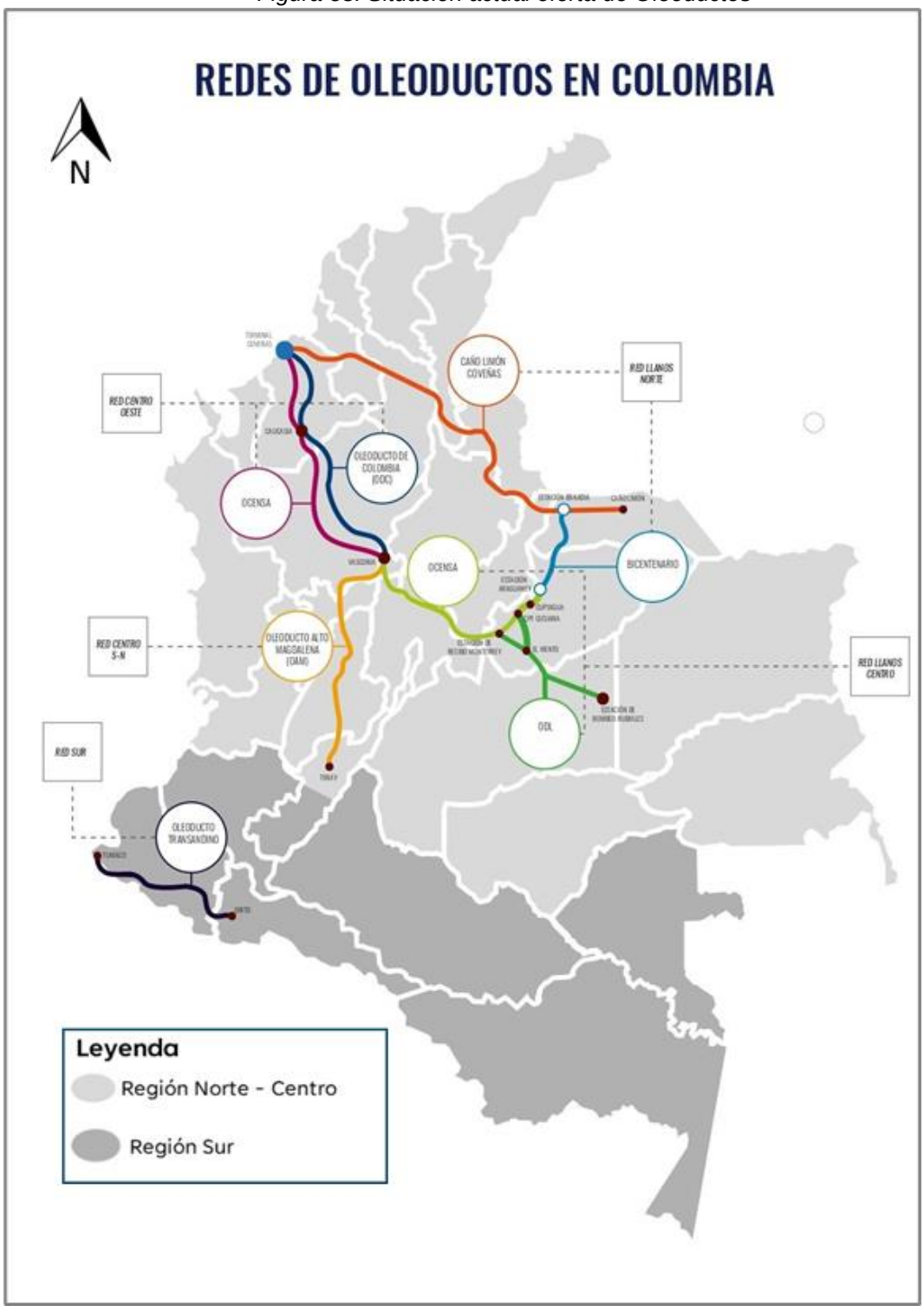
Por otro lado, en el modelo de ductos se incluyen las estaciones de bombeo para oleoductos y poliductos, las cuales son infraestructuras clave para mantener el flujo continuo de productos a lo largo de la red de ductos. Estas estaciones de bombeo garantizan la presión necesaria para el transporte eficiente de los productos, contribuyendo así a la operación segura y eficaz de la red de ductos en Colombia.

Figura 37. Situación actual oferta de poliductos



Fuente: Centit, https://cenit-transporte.com/poliductos/, s.f

Figura 38. Situación actual oferta de Oleoductos



Fuente: Minenergía, https://www.minenergia.gov.co/es/misional/hidrocarburos/funcionamiento-del-sector/midstream/, sf.

3.5. Zonas Portuarias

La red de zonas portuarias en Colombia es un elemento fundamental del modelo de oferta de transporte del país, especialmente para el comercio exterior y la conectividad marítima. Colombia cuenta con una variedad de puertos marítimos, fluviales y lacustres distribuidos a lo largo de su extensa costa caribeña y pacífica, así como en sus principales ríos y lagos navegables.

Los puertos marítimos en Colombia, como los de Cartagena, Barranquilla, Santa Marta y Buenaventura, son nodos importantes para la importación y exportación de mercancías, facilitando el intercambio comercial con países vecinos y el resto del mundo. Estos puertos cuentan con infraestructura moderna y eficiente, incluyendo muelles, grúas y equipos de carga y descarga, que permiten la manipulación rápida y segura de mercancías.

La gestión de las zonas portuarias en Colombia está a cargo de entidades como la Sociedad Portuaria de Buenaventura, la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena y la Sociedad Portuaria de Barranquilla, entre otras. Estas entidades se encargan de administrar y operar los puertos, así como de garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad en la operación portuaria.

La red de zonas portuarias en Colombia está compuesta por 10 instalaciones ubicadas estratégicamente tanto en la costa Atlántica como en la Pacífica. En el modelo de transporte se representan simbólicamente como líneas , donde la dirección del arco representa una maniobra específica de importación o exportación. A continuación, se muestran las zonas consideradas en el modelo de transporte.

Tabla 42. Puertos Marítimos

ID	Puerto
1	Puerto Bolívar
2	Puerto Brisa
3	Santa Marta
4	Barranquilla
5	Cartagena
6	Tolú
7	Coveñas
8	Turbo
9	Buenaventura
10	Tumaco

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Teniendo en cuenta la información de comercio exterior (COMEX) de la base de datos de la Superintendencia de Transporte, se identificó el tipo de carga que se exporta e importa en cada uno de los puertos para el año 2022. En la siguiente tabla se relacionan los puertos con los segmentos de carga que circulan por estos.

Tabla 43. Segmento de carga en los puertos marítimos

Puertos	Tipos de segmentos de carga Importados								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar	N/A	N/A	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	✓
P. Brisa	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Santamarta	✓	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	✓
Barranquilla	✓	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	✓
Cartagena	✓	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	✓
Tolú	N/A	N/A	✓	N/A	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
Coveñas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	✓
Turbo	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Buenaventura	✓	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
Tumaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Puertos	**Tipos de segmentos de carga Exportados**								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A
P. Brisa	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	✓	✓	N/A	N/A
Santamarta	✓	N/A	N/A	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A
Barranquilla	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	N/A
Cartagena	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tolú	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A
Coveñas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	✓	N/A
Turbo	✓	✓	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
Buenaventura	✓	✓	✓	N/A	✓	✓	✓	✓	N/A
Tumaco	N/A	N/A	N/A	✓	N/A	N/A	N/A	✓	N/A

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La parametrización de las zonas portuarias se basa en los tiempos de permanencia de la mercancía en las instalaciones portuarias y los tiempos de espera para el cargue y descargue de los buques. Además, se tiene en cuenta el costo de uso del nodo de transferencia, que incluye los servicios y facilidades ofrecidas por el puerto para la manipulación de la carga.

Para la estimación de estos tiempos, se tomó como referencia el "Estudio de Tiempos de Despacho de Mercancías 2022 Importación y Exportación" desarrollado por la DIAN[9]. Este documento ha sido reconocido en el país como una importante fuente de información disponible y está basado en resultados estadísticos del sistema informático aduanero. Este estudio presenta información de importación de tres puertos; Buenaventura, Cartagena y Barranquilla, en lo referente a la exportación presenta información para los puertos de Buenaventura y Cartagena. Esta información se presenta a nivel de declaraciones iniciales

[9] DIAN, 2022. https://www.dian.gov.co/aduanas/Paginas/Estudio-de-tiempos-de-despacho-de-mercancias-.aspx

con entrega en lugar de arribo. A continuación, se presenta la tabla con los valores de tiempo de proceso de importación y exportación

Tabla 44. Tiempos de despacho de importación

Declaraciones	Tiempo	Buenaventura	Cartagena	Barranquilla
Declaraciones iniciales en entrega en lugar de arribo	Tiempo total de la operación	110.4 (horas) – 4.6 días	107.7 (horas) – 4.5 días	82.1 (horas) – 3.4 días

Fuente: DIAN, Estudios de tiempos de despacho de mercancías, 2022.

Tabla 45. Tiempos de despacho de exportación

Tiempo	Buenaventura	Cartagena
Tiempo total de la operación	153 (horas) – 6.3 días	145 (horas) – 6 días

Fuente: DIAN, Estudios de tiempos de despacho de mercancías, 2022.

Es importante mencionar, que el alcance de esta información secundaria en lo referente al tipo de carga corresponde a contenerizada y suelta, no se incluye graneles de ningún tipo por modo marítimo, así mismo, no incluye cruces terrestres de frontera, tanto para la importación como para la exportación. Por consiguiente, para realizar el cálculo del tiempo de operación en los puertos se tomó como referencia la información de modelo de partida del PMTI del 2019.

A continuación, se presentan los tiempos en zona portuaria para cada segmento de demanda. .

Tabla 46. Tiempo de importación en zona portuaria (h)

Puertos	Tipos de segmentos de carga Importados								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar			1633	432					432
P. Brisa			1633						
Santamarta	85	85	293	399	361				408
Barranquilla	91	91	810	1414	700				1378
Cartagena	148	148	341	691	293				679
Tolú			396		156				
Coveñas									714
Turbo	98	98							
B/ventura	171	171	318	5	90				
Tumaco									

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se muestran los tiempos en zona portuaria para cada segmento de carga para la exportación.

Tabla 47. Tiempos de cumplimiento fronterizo y documental exportación (h)

Puertos	Tipos de segmentos de carga Exportados								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar						1426			
P. Brisa						1426	1429		
Santamarta	85			399	361	330	348		
Barranquilla	91	91	810	1414	700	881	869	75	
Cartagena	148	148	341	691	293	600	569	75	75
Tolú						593			
Coveñas								75	
Turbo	98	98			288				
Buenaventura	171	171	318		938	891	891	83	
Tumaco				2400				83	

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La estimación de los costos de las zonas portuarias se realizó partir de la información contenida en el PMTI del 2019. En dicho estudio los costos se estiman para el año 2019 por consiguiente fue necesario ajustar estos valores al año 2022 tenido en cuenta el IPC. A continuación, se muestran los valores ajustados para el año 2022.

Tabla 48. Costos de cumplimiento fronterizo y documental importación (COP/ton)

Puertos	Tipos de segmentos de carga Importados								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar			201,601	94,937					94,937
P. Brisa			201,601						
Santamarta	101,839	101,839	106,176	94,937	170,866				94,937
Barranquilla	164,250	164,250	508,216	36,309	211,566				36,309
Cartagena	157,047	157,047	198,008	29,938	165,166				29,938
Tolú			222,108		31,066				
Coveñas									29,938
Turbo	163,452	163,452							
B/ventura	152,762	152,762	176,168	28,665	247,022				
Tumaco									

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se presentan los costos de cumplimiento fronterizo y documental para cada segmento de demanda en términos de exportación.

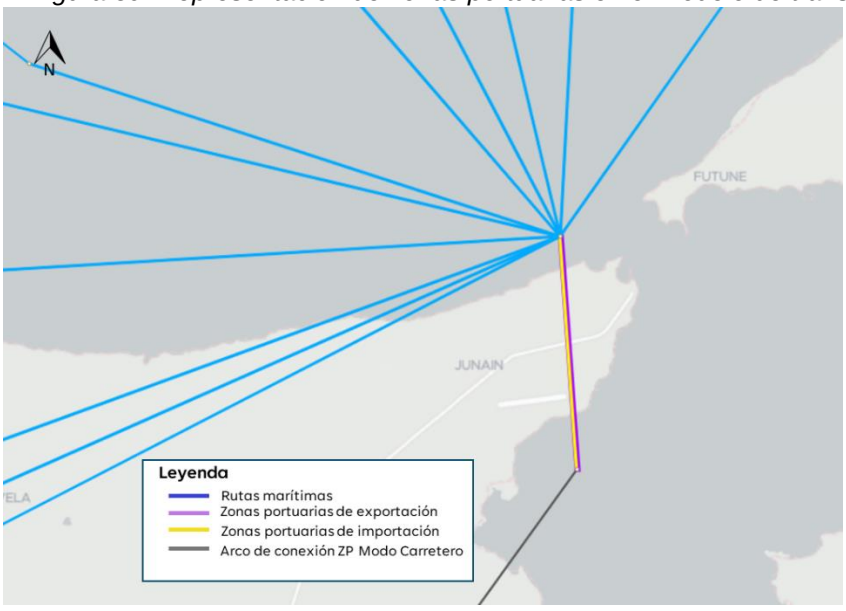
Tabla 49. Costos de cumplimiento fronterizo y documental exportación ($/ton)

Puertos	Tipos de segmentos de carga Importados								
	Contenedores no Refrigerados	Contenedores Refrigerados	Granel Sólido	Granel Líquido	Carga General	Carbón Térmico	Carbón Metalúrgico y Coque	Hidrocarburos crudos	Hidrocarburos Refinados
P. Bolívar						95,048			
P. Brisa						95,048	95,048		
Santamarta	101,839			94,937	170,866	25,244	25,244		
Barranquilla	164,250	164,250	508,216	36,309	211,566	34,159	34,159	36,309	
Cartagena	157,047	157,047	198,008	29,938	165,166	89,557	89,557	29,938	29,938
Tolú						126,225			
Coveñas								29,938	
Turbo	163,452	163,452			31,066				
B/ventura	152,762	152,762	176,168		76,302	76,302	76,302	28,665	
Tumaco				28,665				28,665	

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La representación detallada de las zonas portuarias en el modelo de transporte permite una planificación más efectiva de las operaciones, contribuyendo a la optimización de la cadena de suministro y al desarrollo del comercio exterior en Colombia. En la siguiente figura se muestra la configuración de las zonas portuarias en el modelo de transporte.

Figura 39. Representación de zonas portuarias en el modelo de transporte



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

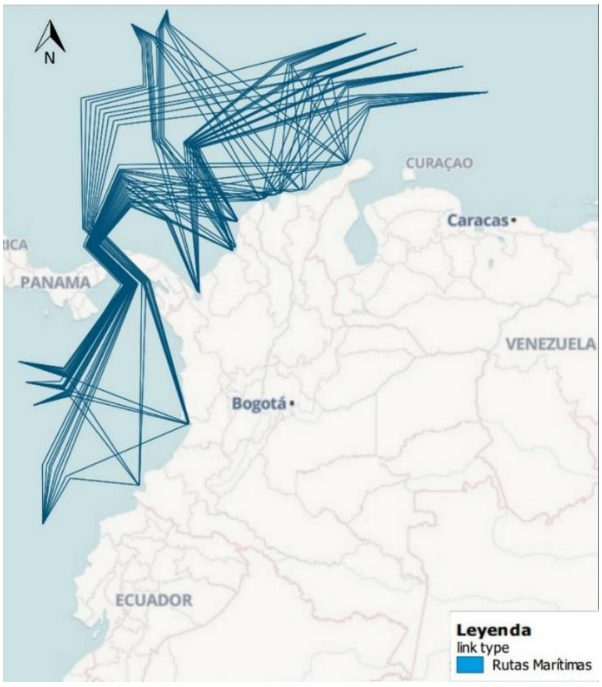
3.6. Red Rutas Marítimas

Las rutas marítimas hacia 11 hinterland internacionales se representan como parte integral de la caracterización del comercio exterior (COMEX) en Colombia. Estas rutas se establecen considerando las principales conexiones comerciales entre los puertos colombianos y los destinos internacionales, abarcando una variedad de países y regiones estratégicas para el intercambio comercial.

El costo del flete para estas rutas se calcula con base en la información contenida en el documento desarrollado en el año 2019 por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) denominado “Estudio de Demanda y Capacidad Portuaria”[10]. Este valor es expresado en pesos por tonelada de viaje total. Este enfoque permite estimar los costos de transporte de manera precisa, considerando los diferentes elementos que intervienen en la operación logística, como el tipo de mercancía, la distancia recorrida y las condiciones del mercado.

Es importante destacar que las rutas marítimas seleccionadas son aquellas que registran flujos significativos de intercambio comercial en la condición base, es decir, en condiciones normales de operación. Esto garantiza que las rutas consideradas en el modelo de transporte sean relevantes y representativas de la realidad del comercio exterior colombiano, permitiendo una planificación logística efectiva y eficiente.

Figura 40. Red de rutas marítimas en el modelo de oferta condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

[10] Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2019. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Estudio_Demanda%20_Portuaria_2019.pdf

En la siguiente tabla se muestran los 11 hinterlands con el correspondiente identificador de nodo en el modelo.

Tabla 50.Hinterlands

ID de ZAT	Hinterlands
1201	África
1202	América Central e Islas del Caribe
1203	Asia Mediterráneo
1204	Asia Pacifico y Australia
1205	Europa Atlántico
1206	Europa Mediterráneo
1207	Golfo de México
1208	Norteamérica Atlántico
1209	Norteamérica Pacífico
1210	Sudamérica Atlántico
1211	Sudamérica Pacífico

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.7. Estaciones de transferencia del modo Férreo

Las estaciones de transferencia férrea en Colombia son infraestructuras clave en el modelo de transporte, ya que facilitan el transbordo de mercancías entre diferentes trenes o modos de transporte. Estas estaciones se ubican estratégicamente en puntos nodales de la red férrea, permitiendo la transferencia eficiente de mercancías entre trenes de carga, trenes de pasajeros y otros medios de transporte.

En las estaciones de transferencia férrea se realizan operaciones como la carga y descarga de mercancías, el transbordo entre diferentes trenes o vagones, y la clasificación y agrupación de cargas según su destino final. Estas operaciones se llevan a cabo de manera coordinada y eficiente, garantizando la continuidad y seguridad de las operaciones logísticas.

Además, las estaciones de transferencia férrea cuentan con infraestructura especializada, como vías de carga y descarga, grúas y equipos de manipulación de mercancías, así como sistemas de control y monitoreo para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones. Estas estaciones también suelen contar con áreas de almacenamiento temporal de mercancías, así como servicios de apoyo como mantenimiento de trenes y servicios para el personal ferroviario. A continuación, se presenta la ubicación de las estaciones férreas.

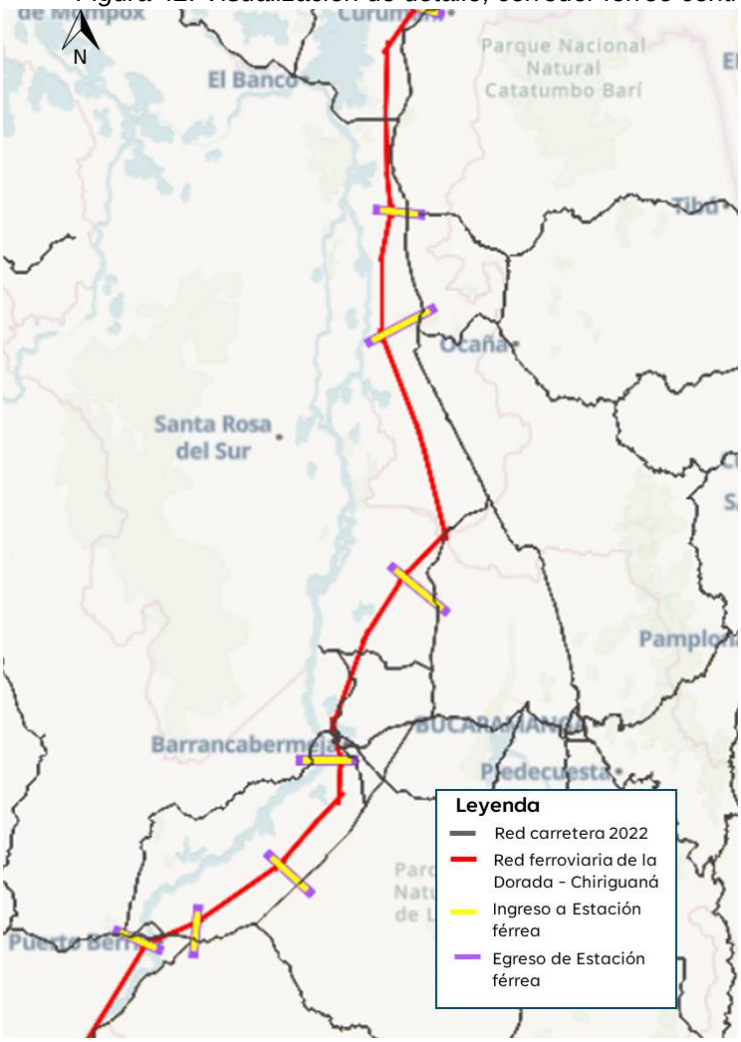
Figura 41. Estaciones de transferencia férrea condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Estas estaciones se consideran dentro del modelo de transporte, especialmente en relación con el modo carretero. Estas estaciones son representadas mediante un arco de conexión con longitud de 0.001 km y tiene asociados atributos de tiempo y costos de transferencia. Estas infraestructuras se categorizan en el modelo mediante el atributo “type” con los identificadores 71 y 72, esta información puede consultarse en el directorio del modelo (anexo 16). En la siguiente figura se presenta la visualización de detalle de la configuración en el modelo.

Figura 42. Visualización de detalle, corredor férreo central



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la caracterización de las estaciones de transferencia férrea se tienen en cuenta los tiempos de permanencia de la mercancía en la estación y las tarifas asociadas al uso del nodo de transferencia. Estos tiempos y tarifas se expresan en horas de permanencia en la estación férrea y en pesos por tonelada del uso del nodo de transferencia, respectivamente. Esta información es fundamental para calcular los costos y tiempos de transporte en la cadena logística, contribuyendo así a una planificación logística eficiente y efectiva.

Se presenta a continuación en la tabla, en la cual se establecen los costos y tiempos de movilización y de maniobras en estaciones férreas.

Tabla 51. Tiempos de transferencia en estaciones férreas

Tramo Férreo	Tiempos Estación Férrea (h)
Chiriguaná – Santa Marta	25
Dorada - Chiriguaná	25
Cerrejón	25
Bogotá – Belencito	10

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

Tabla 52. Costos de transferencia en estaciones férreas

Tramo Férreo	Tarifa estación férrea (COP- Ton)
Chiriguaná - Santa Marta	$ 9,480
Dorada - Chiriguaná	$ 9,480
Cerrejón	$10,013
Bogotá - Belencito	$9,480

Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

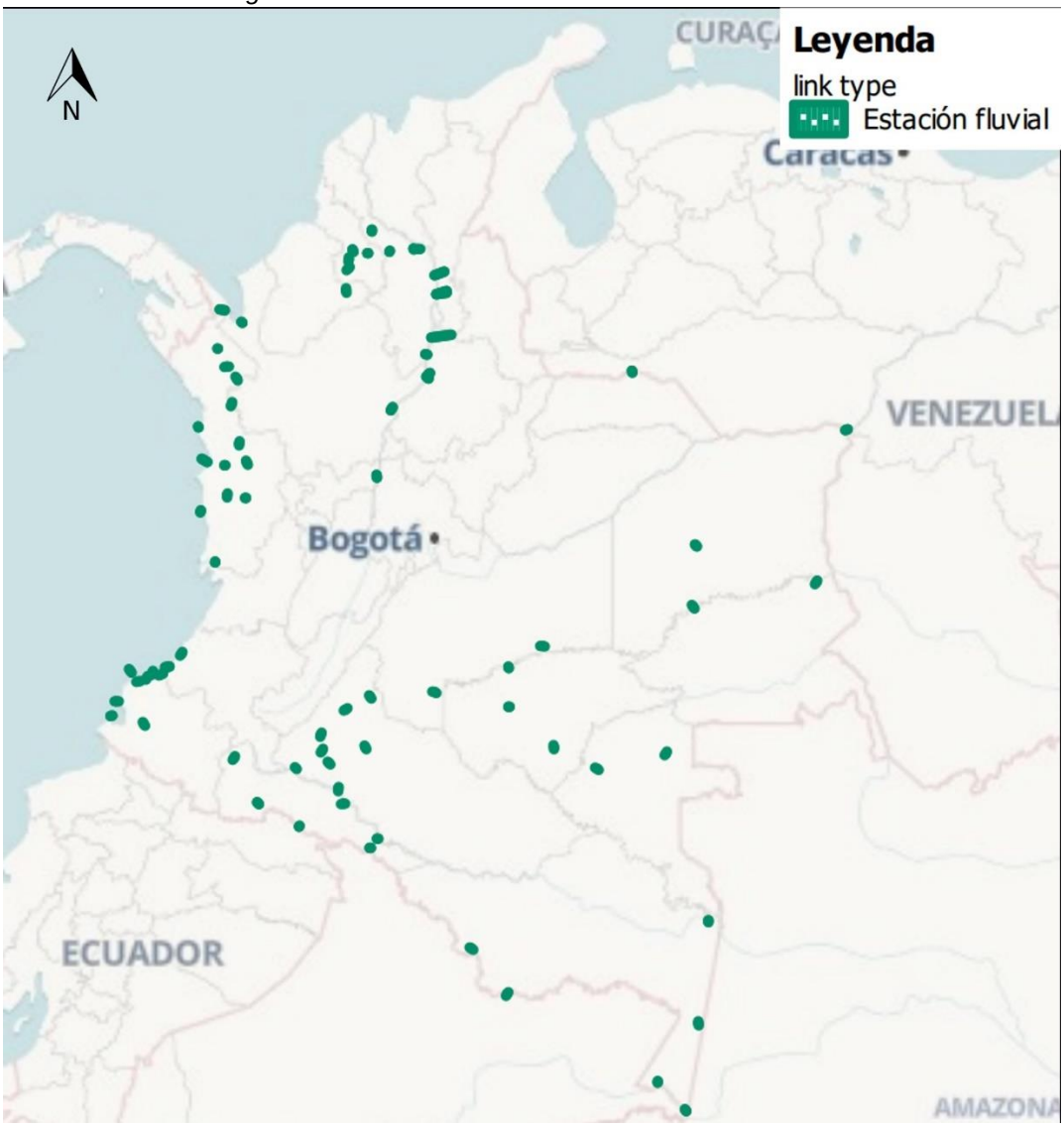
3.8. Estaciones de transferencia del modo Fluvial

Las estaciones de transferencia fluvial en Colombia son también elementos estratégicos en el modelo de transporte, ya que facilitan el transbordo de mercancías entre diferentes embarcaciones y modos de transporte. Estas estaciones se encuentran ubicadas en lugares estratégicos a lo largo de los ríos navegables del país, permitiendo la transferencia eficiente de mercancías entre barcazas, buques y otros medios de transporte.

En las estaciones de transferencia fluvial se realizan operaciones como la carga y descarga de mercancías, el transbordo entre diferentes embarcaciones o modos de transporte, y la clasificación y agrupación de cargas según su destino final. Estas operaciones se llevan a cabo de manera coordinada y eficiente, garantizando la continuidad y seguridad de las operaciones logísticas en el transporte fluvial.

Además, las estaciones de transferencia fluvial cuentan con infraestructura especializada, como muelles, grúas y equipos de manipulación de mercancías, así como sistemas de control y monitoreo para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones. Estas estaciones también suelen contar con áreas de almacenamiento temporal de mercancías, así como servicios de apoyo como mantenimiento de embarcaciones y servicios para el personal fluvial.

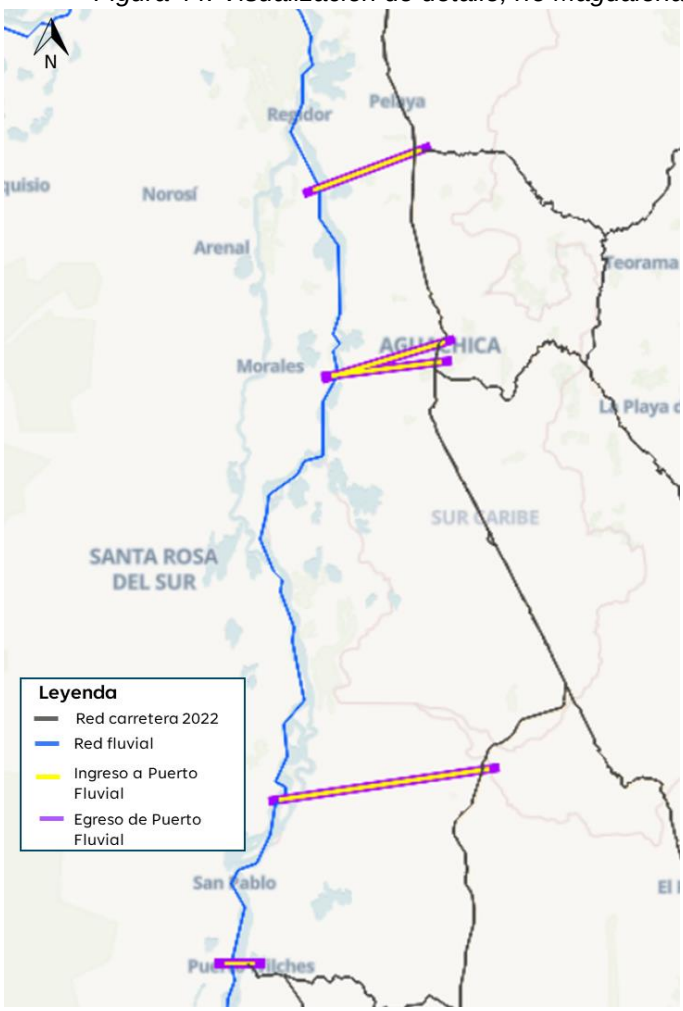
Figura 43. Estaciones de transferencia fluvial condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Las estaciones de transferencia fluvial en Colombia se consideran dentro del modelo de transporte, especialmente en relación con el modo férreo y el modo carretero, tienen asociado en el atributo “type” los identificadores 61 y 62, esta información puede consultarse en el directorio del modelo (anexo 16). Estas estaciones son puntos estratégicos donde se realiza el transbordo de mercancías entre embarcaciones fluviales, trenes y camiones, facilitando la intermodalidad y la eficiencia en la cadena logística. A continuación, se presenta la visualización de detalle del Rio Magdalena.

Figura 44. Visualización de detalle, río Magdalena



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la caracterización de las estaciones de transferencia fluvial se tienen en cuenta los tiempos de permanencia de la mercancía en el puerto fluvial y las tarifas asociadas al uso del nodo de transferencia. Estos tiempos y tarifas se expresan en horas de permanencia en el puerto fluvial y en pesos por tonelada del uso del nodo de transferencia, respectivamente. Esta información es fundamental para calcular los costos y tiempos de transporte en la cadena logística, contribuyendo así a una planificación logística eficiente y efectiva.

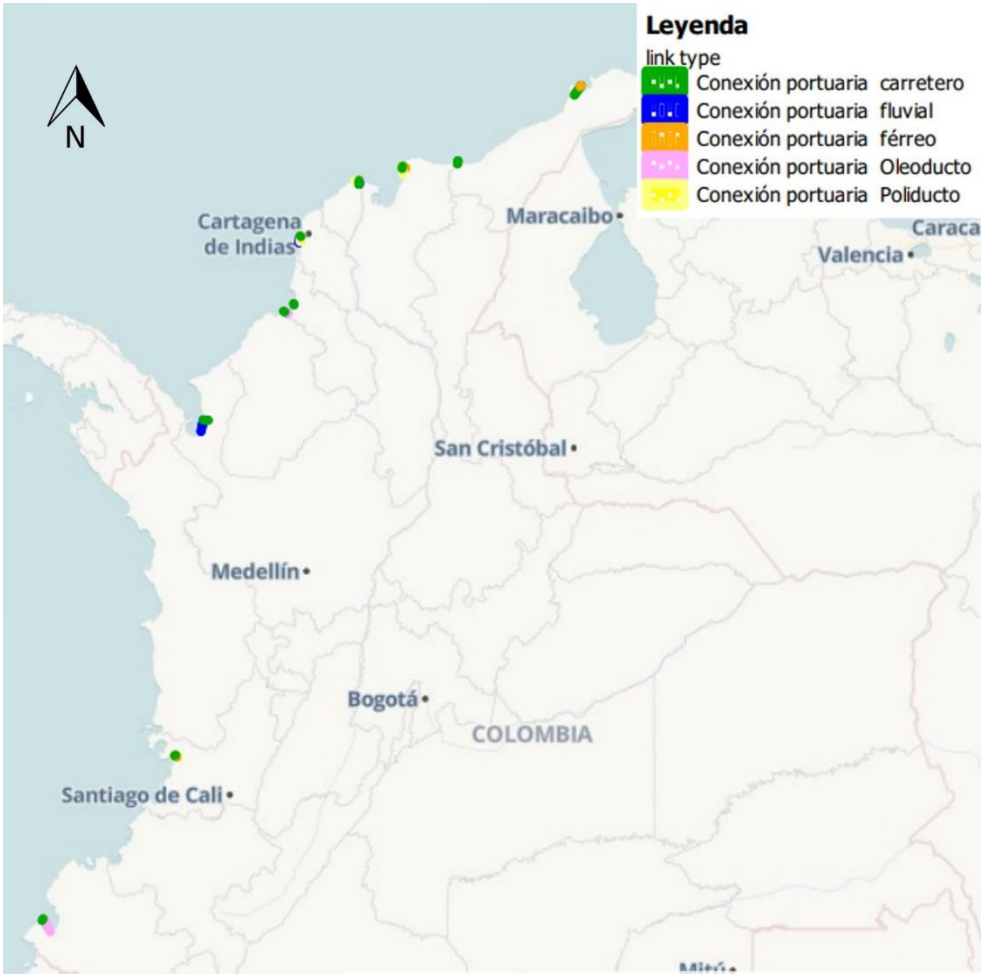
Los tiempos de operación en puerto fueron estimados con base en las entrevistas a inspectores fluviales y a las empresas operadoras de transporte de carga, teniendo en cuenta la limitación en representatividad de esta información fue asumido un valor considerado conservador y que representa la generalidad en promedio de la información que fue reportada a partir de estas fuentes, estimado en 36 horas, mientras que los costos en estación de transferencia fluvial se consideraron dentro del costo por kilómetro por tonelada de cada uno de los ríos.

3.9. Arcos de conexión modal a zonas portuarias

Los arcos de conexión modal a zonas portuarias en Colombia también incluyen arcos virtuales que permiten segregar la conexión por modo de transporte a la infraestructura de la zona portuaria. Estos arcos virtuales son representaciones simbólicas que indican la conexión entre los diferentes modos de transporte y las zonas portuarias, pero no definen ni tiempos ni costos específicos, ya que no corresponden a segmentos físicos de la cadena de transporte.

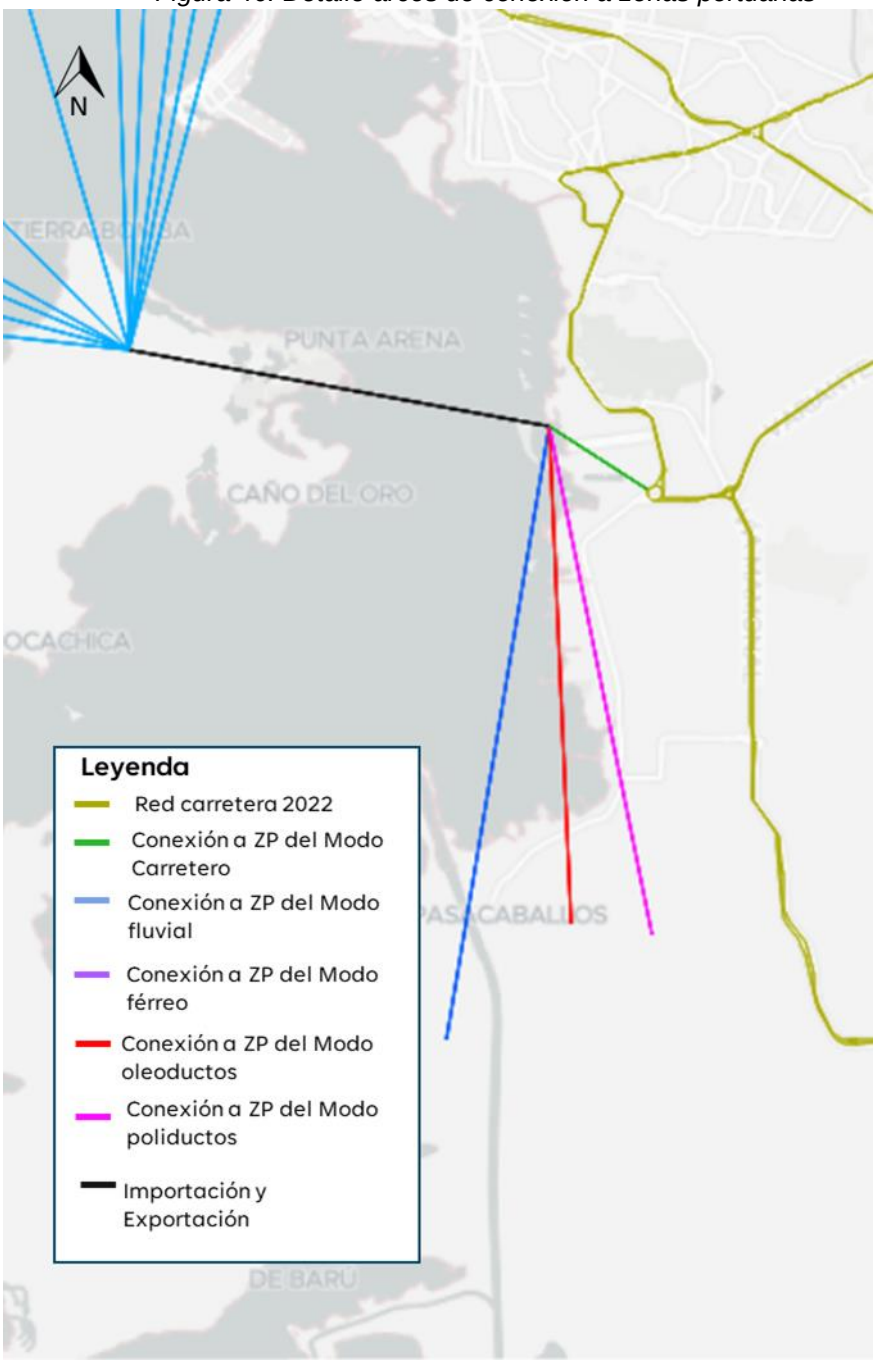
Estos arcos virtuales son útiles para visualizar de manera clara y concisa las conexiones entre los diferentes modos de transporte y las zonas portuarias, facilitando la planificación y el análisis de la eficiencia de la cadena logística. Aunque no definen tiempos ni costos específicos, son fundamentales para entender la interconexión entre los diferentes elementos de la red de transporte y las zonas portuarias.

Figura 45. Arcos de conexión intermodal a zonas portuarias condición base



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Figura 46. Detalle arcos de conexión a zonas portuarias

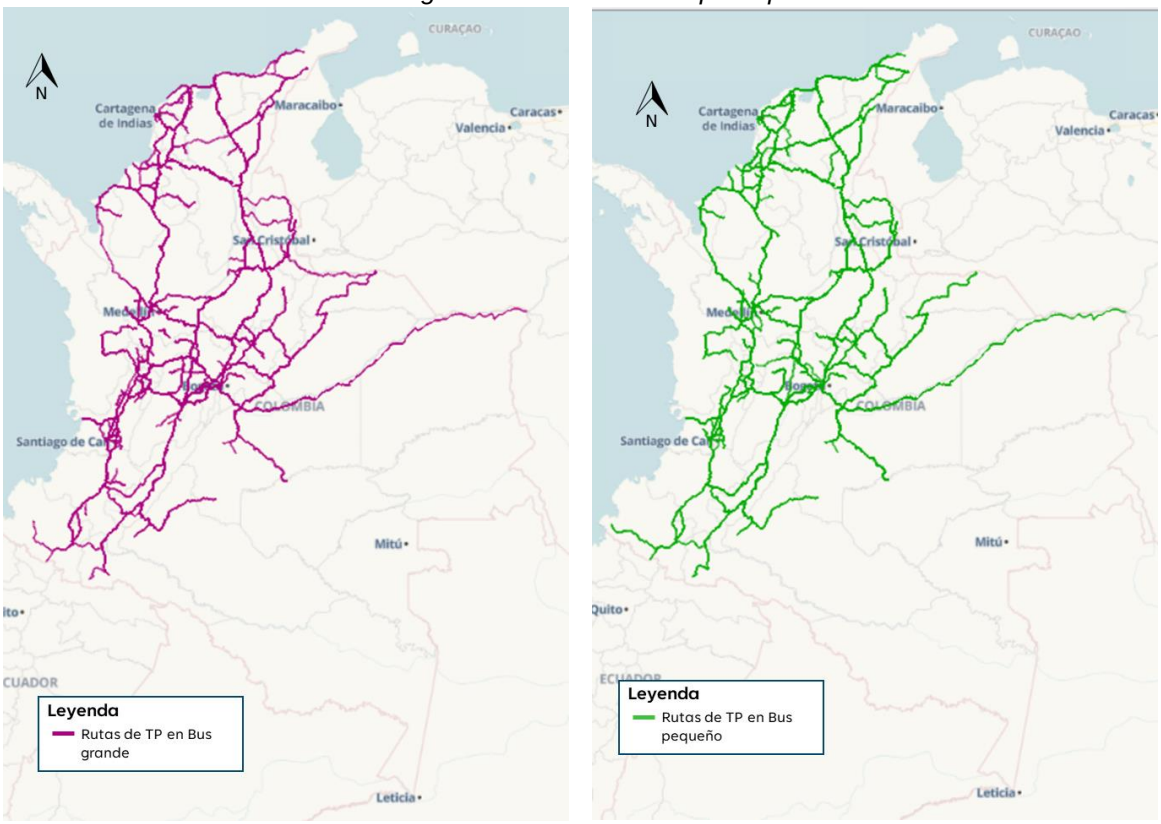


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.10. Rutas de transporte público carretero

En el modelo se representaron las rutas de transporte público (TP) carretero siguiendo los trazados y características como la tipología de vehículo que se utiliza para esto se tuvo como referencia del modelo de partida PMTI 2019. La frecuencia de cada ruta se les fue asignada de acuerdo con la información de bases oficiales del Ministerio de Transporte y consultas adicionales en línea (ver anexo 09). En total se representaron en el modelo 778 rutas, clasificadas en dos tipologías bus grande y bus pequeño, para la primera se representaron 383 rutas y para la segunda 395. A continuación, se muestra la distribución del transporte público en el modelo.

Figura 47. Rutas de transporte público

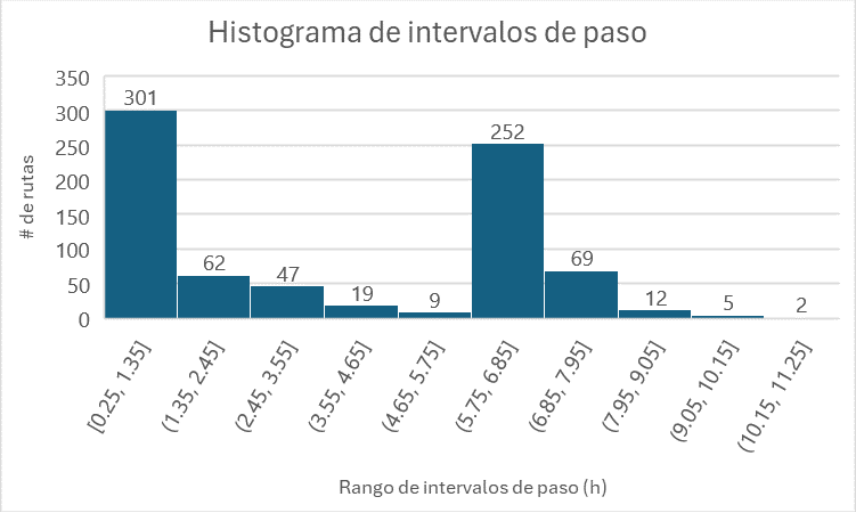


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

3.10.1. Intervalos de paso de las rutas

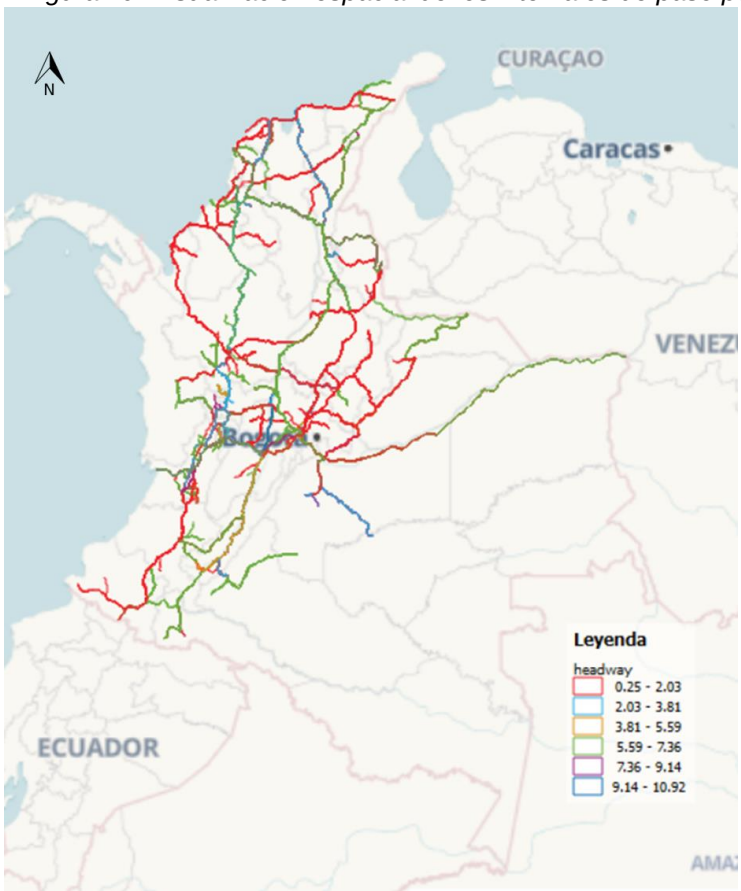
El intervalo de paso representa el tiempo entre las llegadas de la misma ruta de transporte público considerando un punto específico. En el modelo de transporte esta información es agregada en horas y varía según el itinerario propio de cada ruta. A continuación, se ilustran los rangos de intervalos utilizadas en el modelo, así como la visualización espacial de los intervalos de paso por ruta.

Figura 48. Histograma de frecuencia de intervalos de paso en rutas TP carreteras



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Figura 49. Visualización espacial de los intervalos de paso por ruta



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

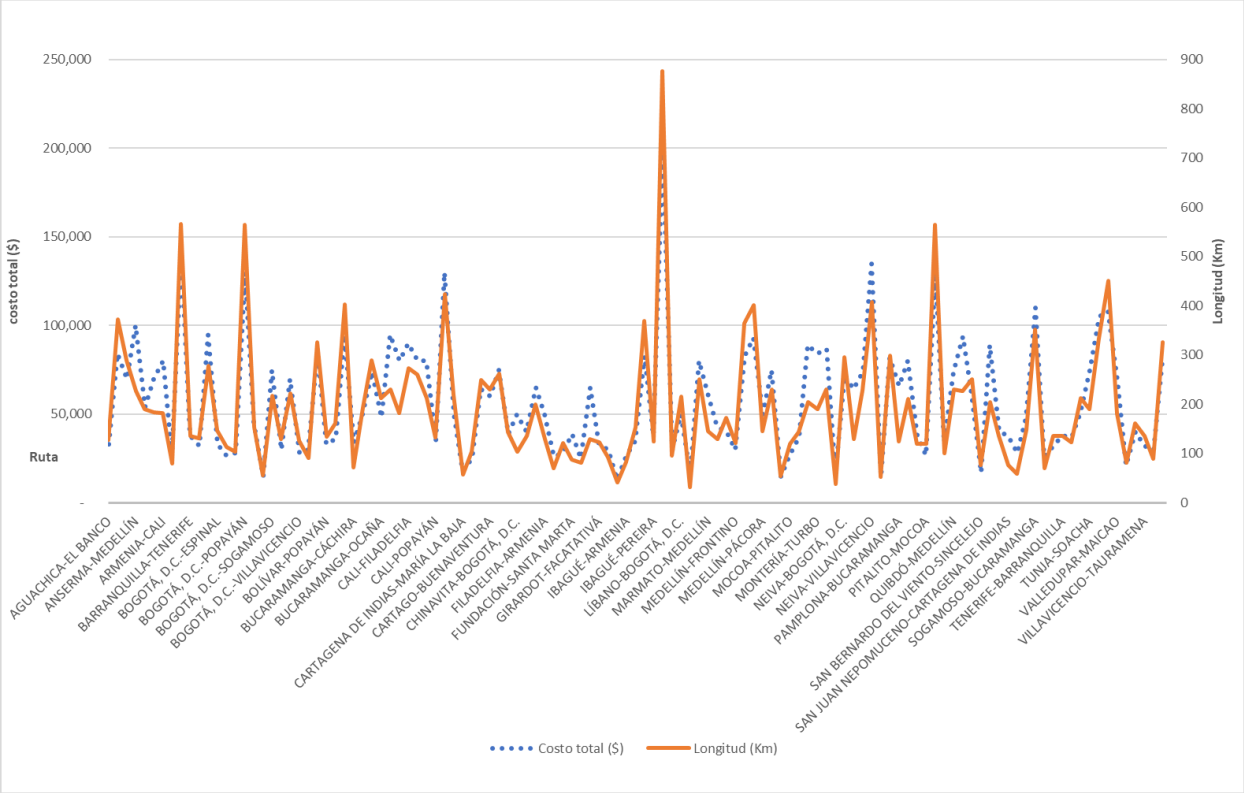
3.10.2. Estimación de la tarifa kilométrica para el TP carretero

Un proceso importante dentro de la caracterización de las rutas de transporte público carretero consistió en el cálculo de la tarifa. Para esto se tomó como referencia las tarifas de las distintas rutas que transitan el territorio a partir del estudio que tiene como objeto "*Consultoría para la elaboración de Planes Regionales de Transporte Intermodal para las subregiones Pacífico Medio, Pacífico Frontera Nariñense, Alto Patía y Norte del Cauca, que garantice la conectividad de pasajeros y carga*", desarrollado por el Consorcio Intermodal Pacífico, 2024. La información corresponde a la recopilada para 117 rutas y representa una muestra significativa para obtener un valor de tarifa kilométrica de referencia para asignar en los casos de rutas que requieren incorporar esta información como se describe en dicho estudio. El resultado de la estimación de la tarifa promedio por kilómetro recorrido es de $312 para el año base 2022; la estimación de este valor se puede consultar en el anexo 10.

El objetivo de esta estimación fue tener un valor que pudiese expresar los costos en función de la distancia recorrida, de manera que se pudiesen representar los viajes que no tienen como origen o destino terminales de transporte o cabeceras municipales. Esta metodología garantiza el manejo de un valor de tarifa ajustado al origen – destino real de los pasajeros, ya que no todos los viajes a nivel de origen y destino utilizan la totalidad de la ruta de inicio a fin. De esta manera, el uso de la tarifa kilométrica permite que el modelo asocie el costo del segmento realmente recorrido, en lugar de asignar una tarifa plena de referencia entre el inicio y fin de la ruta.

En la figura a continuación se ilustra el comportamiento del costo total de la ruta (eje izquierdo) versus la longitud del recorrido (eje derecho). Se puede observar una tendencia general de la relación homogénea del costo del trayecto en función de su longitud.

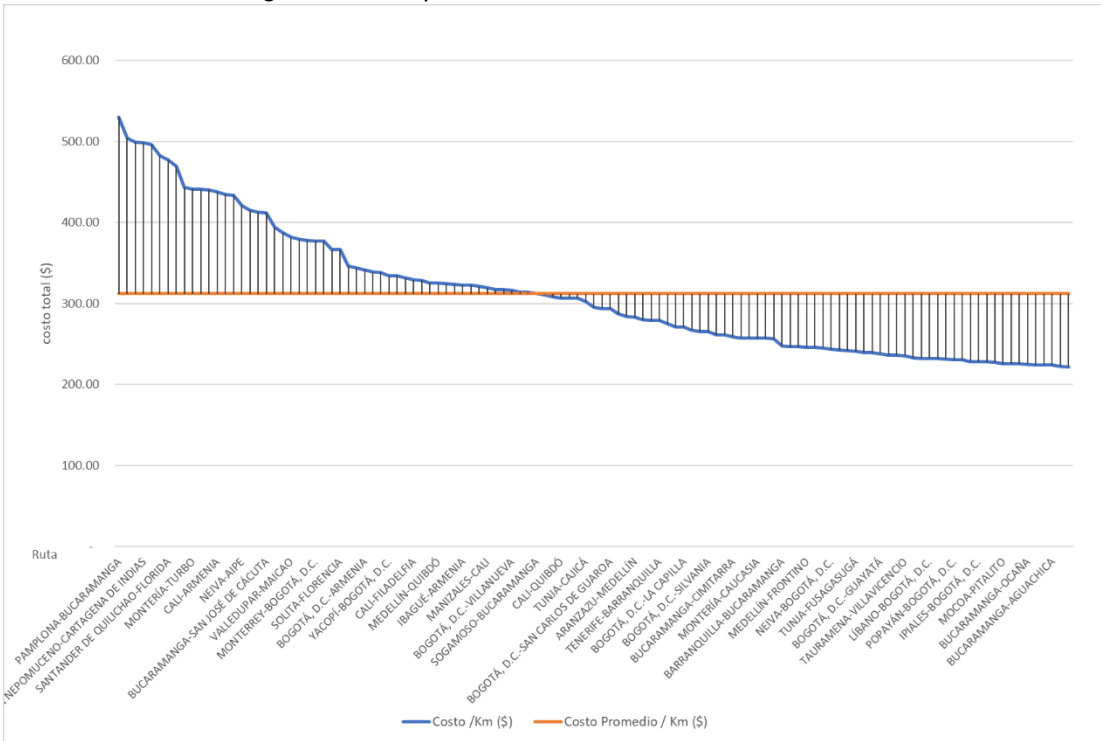
Figura 50. Relación tarifa vs longitud del trayecto TP carretero



Fuente: Consorcio Intermodal Pacífico, 2024

En la siguiente figura se puede apreciar el comportamiento de la tarifa kilométrica de campo respecto a la tarifa promedio calculada.

Figura 51. Comportamiento de tarifa kilométrica TP carretero



Fuente: Consorcio Intermodal Pacífico, 2024

Para el caso de la estimación de la tarifa kilométrica para el transporte carretero no fue necesario aplicar métodos estadísticos para la corrección de valores extremos dado el grado de representatividad de los datos expresados en un error esperado del 4.6% para un nivel de confianza del 90%.

Tabla 53. Indicadores de representatividad de la tarifa kilométrica TP carretero

Indicador	valor
Tarifa promedio por kilómetro	312 (COP)
Desviación estándar	79.6
Coeficiente de variación	0.26
Nivel de confianza	95%
Parámetro Z	1.96
Error del estimador	4.6%

Fuente: Consorcio Intermodal Pacífico, 2024

3.10.3. Velocidad de transporte público carretero

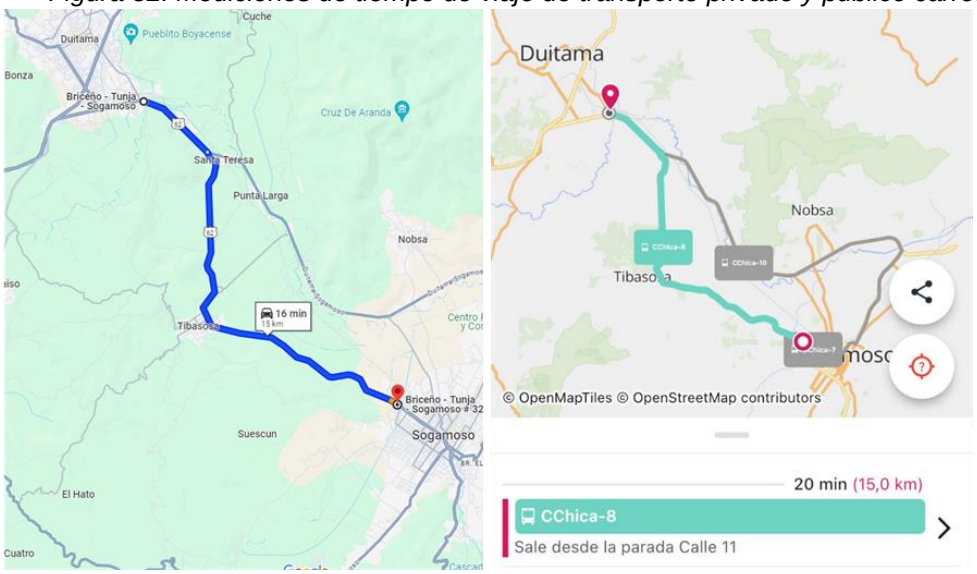
La estimación de la velocidad del transporte público carretero se realiza a partir de la aplicación de un factor de reducción a los datos obtenidos de la plataforma de Google traffic para el transporte privado. Este factor busca representar las reducciones de velocidades propias del sistema de transporte público representadas en los tiempos de ascensos y descenso de los pasajeros, tiempo de espera entre otros. El valor de este factor es de 1.20 y es tomado del estudio que tiene como objeto “Consultoría para la elaboración de Planes Regionales de Transporte Intermodal para las subregiones Pacífico Medio, Pacífico Frontera Nariñense, Alto Patía y Norte del Cauca, que garantice la conectividad de pasajeros y carga”, desarrollado por el Consorcio Intermodal Pacífico, 2024.

Dentro del estudio anteriormente mencionado se realizó una validación de este factor mediante la comparación de las mediciones de Google Maps para el transporte privado y las mediciones en la aplicación de transporte público Busboyaca, la cual permite planificar los viajes entre municipios a través del transporte público y por el momento es el único aplicativo conocido en el territorio nacional que brinda información de planificación de viajes en tiempo real considerando los viajes entre municipios a través del transporte intermunicipal. Como resultado de la validación en el estudio, se determinó que el transporte público circula aproximadamente al 80% del rango de velocidad de transporte privado.

Como parte de la validación del estudio desarrollado por el Consorcio Intermodal Pacífico, 2024 se realizó un ejemplo de comparación entre las velocidades del modo privado y el transporte público carretero basado en el aplicativo utilizado. Las mediciones fueron realizadas entre las ciudades de Duitama y Sogamoso.

En la siguiente figura se observa que la longitud del viaje es constante de 15 kilómetros ya que se tomó la misma ruta para efectos de comparación. No obstante, el tiempo del transporte privado fue de 16 minutos mientras que para el transporte público fue de 20 minutos. Al calcular la velocidad de operación se obtuvo un valor de 56.25 km/h para el transporte privado y 45 km/h para el transporte intermunicipal . Al aplicar el factor de reducción promedio a la velocidad de transporte privado se obtuvo una velocidad de 45 km/h, valor consistente con la medición de la aplicación de planificador de viajes.

Figura 52. Mediciones de tiempo de viaje de transporte privado y público carretero



Fuente: Consorcio Intermodal Pacífico, 2024

Teniendo en cuenta lo anterior y dado que dentro del alcance de la información de campo definida para esta consultoría no se cuenta con mediciones específicas de los tiempos de viaje del transporte público intermunicipal en el territorio nacional, se consideró un factor de reducción de 1.20 constante para todas las rutas de transporte público.

4. DEFINICIÓN DE LA DEMANDA DE LA SITUACIÓN BASE

La definición de la demanda para el año 2022, que corresponde al año base, se realizó a partir de los resultados de la recopilación, análisis y síntesis de la información primaria referente a Encuestas a generadores de carga en las Zonas de Potencial Productivo (ZPP). Así mismo, se consideró información secundaria de fuentes como el Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC), la Superintendencia de transporte entre otros. Esta definición se realizó para cada uno de los segmentos de carga doméstica y comercio exterior (COMEX) teniendo en cuenta el periodo de modelación que se definirá a continuación. Por otra parte, para la definición de la demanda de automóviles y transporte público carretero se tomó como base la información del modelo de referencia del PMTI 2019.

4.1. Definición de periodos de modelación

Con el fin de realizar los análisis bajo un estado que represente la totalidad de las condiciones imperantes de los subsistemas de transporte que hacen parte del alcance de este estudio, se definió la franja anual como el periodo de referencia para la movilización de carga por segmento, específicamente el año 2022. Por otro lado, se consideró la franja diaria, correspondiente a un día promedio del año como el periodo de referencia de simulación para los modelos de demanda vehicular: automóviles y vehículos de transporte de carga (camiones), así como para los pasajeros en transporte público.

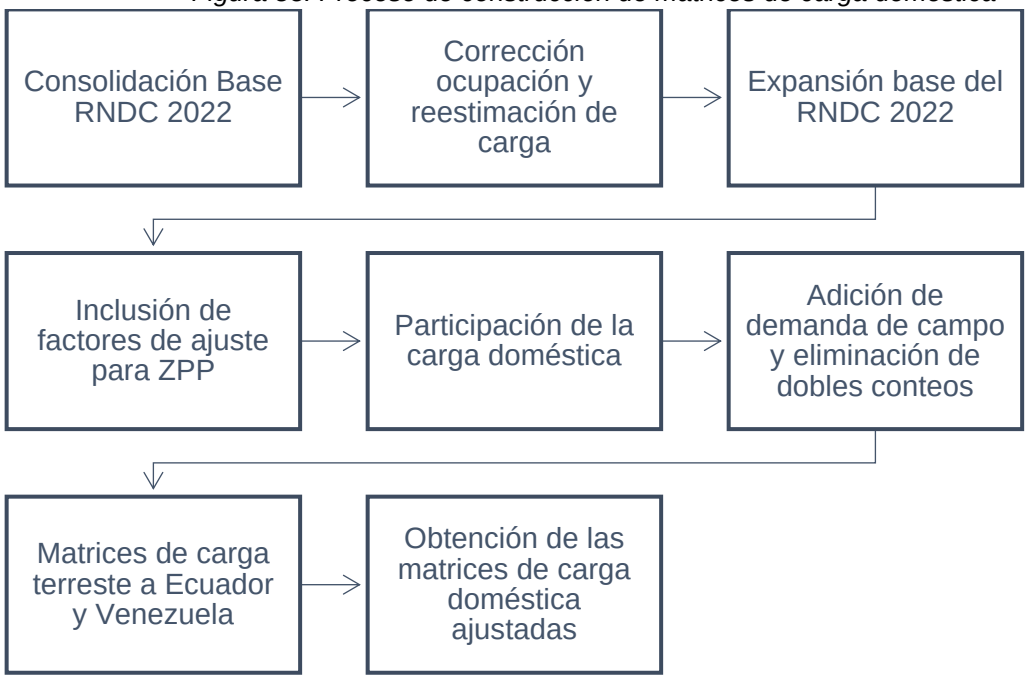
4.2. Matrices semilla de transporte privado y transporte público

La estimación de matrices de automóviles y buses de transporte público consistió en llevar la información de las matrices del modelo de referencia PMTI 2019 al año 2022. Esto mediante la aplicación de un factor calculado con base en el cambio promedio de tráfico de automóviles y buses en los peajes con información para el año de modelación. Esta matriz semilla posteriormente se ajustará en un proceso de calibración con la información primaria de volúmenes en 269 estaciones de peaje y 14 estaciones de aforo.

4.3. Construcción de Matrices de carga doméstica

La construcción de las matrices para el transporte de carga al interior del país se realizó a través del análisis y configuración de información de varias fuentes, dentro de las que se encuentra la información primaria obtenida de Encuestas a generadores de carga en las ZPP y Encuestas Origen Destino de Interceptación (EODI); datos esenciales para representar adecuadamente la carga generada en estas zonas del país. Otra fuente corresponde a información secundaria del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC) del año 2022 y el Plan Maestro de Transporte Intermodal 2019. El proceso de conformación de las matrices de demanda doméstica se realizó en siete pasos, o etapas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 53. Proceso de construcción de matrices de carga doméstica



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Consolidación de la base del RNDC 2022

En este primer paso se consolidó la base de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC) del año 2022. Este proceso implicó reunir y organizar toda la información disponible de manera estructurada y coherente para facilitar el análisis posterior.

Inicialmente, se recolectaron todos los datos registrados en el RNDC durante el 2022. Estos datos incluyen detalles sobre los despachos de carga, tales como los puntos de origen y destino, el tipo de mercancía, los volúmenes transportados y las características de los vehículos utilizados.

Una vez consolidada la información, se procedió a segmentarla según criterios específicos de correspondencia con los catorce segmentos de carga definidos para las ZPP, esto se describe en detalle en el capítulo 3 del tomo I de esta etapa. Así mismo, se realizó la equivalencia a las cinco tipologías de camión (C2G, C2P, C34, C5 y C6M) como se presenta en el anexo 11.

Finalmente, se agruparon los datos segmentados para formar una base consolidada que pueda ser utilizada en análisis más avanzados. Esta base de datos agrupada proporciona una visión integral de la demanda de transporte de carga doméstica, facilitando la planificación logística y la toma de decisiones estratégicas (ver anexo 12). En la siguiente tabla se presenta, de manera general, el total de la carga reportadas en el RNDC por segmento y tipo de vehículo.

Tabla 54. Carga total reportada en el RNDC por segmento y tipo de vehículo (Ton/año)

Id	Segmento\Camión	C2G	C2P	C34	C5	C6M	Total
1	Alimentos agro	1,723,600	72,803	622,147	1,967,506	14,513,699	**18,899,754**
2	Alimento para animales	958,624	15,194	499,264	55,676	756,109	**2,284,867**
3	Alimentos Procesados	2,135,387	291,043	777,965	1,409,634	4,823,117	**9,437,145**
4	Animales Vivos	629,067	260	6,842	5,234	14,986	**656,389**
5	Bebidas con y sin alcohol	531,052	38,732	132,725	423,547	8,239,269	**9,365,326**
6	Combustibles	78,192	386	198,419	295,449	7,863,120	**8,435,567**
7	Grasas y aceites animales o vegetales	231,115	6,526	129,998	370,803	3,893,102	**4,631,545**
8	Hidrocarburos	22,049	615	20,158	284,965	1,090,772	**1,418,560**
9	Maderas	69,105	327	45,286	25,135	567,586	**707,439**
10	Materiales de construcción	1,488,845	23,923	1,318,789	1,667,386	12,967,131	**17,466,073**
11	Minerales	255,726	5,553	369,333	165,695	9,934,142	**10,730,448**
12	Papel y cartón	900,666	53,164	341,355	458,601	1,737,450	**3,491,236**
13	Producción Industrial	4,583,540	196,027	3,181,402	5,870,667	32,836,727	**46,668,363**
14	Otros	7,880,343	690,691	2,743,568	3,389,112	5,034,408	**19,738,122**
Total		**21,487,311**	**1,395,244**	**10,387,249**	**16,389,411**	**104,271,619**	**153,930,834**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

4.3.2. Corrección de la ocupación y reestimación de carga

En este paso se desarrolló la corrección de las ocupaciones y la reestimación de la carga utilizando las ocupaciones promedio de carga doméstica. Este ajuste se realizó para asegurar que las estimaciones de carga fueran precisas y reflejasen las condiciones operativas típicas del transporte de carga en el ámbito doméstico.

Primero, se identificaron las ocupaciones promedio por viaje de los vehículos utilizados para transporte de carga doméstica Las ocupaciones promedio se refieren a la cantidad promedio de carga que un vehículo lleva durante sus operaciones regulares en un viaje, ajustando por factores como el tipo de mercancía, la ruta de transporte y el tipo de vehículo. Este paso es importante para alinear las estimaciones con la realidad operativa y evitar sobreestimaciones o subestimaciones que puedan distorsionar el análisis.

La estimación de estas ocupaciones promedio por viaje se realizó teniendo como referencia la información del modelo de partida PMTI 2019; así mismo se tomó como referencia la resolución N° 004100 del 28 de diciembre de 2004 del Ministerio de Transporte “por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional”[11] , actualizada por la resolución 1782 de 2009[12]. En la siguiente tabla se muestran las cargas máximas y las tolerancias de dicha resolución.

[11] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2020. https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros/10387-resolucion-4100-del-28-de-diciembre-de-2004
[12] Ministerio de transporte, 2009. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36620

Tabla 55. Ocupación media vehicular para carga doméstica

Tipología	Máximo Res. 1782 (ton)	Tolerancia Res.1782 (ton)
C2P	12	0.4
C2G	19	0.4
C34	36	0.9
C5	48	1.2
C6M	52	1.3

Fuente: Ministerio de Transporte 2009.

Con la información de ocupaciones promedio por viaje de los vehículos utilizados en el transporte de carga doméstica, se procedió a reestimar las cargas registradas en la base de datos del RNDC. Este proceso se realizó a partir de la información de viajes al día de la base RNDC multiplicada por la ocupación promedio por viaje de los vehículos y llevada a toneladas año multiplicando por 365.

A continuación, se presentan las ocupaciones medias utilizadas en la base del RNDC para el 2022 y la carga ajustada por el factor de ocupación promedio por viaje.

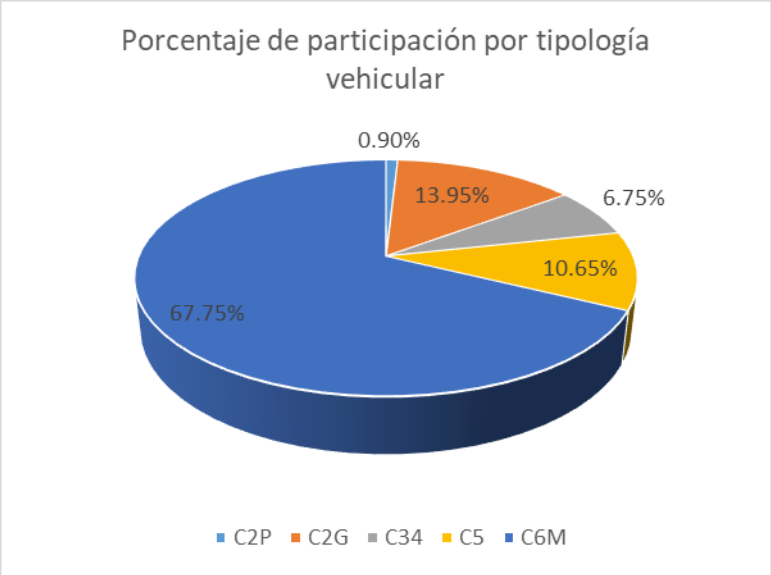
Tabla 56. Ocupación media vehicular para carga doméstica

Veh	Max (Res 1782 ton)	Tolerancia (Res 1782 ton)	Carga mínima (ton)	Carga máxima (ton)	Carga media	Carga total año (ton)	Viajes totales al día
C2P	12	0.4	0.0050	9	1.7	1,382,248	2,595
C2G	19	0.4	0.0080	20	5.6	21,469,349	11,749
C34	36	0.9	0.0300	35	13.5	10,381,631	2,321
C5	48	1.2	0.0500	44	20.8	16,388,906	2,133
C6M	52	1.3	0.0800	50	28.4	104,267,948	9,371
Total						**153,890,082**	**28,169**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

De la consolidación y ajuste por ocupación de esta base datos se obtuvo que para el 2022 en Colombia se registraron en el RNDC un total de 153’890.082 toneladas. Siendo el camión de 6 ejes o más, el vehículo donde se transporta el 67.75% de la carga, seguido del camión grande de 2 ejes.

Figura 54. Porcentaje de participación por tipología vehicular



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Finalmente, se validaron las reestimaciones de carga mediante comparaciones con datos históricos como es el documento Transporte en cifras del Ministerio de Transporte en todas sus ediciones en línea[13]. Esta validación es esencial para confirmar que las correcciones aplicadas son precisas y que los datos ajustados reflejan de manera adecuada las condiciones de operación del transporte de carga doméstica. La corrección de ocupaciones y la reestimación de carga proporcionan una base de datos robusta y precisa, esencial para el análisis y la toma de decisiones en la gestión del transporte y la logística.

4.3.3. Expansión de la base de datos del RNDC

La construcción de la demanda doméstica implicó la expansión de la base de datos del RNDC utilizando un valor estimado de representatividad del 46.1%. En 2022, el RNDC registró la movilización de 135,639,000 toneladas de carga seca aproximadamente y para el caso del transporte de líquidos se desplazaron 4,857,000,000 galones aproximadamente[14]., que al convertir las unidades de galones a toneladas representan aproximadamente 18,291,834 toneladas, es decir, que en total se registraron 153,930,834 toneladas de carga por carretera, mientras que el volumen total de carga movilizada en el país ascendió a más de 334 millones de toneladas, según el Ministerio de Transporte, para el 2021. Este valor se consideró como referencia para el 2022 dado que al consultar otras cifras como las expresadas en el documento transporte en cifras 2022 y los totales de matrices estimadas en el PMTI 2019, dicho valor guarda consistencia con los valores

[13] Ministerio de transporte, 2022. https://mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/

[14] Ministerio de Transporte, 2022. https://mintransporte.gov.co/publicaciones/11333/el-transporte-publico-de-carga-por-carretera-movilizo-mas-de-135-millones-de-toneladas-de-mercancias-en-2022/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Registro,9.64%25%20m%C3%A1s%20que%20en%202021.

reportados en los últimos años. Por otra parte, este valor se tomó como referencia para el modo carretero ,dado que, en general en los viajes la primera y última milla se realizan en transporte carretero.

Para llevar a cabo esta expansión, se utilizó un único factor que corresponde a la relación entre el valor reportado por el Ministerio de Transporte de 334 millones de toneladas y el valor estimado de la base de los registros del RNDC de 153,890,062 de toneladas, como se muestra a continuación.

Aplicando este factor de expansión a la base de datos del RNDC, se ajustaron los volúmenes de carga para reflejar el total estimado, ya que el RNDC no captura todos los movimientos de carga en el país. Adicionalmente, es importante mencionar que los boletines de Transporte en cifras del país reconocen esta situación e incorporan estimaciones basados en otras fuentes oficiales como el Departamento Nacional de Planeación. De esta manera, los datos totales reportados por el Ministerio de Transporte no coinciden de manera exacta con las bases de datos disponibles al público, tal como se puede observar en el documento Transporte en cifras 2022.

Con base en lo anterior, se busca identificar un indicador para la expansión, que represente de manera más agregada el total de la carga a expandir teniendo en cuenta los grados de subreporte en cada uno sus componentes. Adicionalmente, el indicador de referencia para expansión debe considerar la relación del transporte carretero como modo alimentador de los demás modos de transporte, teniendo una participación transversal en las fases de primera y última milla de los viajes. Por esta razón para propósitos de expansión no se toman valores individuales por modo si no que se busca la mejor estimación agregada oficial disponible, es decir los 334 millones de toneladas reportadas por el Ministerio de Transporte[15]. A continuación, se muestra la tabla resumen con información de demanda expandida por tipología vehicular.

Tabla 57. Carga total expandida

Veh	Carga mínima (ton)	Carga máxima (ton)	Carga media	Carga total, año (ton)	Viajes totales al día
C2P	0.0050	9	1.7	3,000,003	5,633
C2G	0.0080	20	5.6	46,596,652	25,499
C34	0.0300	35	13.5	22,532,087	5,037
C5	0.0500	44	20.8	35,570,159	4,629
C6M	0.0800	50	28.4	226,301,099	20,339
Total				**334,000,000**	**61,137**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Finalmente, los datos expandidos se compararon con otras fuentes de información y estudios sectoriales para revisar que los volúmenes ajustados fuesen consistentes con las tendencias, órdenes de magnitud y patrones observados en el mercado. Dentro de estos estudios se encuentra el documento Transporte en cifras 2022 del Ministerio de Transporte y el Estudio que tiene como objeto "*Realizar un análisis prospectivo para la estimación de*

[15] Ministerio de Transporte, 2021. En Colombia se transportaron más de 334 millones de toneladas de carga en 2021, en diferentes modos de transporte - Superintendencia de Transporte (supertransporte.gov.co)

los tiempos y costos del movimiento de carga de comercio exterior que permitan establecer los impactos de la implementación de las medidas de facilitación del comercio y la puesta en marcha de proyectos estratégicos de infraestructura de transporte, en el marco de la ejecución del Programa de Apoyo para la Implementación de la Nueva Política Nacional Logística"" desarrollado por la empresa CONARCON S.A.S mediante el contrato DNP-OR-083-2022, el Plan Maestro de Transporte Intermodal 2021-2051 desarrollado por el Departamento nacional de planeación (DNP) junto con el Ministerio de Transporte entre otros.

4.3.4. Inclusión de factores de ajuste para ZPP

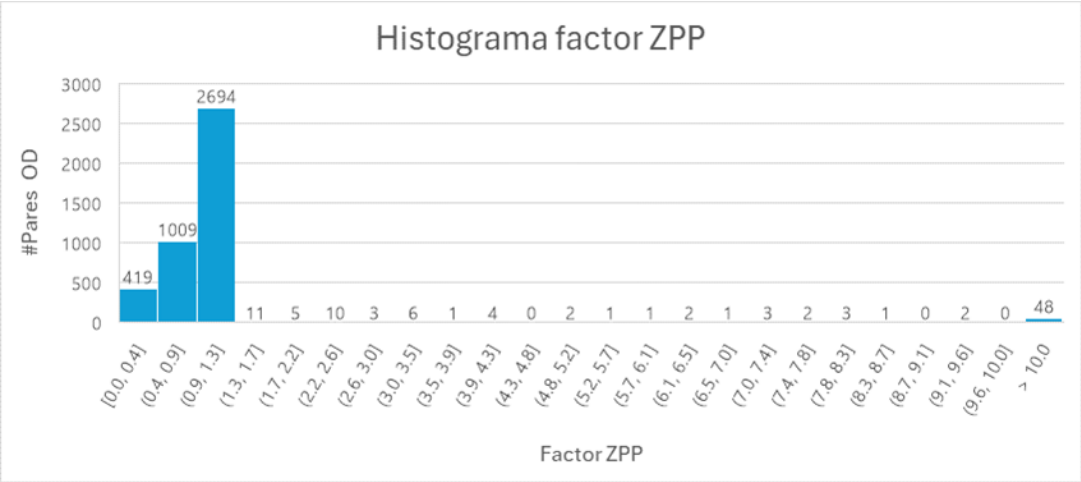
En este paso se realizó la inclusión de factores de ajuste en función del ejercicio de generación en las ZPP, dado que estas zonas son áreas geográficas que han sido priorizadas debido a su importancia en la producción, consumo y tránsito de mercancías. Se recopilaron datos específicos en estas zonas, como volúmenes de carga generada, tipos de mercancías y rutas principales de transporte. Este proceso es esencial para representar adecuadamente la carga generada en estas zonas.

Posteriormente, se calcularon los factores de ajuste para los pares con origen en ZPP, basados en los datos obtenidos de la toma de información primaria y complementados con información secundaria ; proceso que se detalló en el tomo I . Estos factores se derivan de un análisis detallado de la generación de carga en estas zonas , utilizando métodos estadísticos para identificar patrones y tendencias. Los factores de ajuste tuvieron en cuenta variables como la capacidad de producción, la demanda de transporte y las características geográficas y logísticas de cada zona.

Específicamente para los registros con origen en ZPP, se decidió utilizar un enfoque de ajuste basado en el ejercicio de generación de carga presentado en el Tomo I, que resultó en 22.43 millones de toneladas. Esta metodología fue seleccionada debido a que las ZPP fueron el enfoque principal del ejercicio, y los datos recogidos en estas zonas proporcionan una representación más precisa de la realidad logística. A diferencia de otras áreas, en las ZPP se realizó un levantamiento exhaustivo de información primaria que abarcó volúmenes de carga generada, tipos de mercancías y rutas predominantes, información que fue crucial para desarrollar un modelo ajustado a las condiciones específicas de estas zonas.

El ajuste en las ZPP no se basó directamente en la expansión global del RNDC, que arrojó un total de 334 millones de toneladas, sino que se decidió mantener los valores obtenidos en el ejercicio de encuestas de generadores de carga para asegurar una mayor precisión en la representación de estas zonas prioritarias. No obstante, para distribuir la carga generada en las ZPP y relacionarla con el resto del país, utilizamos la estructura de pares origen-destino del RNDC, lo cual permitió integrar ambos ejercicios de manera coherente. Este enfoque nos permitió ajustar la demanda generada en las ZPP manteniendo una consistencia con los pares de distribución nacionales del RNDC. A continuación, se presenta el histograma con los valores utilizados.

Figura 55. Histograma de factor ZPP



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Tabla 58. Información de factores de ZPP por departamento

Departamento	Mínimo factor ZPP	Máximo valor ZPP	Promedio ZPP	Número de registros
Amazonas	0.32	1.00	0.91	14
Arauca	0.00	193.42	3.49	84
Caquetá	0.00	446.61	2.81	224
Casanare	0.00	359.39	3.20	266
Cauca	0.00	67.24	1.07	546
Chocó	0.13	95.63	1.29	238
Córdoba	0.00	244.96	1.59	420
Guainía	0.19	1.00	0.93	28
Guaviare	0.00	25.15	1.42	42
Huila	0.00	2709.20	6.33	518
Meta	0.01	260.78	3.38	392
Nariño	0.00	101.81	1.09	840
Putumayo	0.00	1010.54	11.24	182
Sucre	0.00	936.31	3.56	364
Vaupés	1.00	1.00	1.00	14
Vichada	0.24	51.19	1.75	56

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Una vez calculados, estos factores de ajuste se aplicaron a los pares OD con origen en ZPP de la base de datos de carga del RNDC ajustada por ocupación y expandida por el total de 334 millones de toneladas. Esto implicó modificar los volúmenes de carga para que reflejasen de manera precisa la generación de carga en las ZPP. Este ajuste es crucial para asegurar que la demanda de transporte de carga doméstica esté alineada con la realidad operativa y las necesidades específicas de cada zona con potencial productivo. .

A continuación, se relaciona la información de carga doméstica total, una vez realizado el ajuste a los pares OD con origen en ZPP.

Tabla 59. Carga total ajustando los pares OD con origen en ZPP

Veh	Carga total año (Ton)	Viajes Totales al día
C2P	2,903,050	5,465
C2G	44,762,684	24,636
C34	21,098,667	4,755
C5	33,295,354	4,436
C6M	207,500,645	19,141
Total	**309,560,400**	**58,432**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Finalmente, se validó el ajuste mediante comparaciones con datos históricos y estadísticas a nivel nacional. Este proceso de validación se realizó considerando la carga total nacional, teniendo en cuenta que la carga generada en las ZPP representa solo una muestra del total. Debido a la falta de información histórica exclusiva para las ZPP, no es posible rastrear datos específicos de carga para estas zonas. Por esta razón, se revisaron datos históricos nacionales disponibles en “Transporte en Cifras” y se contrastaron con las tendencias históricas para asegurar que los resultados se mantuvieran en un orden de magnitud coherente. Este proceso se llevó a cabo después de incluir los factores de ajuste específicos para las ZPP, con el fin de validar que el total de la carga proyectada para el año base reflejara de manera precisa las condiciones reales del transporte de carga en el país. Esta validación asegura que los factores de ajuste sean precisos y que los volúmenes de carga ajustados reflejen de manera adecuada las condiciones operativas en las ZPP. La inclusión de factores de ajuste en función de la generación en las ZPP proporciona una base sólida para el análisis y la planificación logística, mejorando la precisión y utilidad de la demanda doméstica de transporte de carga.

4.3.5. Participación de carga doméstica

Este paso consistió en extraer lo correspondiente al segmento de transporte de carga doméstica de la base del RNDC ajustada por anteriores factores, dado que esta base contiene registros tanto de carga doméstica como de COMEX. Para realizar esta segregación se utilizó la base demanda del PMTI 2019.

En primer lugar, se identificaron los pares OD y los segmentos específicos de carga doméstica en la base de datos de demanda del PMTI 2019. Estos datos proporcionan una referencia detallada sobre cómo se distribuyen los flujos de carga a nivel nacional, así como las rutas más utilizadas y los tipos de mercancía transportada.

A continuación, se cruzaron los datos del PMTI 2019 con la base de datos del RNDC ajustada para identificar las coincidencias y diferencias entre las dos fuentes. Se aplicaron ajustes para alinear los volúmenes de carga registrados en el RNDC con los patrones de demanda observados en el PMTI 2019. Este proceso incluyó la normalización de datos y la corrección de discrepancias para asegurar que los volúmenes de carga fueran coherentes y representativos. En el caso donde el volumen de carga en un par OD fuera mayor en la base del PMTI 2019 , se ajustaban este dato en la base del RNDC para reflejar esta información. .

La normalización de los datos se realizó con el objetivo de evitar la presencia de valores atípicos (outliers) en términos de ocupación, volúmenes de carga y pares origen-destino sobredimensionados, los cuales podrían distorsionar el análisis. Este proceso es fundamental para garantizar que los datos sean consistentes y estén alineados con los patrones reales observados en el sistema de transporte. Para llevar a cabo este ajuste, se utilizó un enfoque basado en la experiencia y el conocimiento profundo de las bases de datos, tanto del PMTI 2019 como del RNDC.

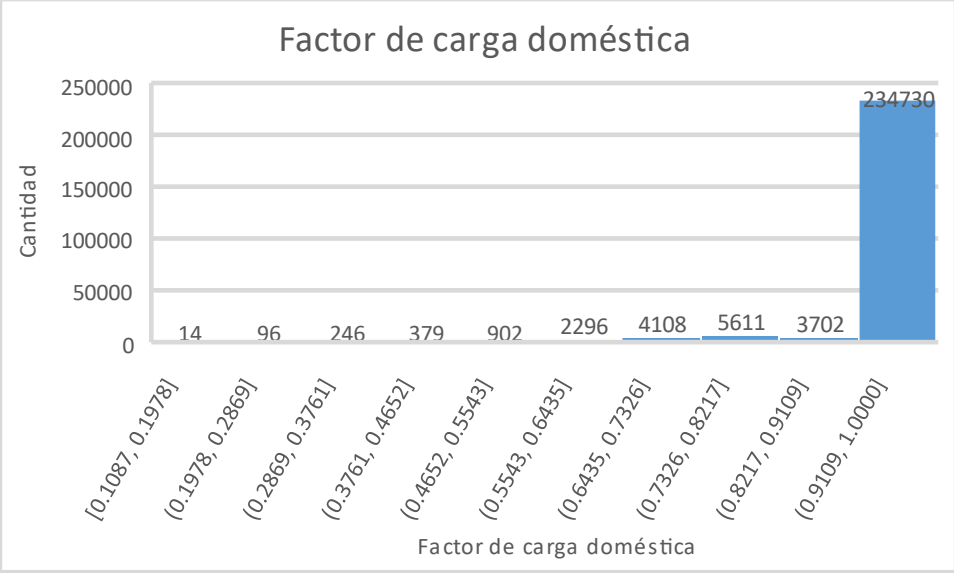
El equipo técnico evaluó cuidadosamente las discrepancias entre las dos fuentes, identificando aquellos pares que presentaban volúmenes de carga anómalos o incoherentes. En estos casos, se ajustaron los valores para reflejar mejor la realidad operativa del sistema de transporte, basándose en criterios sólidos de análisis y la experticia acumulada en la gestión de estas bases. Este enfoque permitió corregir distorsiones en la información sin perder la representatividad y fiabilidad de los datos.

Asimismo, se emplearon técnicas de normalización para garantizar que las diferencias entre el PMTI 2019 y el RNDC no influyeran negativamente en la coherencia global del modelo. En particular, se ajustaron aquellos pares con volúmenes de carga significativamente superiores en el PMTI 2019, actualizando la base del RNDC para reflejar esta información de manera adecuada y precisa, evitando sobreestimaciones o infraestimaciones que pudieran comprometer la calidad del análisis.

El siguiente histograma presenta los factores de ajuste utilizados para la carga doméstica. El objetivo del histograma es evidenciar que la mayoría de estos factores se concentran entre 0.91 y 1, mostrando una proximidad notable al valor de 1. Este comportamiento indica que las dinámicas de flujo de carga no experimentaron cambios significativos durante el período de análisis, lo que permite inferir una consistencia sólida entre la base de datos de 2019 y su extrapolación a 2022. Esta estabilidad refuerza la confianza en la información pública utilizada, demostrando que las bases de datos conservan su fiabilidad en la representación de los flujos de carga.

Es importante destacar que los factores menores a 0.5 representan una minoría significativa, con aproximadamente 1,200 datos de un total de más de 240,000, lo que equivale al 0.5%. Estos casos corresponden a pares que han experimentado cambios significativos en sus dinámicas de flujo de carga, lo que explica la presencia de factores de ajuste menores. Sin embargo, estos valores no generan cambios significativos en el análisis general, ya que representan un porcentaje mínimo tanto de los pares analizados como del volumen total de carga, lo que reafirma la estabilidad general y la coherencia de la información utilizada.

Figura 56. Histograma de los factores utilizados en la participación de carga doméstica



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

La separación de carga doméstica de la carga COMEX utilizando la base de demanda del PMTI 2019 asegura que la base de datos del RNDC sea una representación precisa y útil de la demanda de transporte de carga doméstica, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión logística. A continuación, se presentan los valores ajustados por carga exclusivamente doméstica.

Tabla 60. Carga total ajustada por tipo doméstica

Veh	Carga mínima (ton)	Carga máxima (ton)	Carga media	Carga total año (Ton)	Viajes Totales al día
C2P	0.0050	9	1.7	3,767,893	6,616
C2G	0.0080	20	5.6	46,221,007	25,500
C34	0.0300	35	13.5	21,150,303	5,317
C5	0.0500	44	20.8	32,137,451	4,313
C6M	0.0800	50	28.4	194,730,649	21,267
Total				**298,007,303**	**63,013**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

4.3.6. Adición de demanda de campo y eliminación de dobles conteos

En este paso se realizó la adición de la demanda de campo expandida y la eliminación de dobles conteos, asegurando que los datos finales sean precisos y representativos de la

realidad operativa. Este paso integró los datos adicionales de campo y permitió corregir cualquier duplicación que pudiese existir en las bases de datos.

Primero, se recopilaron los datos de campo adicionales que complementan la base del RNDC, a través de la consolidación y expansión de las encuestas directas a transportistas (Encuestas de interceptación). Esta recolección de información primaria, detallada en el Tomo I, fue fundamental para complementar y enriquecer la base de datos existente, aportando información actualizada y precisa sobre las dinámicas de transporte de carga. Al incluir datos obtenidos directamente en puntos clave de interceptación, se mejoró la capacidad de identificar patrones de tráfico y flujos de carga que no se capturan completamente en las bases administrativas del RNDC. Esto permitió una visión más precisa y representativa de la realidad logística en las rutas estudiadas.

La información adicional obtenida a través de estas encuestas se integró en la construcción de la demanda de transporte de carga, ayudando a perfeccionar la matriz de origen-destino (OD). Al incluir datos específicos de pares y tipos de carga, se logró aumentar la granularidad de la matriz, permitiendo una mayor desagregación y detalle en el análisis. Esto no solo mejora la precisión de los modelos de demanda, sino que también facilita la identificación de pares estratégicas, patrones de uso y comportamientos de transporte en diferentes segmentos de carga. La capacidad de contar con datos más detallados mejora la identificación de los corredores logísticos más importantes y optimiza la planificación para responder a la demanda real.

Además, el uso de esta información complementaria permitió la inclusión de nuevos pares OD en la matriz de demanda, lo que contribuyó a cubrir segmentos de carga que anteriormente no se captaban en algunos casos. Esto asegura que la matriz de demanda no solo refleje los flujos principales, sino también aquellos que, aunque menos significativos en términos de volumen, tienen un impacto importante en la planificación logística regional. De este modo, se obtiene una matriz más completa que representa tanto la demanda consolidada como la fragmentada, permitiendo una planificación integral y eficiente del transporte de carga en todo el territorio.

Teniendo consolidadas las bases, se procedió con la eliminación de dobles conteos, utilizando un conjunto de reglas específicas:

> Si para un mismo par OD (mismo tipo de vehículo y mismo segmento de carga) aparece en ambas fuentes de datos (RNDC y datos de campo), se mantiene el valor máximo entre ellos. Esto asegura que la carga total no sea subestimada.
> Por otro lado, si un registro solo aparece en una de las bases de datos, se conserva tal como está.

Este proceso es esencial para evitar la sobreestimación o duplicación de volúmenes de carga, lo que podría distorsionar el análisis. Finalmente, se validaron los datos consolidados para asegurar que la integración de la demanda de campo y la eliminación de dobles conteos se ha realizado correctamente. Esto incluye revisiones cruzadas para confirmar que los datos finales sean coherentes y precisos.

En la siguiente tabla se presentan los valores ajustados por la adición de campo y la eliminación de dobles conteos.

Tabla 61. Carga total ajustada por adición de demanda de campo y eliminación de dobles conteos

Veh	Carga mínima (ton)	Carga máxima (ton)	Carga media	Carga total año (ton)	Viajes totales al día
C2P	0.0050	9	1.7	6,044,597	8,403
C2G	0.0080	20	5.6	47,376,586	26,073
C34	0.0300	35	13.5	23,188,123	5,939
C5	0.0500	44	20.8	35,180,848	4,816
C6M	0.0800	50	28.4	196,934,447	21,497
Total				**308,724,601**	**66,728**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se presenta el total de la carga por segmentos y tipo de vehículo ajustada por la adición de demanda de campo y eliminación de dobles conteos.

Tabla 62. Carga total por segmento y tipo de vehículo (Ton/año)

Id	Segmento\Camión	C2G	C2P	C34	C5	C6M	Total
1	Alimentos agro	5,090,668	2,505,183	2,111,838	4,279,280	23,449,366	**37,436,336**
2	Alimento para animales	2,071,921	41,155	1,034,564	108,765	1,854,053	**5,110,458**
3	Alimentos Procesados	4,569,120	987,466	1,805,134	2,942,273	8,796,846	**19,100,840**
4	Animales Vivos	1,241,753	1,441	9,837	192,578	126,935	**1,572,544**
5	Bebidas con y sin alcohol	1,109,806	64,634	303,664	900,315	18,509,136	**20,887,555**
6	Combustibles	252,779	23,890	599,876	1,049,867	15,705,499	**17,631,910**
7	Grasas y aceites animales o vegetales	454,248	12,890	260,072	588,150	6,714,423	**8,029,784**
8	Hidrocarburos	51,384	2,595	258,350	2,733,232	5,511,327	**8,556,889**
9	Maderas	247,795	670	87,107	84,265	928,525	**1,348,362**
10	Materiales de construcción	3,054,393	238,405	3,459,598	3,480,888	27,743,219	**37,976,503**
11	Minerales	633,747	12,401	781,314	320,341	18,282,030	**20,029,833**
12	Papel y cartón	1,845,591	107,695	600,792	777,823	3,423,189	**6,755,091**
13	Producción Industrial	9,061,670	440,264	5,654,803	8,948,198	54,128,443	**78,233,378**
14	Otros	17,691,709	1,605,907	6,221,174	8,774,872	11,761,455	**46,055,118**
Total		**47,376,586**	**6,044,597**	**23,188,123**	**35,180,848**	**196,934,447**	**308,724,601**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

4.3.7. Matrices de carga terrestre a Ecuador y Venezuela

En este paso se calcularon las matrices de carga terrestre a Ecuador y Venezuela. Es importante mencionar que, aunque esta información se refiere a comercio internacional, las características del tipo de carga y el modo de transporte utilizado son muy similares a las dinámicas de la carga doméstica. Primero se identificaron los datos específicos sobre el

transporte de carga terrestre a Ecuador y Venezuela de la base de datos de la superintendencia de transporte. Posteriormente se tomó las submatrices con origen o destino en los pasos fronterizos, para el caso de Venezuela se consideraron los registros de Cúcuta, Paraguachón, Arauca y Puerto Santander, para el caso de Ecuador se tomaron los registros de Ipiales y San Miguel.

Una vez consolidadas las submatrices correspondientes a los pasos fronterizos, se escalaron los valores de cada par OD de estas submatrices a los volúmenes de control de Ecuador y Venezuela tanto de exportación como de importación. Como resultado, se obtuvieron las matrices de carga terrestre específicas para estos pasos fronterizos, las cuales se integrarán en la matriz de carga doméstica en el siguiente paso . A continuación, se relacionan los datos totales de control de importación y exportación obtenidos para estos puntos de frontera.

Tabla 63. Volúmenes de control del comercio exterior terrestre 2022 (Ton/año)

Total de carga 2022		
País	Exportación	Importación
Ecuador	564,203	624,692
Venezuela	251,021	63,411

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

4.3.8. Obtención de la matriz semilla de Demanda Doméstica

Finalmente, se construyó la matriz semilla de demanda de carga doméstica de los pasos anteriores donde se tuvieron en cuenta el ajuste por ocupación, los datos expandidos del RNDC, el ajuste para los pares OD con origen en las Zonas de Potencial Productivo con base en la información primaria de encuestas a generadores de carga, la participación de la carga doméstica según la base de demanda del PMTI 2019, la eliminación de dobles conteos entre la base ajustada y las encuestas expandidas realizadas a transportistas (EODI) y por último la inclusión de las matrices de carga terrestre a Ecuador y Venezuela La integración de estos datos asegura una visión completa y coherente de la demanda de carga doméstica.

Se revisaron y verificaron los datos ajustados para asegurar su consistencia y precisión. Este proceso incluyó la validación cruzada de los volúmenes de carga con otras fuentes de información, como estudios sectoriales y datos históricos, para confirmar que los ajustes realizados fuesen adecuados y representativos. La revisión detallada permite identificar y corregir cualquier discrepancia o error en los datos.

Esta matriz proporciona una representación detallada de la demanda de transporte de carga doméstica, considerando las particularidades y necesidades específicas de cada zona con potencial productivo. La obtención de estas matrices es importante para la planificación logística y la toma de decisiones estratégicas en el sector del transporte A continuación, se presentan los valores semilla obtenidos para la carga doméstica.

Tabla 64. Valores semilla obtenidos para la carga doméstica

Id	Segmento	C2G	C2P	C34	C5	C6M	Total
1	Alimentos agro	5,090,668	2,505,183	2,148,035	4,308,010	23,542,158	**37,594,055**
2	Alimento para animales	2,071,921	41,155	1,034,873	108,780	1,857,940	**5,114,668**
3	Alimentos Procesados	4,569,120	987,466	1,807,705	2,973,803	8,885,842	**19,223,936**
4	Animales Vivos	1,241,753	1,441	9,837	192,578	147,534	**1,593,143**
5	Bebidas con y sin alcohol	1,109,806	64,634	303,882	953,806	18,548,044	**20,980,173**
6	Combustibles	252,779	23,890	599,919	1,050,210	15,708,638	**17,635,435**
7	Grasas y aceites animales o vegetales	454,248	12,890	260,386	589,283	6,717,542	**8,034,350**
8	Hidrocarburos	51,384	2,595	258,350	2,733,647	5,523,265	**8,569,241**
9	Maderas	247,795	670	87,318	85,333	1,010,452	**1,431,568**
10	Materiales de construcción	3,054,393	238,405	3,461,083	3,483,912	27,866,051	**38,103,844**
11	Minerales	633,747	12,401	782,299	320,609	18,299,049	**20,048,106**
12	Papel y cartón	1,845,591	107,695	602,671	780,871	3,447,082	**6,783,911**
13	Producción Industrial	9,061,670	440,264	5,664,410	8,977,238	54,354,222	**78,497,804**
14	Otros	17,691,709	1,605,907	6,504,722	9,001,627	11,813,721	**46,617,686**
Total		**47,376,586**	**6,044,597**	**23,525,489**	**35,559,708**	**197,721,539**	**310,227,919**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente tabla se presentan los valores de las toneladas totales por segmento de carga, tipo de vehículo y participación de los segmentos en el total de la carga generada en ZPP.

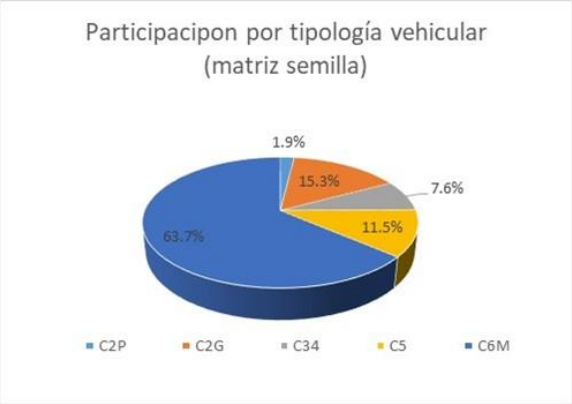
Tabla 65. Carga total con origen en ZPP

Id	Segmento	C2G	C2P	C34	C5	C6M	Total	%part.
1	Alimentos agro	299,603	361,467	195,481	163,039	2,078,129	**3,097,719**	13.8%
2	Alimento para animales	17,862	3,740	35,899	165	137,583	**195,249**	0.9%
3	Alimentos Procesados	172,427	14,879	39,092	71,558	502,355	**800,312**	3.6%
4	Animales Vivos	61,674	281	2,059	2,791	5,203	**72,009**	0.3%
5	Bebidas con y sin alcohol	25,578	6,093	3,360	13,753	212,928	**261,713**	1.2%
6	Combustibles	103,121	167	28,839	292,579	1,906,524	**2,331,231**	10.4%
7	Grasas y aceites animales o vegetales	12,134	48	14,319	150,511	813,871	**990,883**	4.4%
8	Hidrocarburos	8,471	1,500	100,443	2,587,035	4,071,396	**6,768,844**	30.2%
9	Maderas	3,755	12	8,139	12,801	147,788	**172,496**	0.8%
10	Materiales de construcción	119,080	41,438	163,794	108,849	534,689	**967,850**	4.3%
11	Minerales	24,338	968	13,012	49,188	2,137,610	**2,225,117**	9.9%
12	Papel y cartón	48,327	4,084	68,001	49,620	312,581	**482,612**	2.2%
13	Producción Industrial	305,408	29,476	117,772	312,993	1,769,892	**2,535,542**	11.3%
14	Otros	467,562	111,888	280,292	291,452	380,204	**1,531,398**	6.8%
Total		**1,669,340**	**576,042**	**1,070,501**	**4,106,336**	**15,010,754**	**22,432,973**	**100%**

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

A continuación, se presenta el porcentaje de carga movilizada en las diferentes tipologías vehiculares, donde se puede observar que el 63.7% de la carga se moviliza en el camión de 6 ejes o más.

Figura 57. Porcentaje de participación por tipología vehicular para la matriz semilla

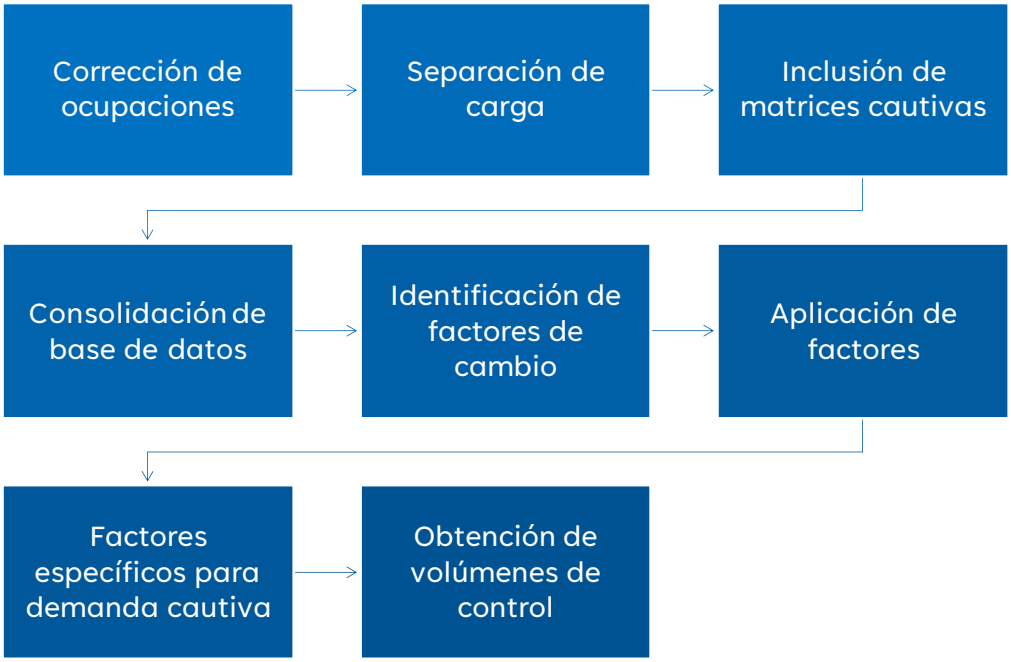


Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

4.4. Matrices de carga de comercio exterior (COMEX)

Para la construcción de las matrices de demanda de comercio exterior se utilizó la información del modelo de partida PMTI 2019y ajustada a partir de información del Ministerio de Transporte, así como información de estudios desarrollados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP). En este sentido el procedimiento para el cálculo de las matrices de carga de comercio exterior se realizó a partir de nueve pasos, que se detallan a continuación.

*Figura **¡Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí.** 58. Proceso de construcción de matrices carga de comercio exterior*



Fuente: Elaboración propia.

4.4.1. Corrección de ocupaciones

La construcción de las matrices semilla de demanda de COMEX implicó la corrección de ocupaciones de las matrices de demanda del modelo de 2019. Este ajuste fue esencial para reflejar con precisión las condiciones actuales de carga en los vehículos de transporte de COMEX, que solían ir más cargados para maximizar el uso del espacio disponible. Para realizar esta corrección, se utilizaron los valores representativos de la resolución 4100 del 2004 del Ministerio de Transporte, actualizada por la resolución 1782 de 2009 de la misma entidad por la cual se establecen los pesos máximos de transporte para los diferentes tipos de camión. Así mismo, para el procedimiento de corrección también se tuvieron en cuenta los datos típicos de la muestra, lo cual aseguró que las nuevas matrices reflejaran las condiciones operativas óptimas. En la siguiente tabla se relacionan las cargas máximas transportadas por tipo de vehículo reglamentadas en la resolución 1782 de 2009.

Tabla 66. Cargas máximas resolución 1782 de 2009

Tipología	Máximo Res. 1782 (ton)	Tolerancia Res. 1782 (ton)
C2P	12	0.4
C2G	17	0.4
C34	36	0.9
C5	48	1.2

C6M	52	1.3

Fuente: Ministerio de transporte, 2009.

Se recopilaron datos históricos de ocupación media en toneladas por viaje de los vehículos de transporte de carga en rutas de COMEX y se realizaron entrevistas con operadores logísticos para obtener información detallada sobre la capacidad de carga y la optimización del espacio. Esta información fue analizada y se calcularon las nuevas medias ajustadas, que luego se aplicaron a las matrices de demanda del 2019. En la siguiente tabla se muestran los valores recopilados de valores normales de carga máxima y mínima transportados por tipología de vehículo, a partir de los valores máximos y mínimos de la información recopilada y de los valores máximos y mínimos de las resoluciones del Ministerio de Transporte, se calcula la carga media, que corresponde al valor bajo el cual se normalizan los datos iniciales del PMTI 2019.

Tabla 67. Datos de cargas históricas en rutas de COMEX

Ocupación media Carga COMEX PMTI 2019 ajustado			
TIPO_VEH	Carga Mínima	Carga Máxima	Carga Media
C2P	9.0	9.0	9.0
C2G	19.6	20.0	19.6
C34	27.4	36.0	27.5
C5	42.1	45.0	42.2
C6M	51.0	51.0	51.0

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se normalizaron los datos atípicos mediante un proceso de ajuste de carga transportada a valores promedio por viaje para mantener la coherencia en los volúmenes de carga y se actualizaron las matrices de demanda con las nuevas medias ajustadas los datos de partida para la estimación de las matrices COMEX se muestran en el anexo 13. Este proceso aseguró que los datos reflejaran las condiciones actuales del transporte de carga, bajo la premisa de optimización del uso del espacio en los vehículos para mejorar la eficiencia logística. En la siguiente tabla se relacionan los valores normales de carga en toneladas, el número de registros normalizados de la base PMTI con datos de COMEX, el resultado de la carga total al año y los viajes totales al día.

Tabla 68. Carga normalizada PMTI 2019 por tipo de vehículo

Tipología	Toneladas	# Registros	Carga Total año (Ton)	Viajes Totales al día
C2P	9	1156	921,536.9	280.5
C2G	19.6	1552	1,490,039.9	208.3
C34	27.44	1329	6,429,412.1	641.9

Tipología	Toneladas	# Registros	Carga Total año (Ton)	Viajes Totales al día
C34	34.1	1	113,544.3	9.1
C34	36.17	1	124,977.4	9.5
C5	42.14	1378	11,767,433.1	765.1
C5	45.2	10	516,590.9	31.3
C6M	50.96	1299	41,006,086.7	2204.6
C6M	51.3	9	1,963,223.1	104.8
Total		**6735**	**64332844.39**	**4255.1**

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Separación de Carga

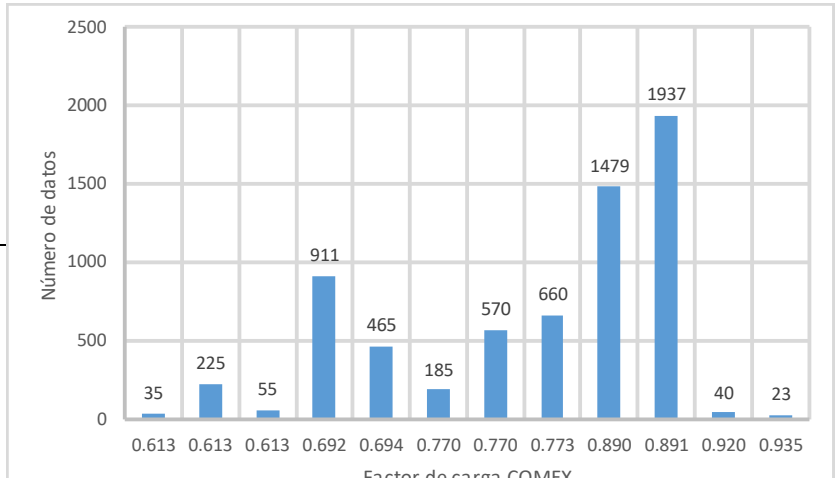
Este paso consistió en separar la carga de COMEX de la carga doméstica de la base consolidada. Este proceso permitió diferenciar claramente los dos tipos de carga y tratarla por separado, lo que mejoró la precisión de las matrices de demanda.

En la información consolidada obtenida del modelo PMTI 2019 se contó con un total de 241,770 datos de origen destino de los cuales 235,035 corresponden a registros de carga doméstica, 150 corresponden a registros de COMEX y 6585 registros de carga mixta (tanto doméstica como Comex). Para la construcción de las matrices Comex, se utilizaron tanto los registros COMEX como de carga mixta, es decir, 6735 registros.

Para la realización del proceso de separación de datos de carga mixta (Doméstica y Comex), se utilizaron los porcentajes establecidos para el año correspondiente. Estos porcentajes se basaron en información realizada en otros estudios de demanda y consolidadas en el modelo del PMTI 2019, tales como registros de transporte, encuestas a empresas generadoras y estadísticas oficiales de comercio exterior realizadas por el DANE, la DIAN, y la Superintendencia de Transporte que se compilan en la base de demanda del estudio que tiene por objeto construcción de los modelos de transporte y proyección de la demanda para la actualización del Plan Maestro de Transporte Intermodal PMTI 2019. En la siguiente tabla y figura se muestra el porcentaje de carga COMEX para los 6585 registros con carga mixta (COMEX y Doméstica), estos factores son utilizados para separar la base de datos del PMTI 2019.

Tabla 69. Factor de carga COMEX

Factor de carga COMEX	Número de registros
0.6127	35
0.6129	225



Factor de carga COMEX	Número de registros
0.6132	55
0.6915	911
0.6939	465
0.7696	185
0.7697	570
0.7730	660
0.8898	1479
0.8913	1937
0.9199	40
0.9349	23
Total	**6585**

Fuente: Elaboración propia.

Primero, se identificaron y extrajeron los datos correspondientes a la carga de COMEX. Este proceso implicó el uso de criterios específicos, como el tipo de mercancía, el origen y destino de los envíos, y la naturaleza de las transacciones (importación o exportación). Los datos se verificaron y validaron para asegurar su precisión y consistencia.

En las siguientes tablas se relacionan el número de registros de la base del PMTI 2019 con información de COMEX, la información se identificó como importación o exportación.

Tabla 70. Registros asociados a importación o exportación PMTI 2019

Importación	
Zona Portuaria	Registros
SANTA MARTA	422
CARTAGENA	1320
BUENAVENTURA	1330
BARRANQUILLA	795
TOLÚ	40
PUERTO BOLIVAR	15
COVEÑAS	5
TURBO	105
TUMACO	5
PUERTO BRISA	5

Exportación	
Zona Portuaria	Registros
SANTA MARTA	309
BARRANQUILLA	489
CARTAGENA	933
BUENAVENTURA	717
TOLÚ	15
TURBO	165
PUERTO BRISA	45
TUMACO	10
COVEÑAS	10

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de matrices COMEX se contó con 6735 registros, de los cuales 4042 corresponden a datos asociados a importación y 2693 a exportación. Los puertos con más datos de importación y exportación son los de Cartagena y Buenaventura con un total de 4300 registros que corresponden al 63.8% del total de los datos.

4.4.3. Inclusión de Matrices Cautivas

Se incluyeron las matrices cautivas provenientes de proyectos intermodales del 2019. Estas matrices hacen referencia a la información de origen – destino de la carga que únicamente puede ir por un modo de transporte como es el caso del carbón en el modo férreo. Este proceso fue fundamental para asegurar que todas las matrices relevantes estuvieran integradas en el análisis y reflejaran adecuadamente la demanda de comercio exterior.

Inicialmente, se identificaron los proyectos intermodales desarrollados en 2019 que tuvieran un componente significativo de carga cautiva de COMEX. Estos proyectos incluyeron iniciativas clave en infraestructura de transporte, como mejoras en puertos, ferrocarriles y centros logísticos, que influían directamente en los flujos de carga de COMEX.

Posteriormente, se recopilaron las matrices de demanda asociadas a estos proyectos. Estas matrices contenían datos detallados sobre los volúmenes de carga, los tipos de mercancía, y las rutas utilizadas. Se realizó un análisis exhaustivo para verificar la precisión y consistencia de los datos, asegurando que reflejaran correctamente la situación del 2019. En la siguiente tabla se relacionan los totales de matrices cautivas identificadas para el año 2019.

Tabla 71. Totales de matrices cautivas (Ton/año)

CORREDOR	SEGMENTO CARGA	CARGA AÑO 2019 (Ton)
Oleoducto de Cartagena	hidrocarburos crudos	611,599.91
Oleoducto de Coveñas	hidrocarburos crudos	59,220,818.90
Oleoducto de Tumaco	hidrocarburos crudos	622,175.03
Poliducto de Barranquilla	hidrocarburos refinados	50,700.57
Poliducto de Cartagena	hidrocarburos refinados	34,232.09
Río León	Contenedor	179.47
Río León	Contenedor refrigerado	17,93,374.14
Tren de Fenoco	Carbón térmico	77,001,631.71
Tren del Cerrejón	Carbón térmico	25,552,654.93
Total		**164,887,366.75**

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, las matrices cautivas se integraron en la base consolidada de carga de COMEX. Este proceso de inclusión permitió una visión más completa y precisa de la demanda de comercio exterior, incorporando los efectos de los proyectos intermodales en los patrones de transporte y facilitando una mejor planificación y gestión logística. La integración de estas matrices cautivas fue esencial para construir un modelo de demanda robusto y representativo, que sirviera de base para los análisis y proyecciones futuras. La siguiente tabla muestra los datos recopilados y corregidos para el año 2019 para la construcción de matrices de carga COMEX. La carga total para el año 2019 se estimó en 160,680,684.6 toneladas que se distribuyen 64,332,844.3 toneladas en 4255 Viajes en camiones y 104,347,840.2 toneladas en matrices cautivas.

Tabla 72. Carga PMTI 2019 ajustada

TIPO_VEH	Carga Mínima	Carga Máxima	Carga Media	Carga Total año (Ton)	Viajes Totales al día
C2P	9.0	9	9.0	921,536.9	281
C2G	19.6	20	19.6	1,490,039.9	208
C34	27.4	36	27.5	6,667,933.8	661
C5	42.1	45	42.2	12,284,023.9	796
C6M	51.0	51	51.0	42,969,309.8	2,309
Cautivas				104,347,840.2	
Total				**168,680,684.5**	**4,255**

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Consolidación de Base de Datos

En este paso se consolidó una única base de datos de carga de COMEX, que sirvió como referencia central para todos los análisis futuros. Este paso fue crucial para garantizar la coherencia y precisión de los datos utilizados en la modelación de demanda.

Se integraron todas las fuentes de datos previamente recopiladas, incluyendo las matrices ajustadas del 2019, la carga separada de COMEX y las matrices cautivas de los proyectos intermodales. Este proceso de integración implicó combinar datos provenientes de registros de transporte, encuestas a empresas logísticas, y estadísticas oficiales, asegurando que todas las entradas fueran consistentes y complementarias. La carga cautiva sin ductos hace referencia a los segmentos que no son transportados por oleoductos o poliductos. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la base consolidada de datos 2019 para la estimación de matrices COMEX.

Tabla 73. Recuento bases de datos COMEX PMTI 2019

Carga PMTI 2019 COMEX (Ton)						
	Carga no cautiva (Ton)		Carga Cautiva (Ton)		Carga Cautiva sin Ductos (Ton)	
PUERTO ASOCIADO	Carga IMPO	Carga EXPO	Carga IMPO	Carga EXPO	Carga IMPO	Carga EXPO
SANTA MARTA	7,667,710.4	6,842,676.6	-	77,001,631.7	-	77,001,631.7
CARTAGENA	12,676,084.4	3,808,983.9	34,232.1	611,599.9	-	-
BARRANQUILLA	7,401,001.8	7,243,918.9	50,700.6	-	-	-
BUENAVENTURA	11,697,860.9	4,077,270.7	-	-	-	-
TOLÚ	566,684.3	440,169.0	-	-	-	-
TURBO	118,552.4	432,226.6	-	1,793,553.6	-	1,793,553.6
PUERTO BRISA	33,051.9	1,021,576.0	-	-	-	-
PUERTO BOLIVAR	185,301.6	-	-	25,552,654.9	-	25,552,654.9
COVEÑAS	79,054.7	19.8	-	59,220,818.9	-	-
TUMACO	40,621.1	79.2	-	622,175.0	-	-
Total	**40,465,924**	**23,866,921**	**84,933**	**164,802,434**	**-**	**104,347,840**

Fuente: Elaboración propia.

Durante la consolidación, se realizó una limpieza y normalización de datos para eliminar duplicados, corregir errores y asegurar la uniformidad en las unidades de medida y formatos. Esto garantizó que la base de datos resultante fuera precisa y utilizable para el modelado de demanda.

Por último, se validó la base de datos consolidada mediante técnicas de análisis estadístico y consultas a expertos del sector. Esta validación aseguró que la base de datos reflejara de manera precisa las condiciones actuales del transporte de carga de COMEX permitiendo su uso confiable en la planificación y gestión logística. La consolidación de una base de datos única facilitó un análisis más detallado y coherente de los flujos de carga, mejorando la eficiencia y efectividad de las decisiones logísticas en el comercio exterior de Colombia. Esto se puede consultar en el anexo 13.

4.4.5. Identificación de Factores de Cambio

El quinto paso en la construcción de las matrices semilla de demanda de COMEX consistió en identificar los factores de cambio entre los diferentes segmentos y zonas portuarias entre

2019 y 2022. Este análisis permitió ajustar la base de COMEX del PMTI para reflejar de manera precisa las variaciones en la demanda de transporte de carga de comercio exterior.

Se recopiló información de la Superintendencia de Transporte y otras fuentes relevantes para obtener datos sobre los volúmenes de carga, las rutas de transporte y los segmentos de demanda específicos. Estos datos incluyeron detalles sobre importaciones y exportaciones, así como sobre las actividades en las distintas zonas portuarias del país.

Luego, se calcularon los factores de cambio basados en esta información. Estos factores fueron determinados considerando la evolución del volumen de carga, los cambios en las rutas de transporte y las variaciones en los segmentos de demanda. Por ejemplo, se analizaron las tendencias en el uso de puertos específicos, las fluctuaciones en los tipos de mercancías transportadas y los cambios en la capacidad y eficiencia de las infraestructuras portuarias. Los factores de ajuste para la carga COMEX se estimaron por par OD.

El ajuste de la información entre los años 2019 y 2022 se basó en los datos proporcionados por la Superintendencia de Transporte (Supertransporte) para ambos periodos, junto con la información de comercio exterior (COMEX). El objetivo principal fue llevar la información de 2019 al año 2022, ajustando las dinámicas observadas en ese periodo para reflejar de manera precisa las variaciones en los volúmenes de carga y en las operaciones de transporte.

El procedimiento consistió en analizar las tendencias y cambios en los volúmenes de carga transportados según los reportes anuales de la Supertransporte, identificando las diferencias significativas en la operación entre 2019 y 2022. Estos cambios incluyeron ajustes en las rutas, variaciones en la capacidad de carga y optimización de vehículos, que fueron aplicados a los datos de COMEX. Para realizar este ajuste, se utilizaron factores que permitieron conservar la estructura original de los datos de 2019, mientras se ajustaban para reflejar la realidad logística de 2022.

Este enfoque permitió mantener la coherencia en la información histórica, respetando las dinámicas de 2019 pero adaptándolas a los cambios operativos y de demanda observados en 2022. Así, la gráfica refleja la evolución de los factores de ajuste aplicados, mostrando cómo se han mantenido consistentes las tendencias, mientras se actualizan los valores para representar fielmente los flujos de carga en el periodo más reciente.

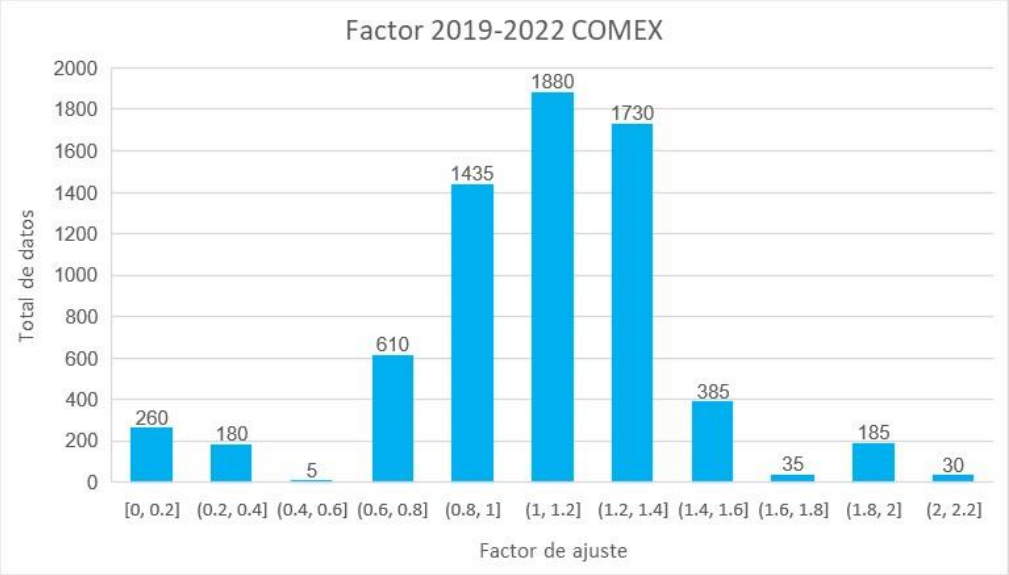
La combinación de la información de Supertransporte y COMEX fue esencial para ajustar las proyecciones y garantizar que los datos reflejen tanto la capacidad máxima y mínima transportada por tipología de vehículo como los cambios en las dinámicas del transporte durante estos tres años. Este procedimiento asegura que las decisiones se basen en datos actualizados y ajustados a las condiciones de operación actuales.

El objetivo principal de la siguiente figura es proporcionar una visión clara de los ajustes en las dinámicas de transporte entre 2019 y 2022, específicamente en términos de volúmenes de carga y optimización de operaciones. El gráfico permite identificar cómo se han aplicado los factores de ajuste para reflejar las nuevas condiciones operativas sin comprometer la consistencia de los datos históricos de 2019.

Los factores de ajuste presentan una distribución normal y reflejan de manera precisa los cambios en los volúmenes de carga y las operaciones de transporte, sin que existan disparidades significativas entre las distintas regiones o rutas.

Es importante añadir que los factores de ajuste menores a 0.5 y mayores a 1.5 se deben a que las dinámicas de comercio exterior fueron las que más se vieron afectadas tras la pandemia, especialmente en la demanda de carga relacionada con el comercio internacional. Sin embargo, estos ajustes tienen un impacto mínimo en el análisis general, ya que se usan para representar una adaptación para llevar la carga del 2019 al 2022. De esta forma, el gráfico continúa siendo una herramienta eficaz para observar las tendencias generales sin que las variaciones significativas en segmentos específicos alteren la visión global del comportamiento de la carga de comercio exterior a lo largo del período estudiado

Figura 59. Factor de ajuste COMEX 2019-2022



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los factores de cambio identificados fueron aplicados a la base de datos de COMEX del PMTI. Esto incluyó ajustar las matrices de demanda para reflejar los volúmenes y patrones de carga actualizados para el año 2022. Este proceso permitió que las matrices semilla de demanda fueran más precisas y útiles para la planificación y gestión logística, asegurando que los análisis y proyecciones futuras estuvieran basados en datos actualizados y relevantes.

4.4.6. Aplicación de Factores

En este paso se aplicaron los factores de cambio identificados y se normalizaron los datos para reflejar los volúmenes de carga actualizados al año 2022. Este proceso fue esencial

para ajustar las matrices de demanda de manera precisa y asegurar que los datos reflejaran las condiciones actuales del comercio exterior.

Se aplicaron los factores de cambio a la base de COMEX del PMTI. Estos factores, calculados en el paso anterior, consideraron las variaciones en volúmenes de carga, rutas de transporte y segmentos de demanda entre 2019 y 2022. La aplicación de estos factores permitió ajustar las matrices de demanda para reflejar los patrones y volúmenes de carga actualizados.

El ajuste de la información entre los años 2019 y 2022 se basó en los datos proporcionados por la Superintendencia de Transporte (Supertransporte) para ambos periodos, junto con la información de comercio exterior (COMEX). El objetivo principal fue llevar la información de 2019 al año 2022, ajustando las dinámicas observadas en ese periodo para reflejar de manera precisa las variaciones en los volúmenes de carga y en las operaciones de transporte.

El procedimiento consistió en analizar las tendencias y cambios en los volúmenes de carga transportados según los reportes anuales de la Supertransporte, identificando las diferencias significativas en la operación entre 2019 y 2022. Estos cambios incluyeron ajustes en las rutas, variaciones en la capacidad de carga y optimización de vehículos, que fueron aplicados a los datos de COMEX. Para realizar este ajuste, se utilizaron factores que permitieron conservar la estructura original de los datos de 2019, mientras se ajustaban para reflejar la realidad logística de 2022.

Este enfoque nos permitió mantener la coherencia en la información histórica, respetando las dinámicas de 2019 pero adaptándolas a los cambios operativos y de demanda observados en 2022. Así, la gráfica refleja la evolución de los factores de ajuste aplicados, mostrando cómo se han mantenido consistentes las tendencias, mientras se actualizan los valores para representar fielmente los flujos de carga en el periodo más reciente.

La combinación de la información de Supertransporte y COMEX fue esencial para ajustar las proyecciones y garantizar que los datos reflejen tanto la capacidad máxima y mínima transportada por tipología de vehículo como los cambios en las dinámicas del transporte durante estos tres años. Este procedimiento asegura que las decisiones se basen en datos actualizados y ajustados a las condiciones de operación actuales.

Posteriormente, se normalizaron los datos para eliminar cualquier anomalía y asegurar la coherencia en los volúmenes de carga. Esto implicó identificar y ajustar los datos atípicos, como volúmenes de carga extremadamente altos o bajos que podrían distorsionar el análisis. La normalización fue crucial para mantener la integridad y precisión de las matrices de demanda.

El proceso de normalización consistió en ajustar los datos para eliminar cualquier anomalía que pudiera distorsionar los resultados. Se identificaron y corrigieron los valores atípicos, tales como volúmenes de carga extremadamente altos o bajos, que no reflejaban de manera precisa las dinámicas reales de transporte. Estos ajustes se realizaron con base en el análisis detallado de los datos y utilizando la experiencia del consultor en transporte de

carga, lo que permitió asegurar que los volúmenes de carga fueran consistentes y coherentes a lo largo de todas las rutas y tipologías de vehículos.

El conocimiento experto del consultor fue clave para identificar patrones y determinar qué valores requerían ajustes, garantizando que el proceso reflejara fielmente la realidad operativa del transporte. De esta manera, se logró mantener la integridad y precisión de las matrices de demanda, asegurando que los datos normalizados reflejaran de manera fiel las dinámicas del sector, sin sesgos ni distorsiones significativas. El recuento de totales de la base de datos de COMEX se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 74. Recuento bases de datos COMEX PMTI 2019

Carga 2022 Comex (ton)						
	Carga no cautiva		Carga cautiva		Carga cautiva sin ductos	
Puertos asociados	Carga IMPO (Ton)	Carga EXPO (Ton)	Carga IMPO (Ton)	Carga EXPO (Ton)	Carga IMPO (Ton)	Carga EXPO (Ton)
Santa Marta	8,412,641	8,385,939	-	44,597,648	-	44,597,648
Cartagena	14,282,914	4,077,458	38,470	619,647	-	-
Barranquilla	6,417,513	6,777,930	56,978	-	-	-
Buenaventura	12,634,105	4,733,867	-	-	-	-
Tolú	994,338	902,346	-	-	-	-
Turbo	44,567	428,481	-	1,893,195	-	1,893,195
Puerto Brisa	33,052	1,036,838	-	-	-	-
Puerto Bolívar	180,749	-	-	27,893,356	-	27,893,356
Coveñas	88,857	20	-	60,000,040	-	-
Tumaco	-	60	-	630,362	-	-
Total	43,088,735	26,342,939	95,448	135,634,249	-	74,384,200

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se validaron los datos normalizados para asegurar que los volúmenes de carga ajustados fueran consistentes con las tendencias y patrones observados en el comercio exterior. Este proceso de validación incluyó consultas con expertos del sector y la revisión de datos adicionales de la Superintendencia de Transporte y otras fuentes relevantes con el fin de brindar el mayor sustento posible y las fuentes de información utilizadas, en el Anexo 13 se incluyen las bases mencionadas y las validaciones. La aplicación de factores de cambio y la normalización de datos garantizaron que las matrices semilla de demanda fueran precisas y útiles para la planificación y gestión logística, reflejando de manera adecuada las condiciones actuales del comercio exterior en Colombia.

4.4.7. Factores Específicos para Demanda Cautiva

Se aplicaron factores específicos para las demandas cautivas asociadas a ciertas industrias clave, como el carbón de Cerrejón y Fenoco. Este ajuste fue necesario para reflejar con precisión los cambios en la producción y demanda de estos sectores entre 2019 y 2022.

Se identificaron las demandas cautivas específicas que tenían una relevancia significativa en la estructura de transporte de COMEX. En este caso, se prestó especial atención a la industria del carbón, dada su gran volumen y su impacto en la logística de transporte. Se recopilaron datos detallados sobre la producción de carbón de Cerrejón y Fenoco para los años 2019 y 2022.

Así mismo, se calcularon factores específicos de cambio basados en la variación en la producción y otros indicadores relevantes entre estos años. Estos factores permitieron ajustar las matrices de demanda para reflejar las condiciones actuales de producción y transporte de carbón. Por ejemplo, si la producción de carbón aumentó un 10% de 2019 a 2022, las matrices de demanda se ajustaron para incorporar este incremento.

Tabla 75. Factores demanda cautiva COMEX 2022

Actualización Fenoco		Fuente Fenoco
Fenoco 2019	50,269,667	Ton
Fenoco 2022	30,647,456	Ton
	0.610	Factor

Actualización Cerrejon		Fuente Cerrejon
Cerrejon 2019	26,200,000	Ton
Cerrejon 2022	28,600,000	Ton
	1.092	Factor

Actualización Oleoductos		Fuente Agencia Nacional Minera
Oleoductos 2019	380,000,000	Barriles
Oleoductos 2022	385,000,000	Barriles
	1.013	Factor

Actualización Poliductos		Fuente DIAN
Poliductos 2019	105,000	Barriles diarios
Poliductos 2022	118,000	Barriles diarios
	1.124	Factor

Actualización Río León		Fuente DIAN
Río León 2019	1,800,000	Ton
Río León 2022	1,900,000	Ton
	1.056	Factor

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, estos factores específicos se aplicaron a las matrices de demanda, ajustando los volúmenes de carga cautiva para que fueran consistentes con los datos actualizados de producción y transporte. Este proceso incluyó la revisión y validación de los datos ajustados para asegurar su precisión y coherencia. La aplicación de factores específicos garantizó que las matrices de demanda reflejaran de manera precisa las variaciones en la demanda cautiva, mejorando así la calidad y utilidad del modelo de demanda para la planificación logística y el comercio exterior en Colombia. En la siguiente tabla se relacionan los totales de matrices cautivas actualizadas para el año 2022.

Tabla 76. Totales de matrices cautivas 2022(Ton/año)

CORREDOR	SEGMENTO CARGA	CARGA AÑO 2019 (Ton)
Oleoducto de Cartagena	hidrocarburos crudos	619647.28
Oleoducto de Coveñas	hidrocarburos crudos	32,232,844.37
Oleoducto de Tumaco	hidrocarburos crudos	649,568.98
Poliducto de Barranquilla	hidrocarburos refinados	56,977.78
Poliducto de Cartagena	hidrocarburos refinados	38,470.35
Río León	Contenedor	189.44
Río León	Contenedor refrigerado	1,893,006.03
Tren de Fenoco	Carbón térmico	30,819,076.25
Tren del Cerrejón	Carbón térmico	27,893,356.14
Total		**94,194,136.625**

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se validó la integración de las matrices de carga mediante comparaciones con datos históricos y consultas con expertos en comercio exterior y transporte. Esta validación asegura que los datos sean precisos y representativos, y que las matrices resultantes proporcionen una visión completa y coherente de los flujos de carga.

En la siguiente tabla se presentan los totales de matrices estimados por segmento COMEX tanto para la carga cautiva como no cautiva.

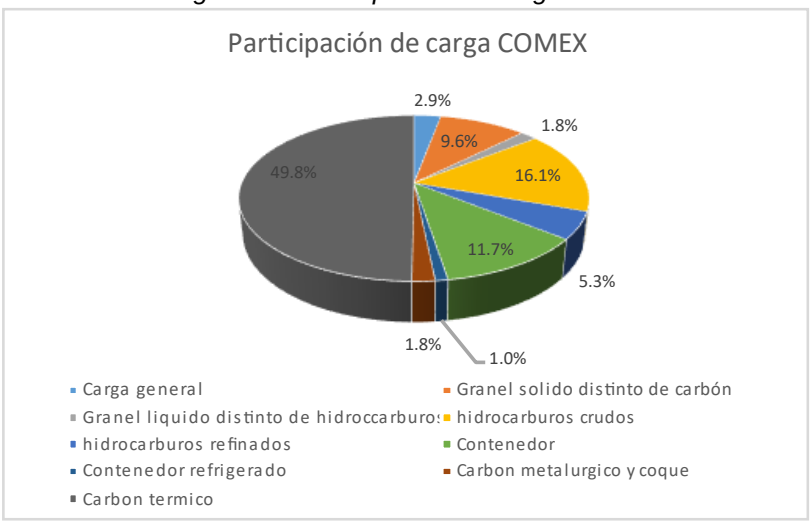
Tabla 77. Valores totales por segmento COMEX 2022(Ton/año)

Segmentación Modelo UPIT			Carga Total				
Codigo	Segmento Carga	Naturaleza	Carga COMEX Cautiva	Carga COMEX	Carga COMEX Terrestre	Carga DOMES	Total Carga
1	Alimento Agro	DO	-	-	157,719	37,436,336	37,594,055
2	Alimento para animales	DO	-	-	4,210	5,110,458	5,114,668
3	Alimentos Procesados	DO	-	-	123,096	19,100,840	19,223,936
4	Animales Vivos	DO	-	-	20,599	1,572,544	1,593,143
5	Bebidas con y sin alcohol	DO	-	-	92,617	20,887,555	20,980,173
6	Combustibles	DO	-	-	3,525	17,631,910	17,635,435
7	Grasas y aceites animales o vegetales	DO	-	-	4,566	8,029,784	8,034,350
8	Hidrocarburos	DO	-	-	12,352	8,556,889	8,569,241
9	Maderas	DO	-	-	83,206	1,348,362	1,431,568
10	Materiales de construcción	DO	-	-	127,341	37,976,503	38,103,844
11	Minerales	DO	-	-	18,273	20,029,833	20,048,106
12	Papel y carton	DO	-	-	28,820	6,755,091	6,783,911
13	Producción Industrial	DO	-	-	264,426	78,233,378	78,497,804
14	Otros	DO	-	-	562,569	46,055,118	46,617,686
15	Vacios	DO	-	-	-	-	-
16	Carga general	CO	-	4,790,900	-	-	4,790,900
17	Granel solido distinto de carbón	CO	-	15,606,467	-	-	15,606,467
18	Granel liquido distinto de hidroccarburos	CO	-	2,969,655	-	-	2,969,655
19	hidrocarburos crudos	CO	33,502,061	318,139	-	-	33,820,199
20	hidrocarburos refinados	CO	95,448	12,818,548	-	-	12,913,997
21	Contenedor	CO	189	18,984,484	-	-	18,984,674
22	Contenedor refrigerado	CO	1,893,006	650,235	-	-	2,543,241
23	Carbon metalurgico y coque	CO	-	2,881,834	-	-	2,881,834
24	Carbon termico	CO	58,703,432	14,683,660	-	-	73,387,092
Total (Ton)			**94,194,137**	**73,703,922**	**1,503,318**	**308,724,601**	**478,125,978**

Fuente: Elaboración propia.

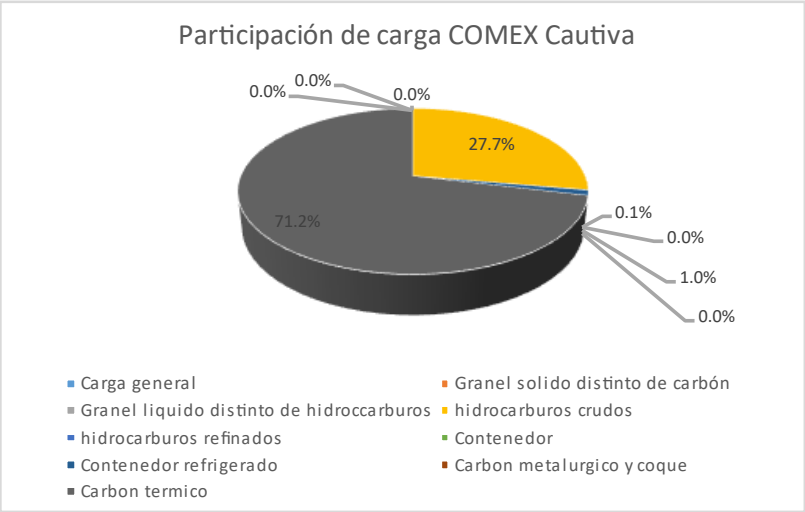
En las siguientes figuras se muestra la participación de carga COMEX, así mismo se muestra la distribución de carga COMEX cautiva y no cautiva.

Figura 60. Participación de carga COMEX 2022



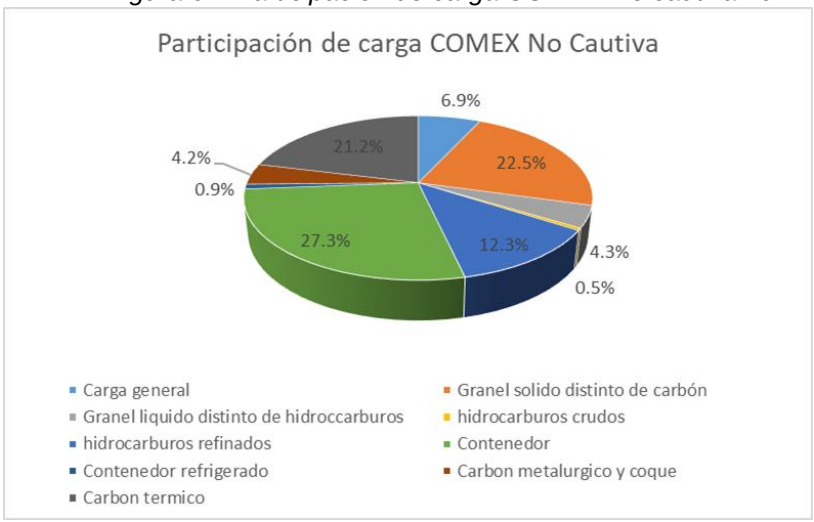
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Participación de carga COMEX cautiva 2022



Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. Participación de carga COMEX No cautiva 2022



Fuente: Elaboración propia.

4.4.8. Obtención de Volúmenes de Control

Este último paso consistió en la obtención de volúmenes de control para el segmento de demanda de comercio exterior. Este proceso fue esencial para verificar y validar la precisión de las matrices de demanda ajustadas.

Primero, se recopiló información base de diversas fuentes, como registros de la Superintendencia de Transporte, estadísticas oficiales de comercio exterior y datos de producción y transporte de empresas clave en el sector de COMEX. Estos datos

proporcionaron una visión detallada de los volúmenes de carga manejados y permitieron establecer benchmarks para el análisis.

Posteriormente, se calcularon los volúmenes de control para cada segmento de demanda de COMEX. Este cálculo se basó en los datos recopilados y en los factores de cambio aplicados en los pasos anteriores. Los volúmenes de control fueron comparados con los volúmenes ajustados en las matrices de demanda para identificar cualquier discrepancia y asegurar que los datos fueran consistentes y precisos.

Finalmente, se realizaron ajustes adicionales si era necesario, para alinear los volúmenes de control con las expectativas y tendencias observadas. Esta validación final garantizó que las matrices de demanda reflejaran con precisión la realidad del comercio exterior en 2022, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión logística. La obtención de volúmenes de control fue un paso crucial para confirmar la exactitud de las matrices de demanda y asegurar su utilidad en el análisis y toma de decisiones en el sector de COMEX en Colombia. En las siguientes tablas se relacionan los datos de volúmenes de control de los segmentos de carga Comex que se asocian a los arcos de puertos marítimos.

Tabla 78. Volúmenes de control COMEX Contenedores refrigerados 2022

Contenedores Refrigerados						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	53,428	54,878	54,878	50002	46202
	Expo	21,647	19,866	19,866	46000	46102
BUENAVENTURA	Impo	284,803	292,534	272,057	50004	41202
	Expo	25,576	23,472	30,044	41000	41102
CARTAGENA	Impo	200,615	206,060	307,029	50008	45202
	Expo	102,967	94,494	102,054	45000	45102
SANTA MARTA	Impo	14,836	15,239	-	50001	47202
	Expo	680,005	624,047	-	47000	47102
TURBO	Impo	540	555	161	50005	42202
	Expo	991,307	909,733	960,678	42000	42102

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 79. Volúmenes de control COMEX Contenedores No refrigerados 2022

Contenedores No Refrigerados						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	796,023.9	817,633.0	645,930.1	50002	46201
	Expo	473,641.3	500,422.0	590,498.0	46000	46101
BUENAVENTURA	Impo	4,632,603.5	4,758,356.0	4,663,188.9	50004	41201
	Expo	2,375,932.5	2,510,273.0	2,560,478.5	41000	41101
CARTAGENA	Impo	3,530,026.5	3,625,851.0	4,786,123.3	50008	45201
	Expo	2,559,063.3	2,703,757.0	3,650,072.0	45000	45101
SANTA MARTA	Impo	264,252.6	271,426.0	303,997.1	50001	47201
	Expo	166,437.1	175,848.0	207,500.6	47000	47101
TURBO	Impo	90,572.3	93,031.0	35,351.8	50005	42201
	Expo	5,646.2	5,965.0	2,087.8	42000	42101

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 80. Volúmenes de control COMEX Hidrocarburos 2022

Hidrocarburos						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	195,964.7	196,022.0	220,328.7	50002	46208
	Expo	178,300.3	191,675.0	194,166.8	46000	46108
BUENAVENTURA	Impo	-	-	-		
	Expo	5.5	6.0	6.1	41000	41108
CARTAGENA	Impo	2,906,369.5	2,907,227.0	3,267,723.1	50008	45208
	Expo	4,425,329.0	4,757,244.0	4,819,088.2	45000	45108
COVEÑAS	Impo	67,296.8	67,317.0	75,664.3	50006	43208
	Expo	29,594,516.0	31,814,240.0	32,227,825.1	43000	43108
SANTA MARTA	Impo	3,387,010.0	3,387,943.0	3,808,047.9	50001	47208
	Expo	-	-	-		
SIMON BOLIVAR	Impo	113,506.9	113,541.0	127,620.1	50010	48208
	Expo	-	-	-		
TUMACO	Impo	-	-	-		
	Expo	596,400.0	641,133.0	649,467.7	40000	40108

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Tabla 81. Volúmenes de control COMEX Carbón metalúrgico y coque 2022

Carbón Metalúrgico y Coque						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	-	-	-		
	Expo	2,453,946.8	1,959,085.0	1,273,405.3	46000	46107
BUENAVENTURA	Impo	-	-	-		
	Expo	387,173.8	309,096.0	200,912.4	41000	41107
CARTAGENA	Impo	-	-	-		
	Expo	1,459,730.8	1,165,362.0	757,485.3	45000	45107
PUERTO BRISA	Impo	-	-	-		
	Expo	474,593.7	378,887.0	246,276.6	49000	49107
SANTA MARTA	Impo	-	-	-		
	Expo	71,662.6	57,211.0	30,893.9	47000	47107

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 82. Volúmenes de control COMEX Granel Líquido 2022

Granel Líquido						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	377,455.97	357,562	343,260	50002	46204
	Expo	292,741.66	286,094	366,200	46000	46104
BUENAVENTURA	Impo	414,934.91	390,003	405,603	50004	41204
	Expo	-	-	-		
CARTAGENA	Impo	1,176,115.13	1,109,100	998,190	50008	45204
	Expo	141,973.34	138,791	94,378	45000	45104
SIMON BOLIVAR	Impo	13,032.64	12,290	6,882	50010	48204
	Expo	-	-	-		
SANTA MARTA	Impo	148,790.27	140,312	138,909	50001	47204
	Expo	370,749.25	362,330	235,515	47000	47104
TUMACO	Impo	-	-	-		
	Expo	36,975.00	36,125	26,010	40000	40104

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 83. Volúmenes de control COMEX Granel Sólido 2022

Granel Sólido Distinto de Carbón						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	3,706,631.50	3,646,335	3,281,702	50002	46203
	Expo	61,352.73	62,443	69,936	46000	46103
BUENAVENTURA	Impo	5,427,388.50	5,331,187	5,491,123	50004	41203
	Expo	365,799.88	372,299	416,975	41000	41103
CARTAGENA	Impo	1,589,552.00	1,568,532	1,333,252	50008	45203
	Expo	914,083.38	930,324	1,041,963	45000	45103
SIMON BOLIVAR	Impo	33,010.92	32,448	19,793	50010	48203
	Expo	-	-	-		
PUERTO BRISA	Impo	27,400.00	26,933	26,933	50009	49203
	Expo	-	-	-		
SANTA MARTA	Impo	2,170,879.25	2,135,565	3,096,569	50001	47203
	Expo	-	-	-		
TOLÚ	Impo	499,820.19	491,685	865,366	50007	44203
	Expo	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 84. Volúmenes de control COMEX Carga general 2022

Carga General						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	1,595,936.4	1,576,844.0	1,261,475.2	50002	46205
	Expo	93,084.0	83,180.0	14,972.4	46000	46105
BUENAVENTURA	Impo	844,130.9	835,100.0	1,636,796.0	50004	41205
	Expo	13,121.6	11,725.0	2,227.8	41000	41105
CARTAGENA	Impo	410,119.0	405,474.0	539,280.4	50008	45205
	Expo	157,184.1	140,294.0	148,711.6	45000	45105
SANTA MARTA	Impo	261,024.0	258,532.0	367,115.4	50001	47205
	Expo	20,795.8	18,794.0	5,826.1	47000	47105
TOLÚ	Impo	814.3	804.0	804.0	50007	44205
	Expo	-	-	-		
TURBO	Impo	-	-	-		
	Expo	392,990.0	351,175.0	351,175.0	42000	42105
SIMON BOLIVAR	Impo	6,868.6	6,791.0	4,074.6	50010	48205
	Expo	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

Tabla 85. Volúmenes de control Carbón térmico 2022

Carbón Térmico						
Zona Portuaria	Sentido	2018 (Ton)	2019 (Ton)	2022 (Ton)	I	J
BARRANQUILLA	Impo	-	-	-		
	Expo	393,185.9	405,064.0	421,266.6	46000	46106
BUENAVENTURA	Impo	-	-	-		
	Expo	536,376.8	552,460.0	1,132,543.0	41000	41106
CARTAGENA	Impo	-	-	-		
	Expo	13,200.0	13,599.0	17,406.7	45000	45106
SIMON BOLIVAR	Impo	-	-	-		
	Expo	30,284,022.0	31,202,222.0	31,202,222.0	48000	48106
PUERTO BRISA	Impo	-	-	-		
	Expo	484,846.1	499,528.0	639,395.8	49000	49106
SANTA MARTA	Impo	-	-	-		
	Expo	49,205,424.0	50,697,320.0	64,892,569.6	47000	47106
TOLÚ	Impo	-	-	-		
	Expo	357,698.4	368,544.0	755,515.2	44000	44106

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

4.4.9. Demandas cautivas

En este apartado se hace referencia a la demanda que tiene un carácter y tratamiento especial dentro del modelo de transporte, correspondiente a las denominadas demandas cautivas, las cuales por definición son aquellas demandas de carga que no están involucradas dentro del proceso de elección.

La decisión de otorgar este tratamiento especial a las demandas cautivas se fundamenta básicamente sobre los siguientes conceptos y condiciones observadas.

Inversiones en infraestructuras no carreteras: Modos férreos, ductos y fluviales: La decisión de los generadores de carga de invertir en infraestructuras propias, como las férreas, ductos (oleoductos o poliductos) o infraestructuras complementarias al transporte fluvial, no solo responde a la necesidad de manejar grandes volúmenes de carga, sino también a un análisis detallado de los costos y la eficiencia logística a largo plazo. En el contexto de la logística, los modos no carreteros presentan costos de transporte por tonelada menores que el transporte por carretera. Estos ahorros en costos operativos son significativos cuando se manejan grandes volúmenes de carga y se optimizan en función de las características de cada infraestructura.

Sostenibilidad y eficiencia en el tiempo: Además del ahorro en costos, la sostenibilidad es un factor crítico en la elección de estos modos. A nivel global, se promueve la migración de carga desde las carreteras hacia modos más sostenibles, como el ferroviario o fluvial. Estos modos no solo tienen una menor huella de carbono, sino que también permiten una operación continua y eficiente, maximizando los beneficios de la inversión a largo plazo.

Maximización del uso de la infraestructura: Los generadores de carga que han invertido en infraestructuras no carreteras lo han hecho para garantizar que su

producción se transporte a través de estas infraestructuras, eliminando la dependencia de proveedores externos de servicios de transporte. Este principio de cautividad operativa les permite no solo reducir costos, sino también optimizar la programación logística de sus operaciones. Al ser dueños de la infraestructura, pueden adaptar su operación a sus necesidades específicas sin tener que depender de otras alternativas modales que podrían imponer restricciones o condiciones que afecten sus flujos logísticos.

Análisis sobre condiciones típicas: Es importante destacar que todos estos análisis en la modelación se realizan sobre condiciones típicas de generación y operación del transporte de carga por parte de estos generadores. Si se presentaran condiciones particulares que difirieran de las observadas durante años de operación, dichos escenarios tendrían que ser analizados de manera específica. Esto significa que los análisis aquí presentados no contemplan situaciones excepcionales o fuera de lo común, sino que representan condiciones típicas y estables que han sido la norma en la operación de estos generadores.

Cautividad y control sobre el transporte: El concepto de "cautividad" en logística refiere a la decisión de un generador de carga de operar exclusivamente a través de su infraestructura propia, asegurando un control total sobre sus volúmenes y tiempos de transporte. Al operar de manera cautiva, estos generadores no se ven influenciados por fluctuaciones de costos o disponibilidad de otras alternativas modales, lo que refuerza la previsibilidad de sus operaciones y la estabilidad en el manejo de sus cargas.

Con este contexto se puede concluir que, por todos estos factores mencionados previamente, los generadores de carga que han invertido en infraestructuras propias no carreteras operan sus cargas de manera cautiva, aprovechando al máximo las ventajas económicas, logísticas y de sostenibilidad. Esta cautividad les permite evitar cualquier dependencia de alternativas modales externas, asegurando una operación eficiente, controlada y continua a lo largo del tiempo, sin comprometer la flexibilidad y eficiencia de sus operaciones.

Enseguida se ilustran las demandas cautivas por corredor y segmento de demanda para la condición de año base 2022.

Tabla 86. Demanda cautivas año base 2022

Carga Cautiva (Toneladas / Año 2022)	Segmento				
Corredor	**Contenedor no refrigerado**	**Contenedor refrigerado**	**Carbón térmico**	**Hidrocarburos crudos**	**Hidrocarburos refinados**
Río León	189	939,484			
Tren del Cerrejón			34,060,441		

Carga Cautiva (Toneladas / Año 2022)	Segmento				
Corredor	**Contenedor no refrigerado**	**Contenedor refrigerado**	**Carbón térmico**	**Hidrocarburos crudos**	**Hidrocarburos refinados**
Tren Fenoco			26,102,981		
Oleoducto de Cartagena				343,082	
Oleoducto de Coveñas				32,232,844	
Oleoducto de Tumaco				649,569	
Poliducto de Barranquilla					30,425
Poliducto de Cartagena					21,224

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada.

4.5. Matrices de camiones del transporte de carga (día)

Sobre las matrices consolidadas para la carga doméstica y de comercio exterior por segmento, definidas en las secciones anteriores, se realizó el procesamiento para determinar, para cada par origen-destino de cada segmento de demanda, la carga promedio por viaje transportada por tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M).

A partir de la carga promedio diaria transportada por vehículo, se realizó la transformación de unidades de carga a flujos en vehículos diarios, diferenciados por tipología de camión. Posteriormente, sobre los 23 segmentos de demanda de carga y por tipología de camión, se agregaron las unidades automotoras equivalentes para cada par origen-destino con información de demanda, obteniéndose como resultado las matrices totales de viajes vehiculares.

Para llevar a cabo esta transformación, se utilizaron factores de distribución por tipo de vehículo y factores de ocupación específicos para cada tipología de camión, que permitieron convertir la matriz de carga anual en matrices vehiculares ajustadas por la capacidad de carga promedio y los patrones de ocupación de cada tipo de camión. Al dividir estas matrices anuales por 365 días, se generaron matrices diarias de camiones, que son fundamentales para la asignación en el modelo de transporte.

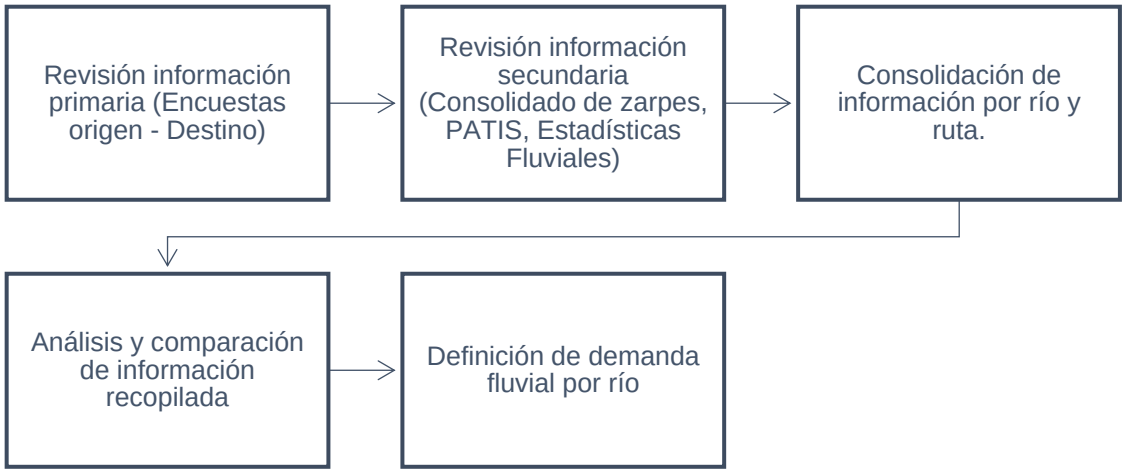
El procedimiento de conversión de demanda de carga a flujos de camiones diarios se aplicó a la subbase de datos de carga y se adicionó la subbase de viajes en vacío, considerando las diferencias de ocupación y distribución en cada tipología de camión. Es importante destacar que los volúmenes de calibración utilizados en el modelo corresponden en su gran mayoría a un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) obtenido a partir de datos de peajes, lo que asegura que los flujos vehiculares diarios generados sean coherentes y reflejen las condiciones reales de operación en las rutas analizadas

4.6. Construcción de matrices de carga modo fluvial

En este numeral se abordarán las matrices de transporte fluvial, construidas con base en el análisis de estadísticas fluviales, los datos de campo y estudios secundarios. Esto permitió una cuantificación confiable de los volúmenes de carga movilizada, proporcionando una evaluación alineada con la dinámica del sistema de transporte fluvial.

La estimación de matrices parte de la identificación de los puertos de mayor importancia en lo que a transporte de carga se refiere, a partir de las diferentes fuentes de información. A continuación, se define su metodología

Figura 63. Construcción de matrices de carga modo fluvial.



Fuente: Elaboración propia

4.6.1. Revisión de información primaria

Como parte del estudio y se describió en el numeral 2.1.2 del tomo I, se realizaron encuestas origen destino en 19 puertos repartidos en 10 departamentos de las ZPP. Estas encuestas se realizaron en campo en lapsos de 1 a 5 días en su mayoría, recopilando información de las embarcaciones que llegaban y salían de estos sitios, contando con datos referentes a sus horarios, carga, tipo de carga, entre otros. Por medio de esta información fue posible conocer las particularidades de la carga movilizada en determinados puertos y su comportamiento general.

Sin embargo, dado que el transporte fluvial presenta incertidumbres en cuanto a la navegabilidad, cuyo flujo no es constante, sino que está condicionado por factores propios del río, el cual en muchos casos no es navegable de manera continua a lo largo del año, se concluye que la recolección de datos en días específicos no refleja adecuadamente el comportamiento del río ni de las rutas. Por tanto, aunque el análisis de la información

permite obtener una visión general de las condiciones fluviales, esta no es adecuada para la elaboración de una matriz de demanda precisa para este tipo de transporte de carga.

4.6.2. Revisión de información secundaria

Como parte del análisis detallado de la información secundaria, se procedió a revisar los registros consolidados de zarpes disponibles en el Registro Nacional Fluvial. En el caso de los ríos pertenecientes a las Zonas de Protección Prioritaria (ZPP), se cuenta con datos para el río Amazonas, Putumayo y Atrato. Estos registros incluyen información clave como los puntos de origen y destino de las cargas, fechas de operación, características de las embarcaciones, tipo de carga transportada y cantidades en toneladas.

Adicionalmente, se incorporó la información proveniente del Plan Amazónico de Transporte Intermodal Sostenible (PATIS), que proporciona un panorama integral sobre el transporte de carga en la región amazónica. Este insumo resulta fundamental para comprender las dinámicas logísticas específicas de esta zona, así como la caracterización de los flujos de carga a nivel intermodal y su impacto en el desarrollo de la región.

Por último, se analizaron las estadísticas fluviales de 2022 presentadas al Ministerio de Transporte, las cuales ofrecen una visión anual y mensual de los volúmenes de carga por río, segmentada según tipos de carga. Esta información, proporcionada por las inspecciones fluviales a nivel nacional, permite una evaluación comparativa del comportamiento de las principales rutas fluviales, aportando mayor precisión al diagnóstico general del sistema de transporte fluvial.

Al contar con la recopilación general de información primaria y secundaria, se procedió con la consolidación y análisis de esta, de esta forma se reúnen los datos de carga segmentados basados inicialmente en la clasificación utilizada en las estadísticas fluviales, realizando una recopilación general por río, y caracterizando sus rutas y carga final del mismo.

4.6.3. Análisis y comparación de información recopilada

Tras el análisis antes descrito, se ha optado por utilizar estadísticas fluviales en lugar de información primaria para la cuantificación de volúmenes de carga movilizada. Esta decisión responde a la alta variabilidad que caracteriza al transporte fluvial a lo largo del año, lo que podría introducir errores significativos si se basara únicamente en datos de campo recolectados en un periodo específico. Dado que la naturaleza del transporte fluvial puede mostrar fluctuaciones estacionales y anuales considerables, los registros administrativos anuales proporcionan una visión más estable y representativa del flujo de carga. La información primaria, aunque útil para la identificación de pares origen-destino y segmentos de carga, presenta limitaciones inherentes cuando se expande a lo largo del año debido a la posibilidad de errores asociados con su temporalidad y especificidad. Por ende, los datos secundarios provenientes de registros administrativos se han empleado para la cuantificación precisa de volúmenes, garantizando así una representación más confiable del comportamiento del transporte fluvial. Esta metodología permite una evaluación más robusta y precisa, alineada con las características dinámicas del sistema de transporte en estudio

A continuación, se visualiza la homologación realizada respecto a los segmentos de carga estipulados en las estadísticas fluviales del Ministerio de Transporte, con las definidas para el presente estudio. Seguidamente, se caracteriza cada río según sus volúmenes anuales de carga en toneladas, recopilando su información de para el año 2022, segmentada y clasificada.

Tabla 87. Asignación segmentos de carga fluvial

SEG. ESTADISTICAS	SEG. FINAL	Segmento No.
GANADO	Animales vivos	4
ABONOS	Otros	14
ACEITE VEGETAL	Grasas y aceites animales o vegetales	7
AGRÍCOLAS	Alimento Agro	1
BEBIDAS	Bebidas con y sin alcohol	5
CARBÓN MINERAL	Minerales	11
CEMENTO	Materiales de construcción	10
CONSTRUCCIÓN	Materiales de construcción	10
ENVASES	Otros	14
HIERRO Y ACERO	Materiales de construcción	10
MADERAS	Maderas	9
MANUFACTURAS	Otros	14
MAQUINARIA	Otros	14
METAL MECANICA	Producción Industrial	13
MINERALES	Minerales	11
PAPEL	Papel y cartón	12
PESCADO	Alimentos procesados	3
VIVERES	Alimentos procesados	3
OTROS	Otros	14
A.C.P.M.	Combustibles	6
ASFALTO	Materiales de construcción	10
COMBUSTOLEO	Combustibles	6
DILUYENTES	Otros	14
GASES	Combustibles	6
GASOLEO	Hidrocarburos	8

SEG. ESTADISTICAS	SEG. FINAL	Segmento No.
GASOLINA	Combustibles	6
LUBRICANTES	Hidrocarburos	8
NAFTA VIRGEN	Hidrocarburos	8
OTROS DERIV-PETROLEO	Hidrocarburos	8

Fuente: Elaboración propia

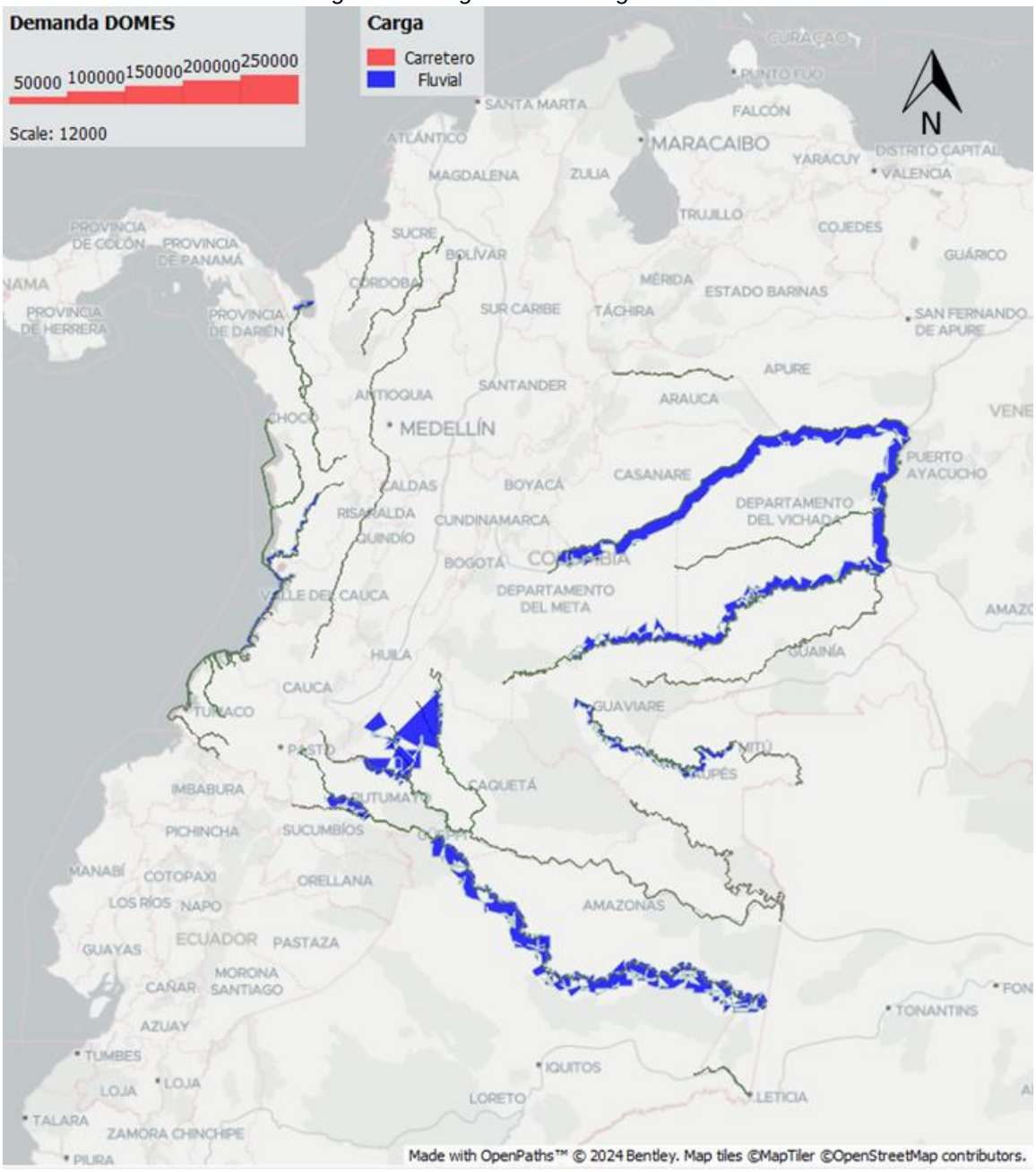
Los volúmenes de carga por segmento para el año 2022 se presentan en la tabla a continuación, y se muestran gráficamente sobre la red de modelación en la figura siguiente.

Tabla 88. Total carga ríos segmentada, toneladas 2022.

RIO	ATRATO	LEÓN	ARAUCA	META			GUAVIARE	INÍRIDA	CAQUETÁ	CAGUÁN	PUTUMAYO		AMAZONAS	MAGDALENA
				PTO LOPEZ	PTO GAITÁN	PTO CARREÑO					PTO ASIS	PTO LEGUIZAMO		
Alimento Agro	3,450	316,223	58	77	1,192	1,597	84	2,053	53	135	2,545	2,067	33	20,248
Alimentos procesados	8,750	6,785	89	1,348	5,115	7,055	9,097	11,310	2,688	260	6,637	2,598	2,641	0
Animales vivos	0	2,228	0	0	0	0	133	2,236	1,050	578	0	0	0	0
Bebidas con y sin alcohol	2,910	6,689	0	11,637	2,537	3,297	5,825	9,081	0	89	8,380	2,017	1,025	0
Combustibles	10,200	8,135	147	5,550	2,974	7,319	9,937	30,602	362,481	68,096	29,071	6,680	1,590	836,721
Grasas y aceites animales o vegetale	0	0	0	344	0	0	0	360	0	0	14	15	40	6,498
Hidrocarburos	600	13,789	0	490	700	502	1,211	371	0	181	649	412	42	1,190,155
Maderas	42,270	7,759	0	261	20	288	0	0	1,078	46	801	442	157	0
Materiales de construcción	1,350	3,687	0	12,813	3,178	7,940	10,797	15,709	18	414	8,313	3,288	986	0
Minerales	0	0	0	1	299	19,901	223	12,599	0	0	577	459	80	1,158
Otros	1,224	353,594	0	4,486	6,490	5,303	4,075	6,509	0	203	7,924	2,636	693	9,313
Papel y cartón	0	0	0	4	30	0	0	39	0	0	113	19	156	10,597
Producción Industrial	0	0	0	25	1	1,010	111	326	0	0	466	63	265	11,295
TOTAL	70,754	1,658,373	294	37,036	22,536	54,212	41,493	91,195	367,368	70,002	65,490	20,696	7,708	2,461,209
CHEQUEO	0	2,228	0	0	0	0	133	2,236	1,050	578	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas fluviales 202

Figura 64. Asignación de carga en ríos de ZPP



Fuente: Elaboración propia

Las estadísticas fluviales del Ministerio de Transporte incluyen la movilización de mercancías incluyendo cargas domésticas y de comercio exterior. Dado que se cuenta con evidencia de que los ríos León y Magdalena cuentan con carga proveniente de comercio exterior, estos volúmenes deben ser restados del reporte de las estadísticas fluviales en lo que concierne a la carga doméstica y son representados en el modelo dentro de la carga de comercio exterior. Las cargas correspondientes a comercio exterior en estos dos ríos se reportan a continuación:

Tabla 89. Total carga de ríos COMEX, toneladas 2022.

COMEX	Río León	Río Magdalena
CNR Expo	189	
CR Expo	939,484	
CT - Carbón térmico		127,750
CMC - Carbón metalúrgico y coque		69,312
HR IMPO		16,627
HR EXPO		761
HR IMPO		230,086

Fuente: Elaboración propia

5. MODELOS DE ELECCIÓN

De acuerdo con el esquema general del modelo de transporte, se plantean dos modelos de elección discreta para la evaluación de los procesos de selección de modo y ruta. El modelo de elección de modo es usado para distribuir la matriz origen-destino que contiene la carga total movilizada entre las zonas de análisis del modelo según los modos disponibles (carretero, fluvial, férreo). Además, el modelo de elección de modo se divide en dos componentes, por un lado, se tiene el modelo para la segmentación de COMEX la cual incluye 14 categorías, mientras que por otro lado la segmentación de carga doméstica (DOMES) y ZPP, que incluye 9 segmentos. Luego, el modelo de elección de ruta es usado para calibrar los valores del tiempo por tipología vehicular del modo carretero, los cuales serán usados en el paso de asignación

Para este fin, se recolectaron encuestas de Preferencias Declaradas (PD) a partir de los cuales se estiman modelos que permiten evaluar las probabilidades de elección del modo de transporte (carretero, fluvial, férreo), además de los corredores viales que componen la red de modelación en el proceso de asignación y selección de ruta, en función de los atributos de la oferta y demanda, es decir, de los niveles de servicio de la red y de las características propias de los segmentos de carga y tipologías vehiculares disponibles para cada alternativa.

Cabe destacar que, en el caso de las PD para la estimación de modelos de elección de ruta, el agente o tomador de decisión corresponde a los conductores de las diferentes tipologías vehiculares que se incluyen en el modelo. Esto se debe a que el objetivo de las PD consiste en la estimación de ciertos parámetros que definen el proceso de asignación y elección de ruta, tales como el valor del tiempo de viaje (VOT por sus siglas en inglés). En este caso se hipotetiza que los conductores son libres de decidir la ruta. Además, se considera que los conductores tienen un buen conocimiento que los tiempos y costos de viaje a lo largo de la red, especialmente en el caso del contexto de carga, en el cual debido a la naturaleza comercial las elecciones de los tomadores de decisión tienen el principal objetivo de minimizar los costos generalizados de viaje. Por esta razón, se asume que las preferencias de los conductores, medidas en la forma de las elecciones de las PD, son una buena aproximación para la estimación del VOT.

Por otro lado, en las PD de elección de modo el agente o tomador de decisión son los generadores de la carga que se moviliza, ya que son estos quienes definen qué alternativas modales (carretero, férreo o fluvial) se movilizará la carga. En ambos casos se implementó un diseño eficiente para la generación de las situaciones de elección a presentar en el experimento de PD[16]. La selección de los atributos a presentar en el experimento de PD se

[16] Rose, J. M., & Bliemer, M. C. J. (2009). Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. Transport Reviews, 29(5), 587–617. https://doi.org/10.1080/01441640902827623

basó en una revisión de literatura[17][18] sobre los principales factores que inciden en los procesos de elección de ruta y modo en el contexto de transporte de carga, además de la viabilidad de su inclusión en el modelo (para mayor detalle del proceso de diseño de la encuesta y descripción de los datos por favor referirse a los informes y entregables de los productos 1, 2 y 3 del presente estudio).

A partir de estas fuentes de información se estimaron modelos de elección discreta tipo logit multinomial (MNL) basados en la teoría de la utilidad aleatoria. La elección de este tipo de formulación se basó en una revisión de otros estudios y estándares de modelación. Además, al estar fundamentados en la teoría económica de la utilidad aleatoria, la estimación de modelos de elección discreta permite calcular parámetros económicos que son fundamentales en la modelación de transporte. Entre estos parámetros, se incluyen las disposiciones de pagar tales como el valor del tiempo de viaje, el cual es calculado como la ratio entre el parámetro del tiempo y el parámetro del costo del modelo, suponiendo que la utilidad es lineal respecto a estas dos variables.

Bajo este marco metodológico, es posible demostrar que la probabilidad de que un agente (*i*) escoja una alternativa (*j)* dentro de un conjunto de alternativas disponibles (*J*) está dada por la siguiente ecuación, donde V_{ij} es conocida como utilidad sistemática, la cual es una función de un conjunto de atributos observados y unos parámetros correspondientes a estimar (para un mayor detalle sobre la especificación y formulación de modelos de elección discreta, por favor referirse al libro de Ortúzar y Willumsen, 2021[19]).

En las siguientes dos secciones se realiza una descripción de los resultados de estimación de los modelos de elección correspondientes (ruta y modo), los cuales fueron evaluados en base a su bondad de ajuste, significancia estadística, e interpretación microeconómica de los parámetros de cada modelo.

5.1. Elección de ruta

Las encuestas de PD de elección de ruta se aplicaron a conductores que se encontraran viajando por la red nacional durante la etapa de recolección de información de campo. En dicha encuesta, se propone un experimento en el cual los conductores tienen la posibilidad de elegir seguir usando la ruta que se encuentran realizando (ruta actual), o si prefiriesen elegir una nueva ruta hipotética con ciertos valores de costo y tiempo de viaje. Se recopilaron 1132 encuestas que, dado que se presentaron 4 situaciones de elección en cada una, generan una muestra total de 4528 observaciones. De esta muestra, un 36% de las encuestas son cautivas de la alternativa ruta actual, es decir, casos en los cuales el

[17] de Souza, F. L. U., Larranaga, A. M., Palma, D., & Pitombo, C. S. (2021). Modeling travel mode choice and characterizing freight transport in a Brazilian context. Transportation Letters, 14(9), 983–996. https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1976011
[18] Larrañaga, A. M., Fan, Y., & Senna, L. a. D. S. (2017). Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul. Transportation Research. Part a, Policy and Practice, 102, 202–211. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.028
[19] Ortúzar & Willumsen (2011) Modelling Transport. Wiley ed. Available at https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119993308

participante escoge la esta alternativa en las 4 situaciones de elección, mientras que un 9.4% lo son de la ruta propuesta hipotética. Cabe destacar que la versión final de los modelos presentados no incluye las observaciones cautivas, aunque en el proceso de modelación se evaluaron estimaciones que incluían esta submuestra, pero que fueron descartados por motivos de ajuste, significancia de parámetros y congruencia de VOT respecto a valores de referencia.

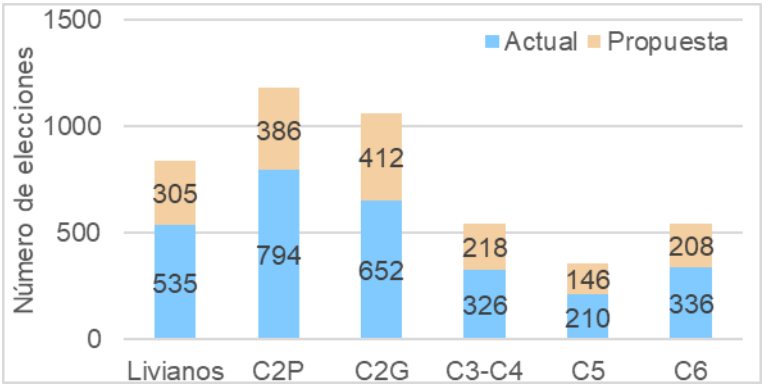
La distribución de observaciones por tipología vehicular y las elecciones de los encuestados se presentan en la siguiente figura, mientras que los niveles usados en el experimento de PD se encuentran en la Tabla 89 considerando que la utilidad de la alternativa actual se normaliza en 0, por lo cual los niveles presentados corresponden a aquellos de la ruta propuesta hipotética. Por esta razón, el tiempo se muestra como ahorro respecto a la alternativa actual en minutos y el costo es el adicional en pesos.

Tabla 90. Niveles atributos situaciones de elección PD ruta carretero

Segmento del viaje encuestado	C2P		C2G		C3-C4		C5		C6		Livianos	
	Ahorro tiempo (min)	Costo extra ($)	Ahorro tiempo (min)	Costo ($)	Ahorro tiempo (min)	Costo ($)	Ahorro tiempo (min)	Costo ($)	Ahorro tiempo (min)	Costo ($)	Ahorro tiempo (min)	Costo ($)
<2 horas	10	2000	10	3000	10	4000	10	5000	10	6000	10	2000
	15	4000	15	5000	15	6000	15	7000	15	8000	15	4000
	20	6000	20	7000	20	8000	20	9000	20	12000	20	6000
	25	8000	25	9000	25	10000	25	11000	25	14000	25	8000
2-5 horas	20	5000	20	7000	20	10000	20	12000	20	15000	20	4000
	30	8000	30	10000	30	15000	30	18000	30	21000	30	7000
	40	12000	40	14000	40	20000	40	25000	40	28000	40	10000
	50	15000	50	18000	50	25000	50	30000	50	35000	50	15000
>5 horas	40	10000	40	15000	40	20000	40	25000	40	30000	40	9000
	60	15000	60	20000	60	30000	60	35000	60	40000	60	15000
	80	20000	80	25000	80	40000	80	45000	80	50000	80	20000
	100	30000	100	35000	100	50000	100	60000	100	65000	90	30000

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Distribución de muestra PD ruta por tipología y porcentaje de escogencia de cada alternativa



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Estos datos fueron usados para estimar modelos de elección por medio de técnicas de máxima verosimilitud. Considerando diversas especificaciones de la función de utilidad, las cuales fueron evaluadas respecto a significancia estadística, ajuste, interpretabilidad, y requerimientos y capacidades del modelo. Así, además de costo total y tiempo de viaje, se incluyó una variación sistemática en el costo por tipología vehicular, esto con el fin de incorporar heterogeneidad en el modelo que permita el cálculo de valores del tiempo por tipología. Dado que la función de la alternativa actual se normaliza en 0, la siguiente ecuación incluye la función de utilidad sistemática especificada para la alternativa propuesta, donde *ASC* es la constante específica de la alternativa, *S* es una variable dummy asociada con la tipología vehicular, incluyendo vehículos de carga por número de ejes C2P, C2G, C3-C4, C5 y C6, mientras que son los parámetros por estimar. Considerando esto, el parámetro corresponde al coeficiente para los vehículos livianos, mientras que en el caso de los vehículos de carga el coeficiente final que indica la utilidad marginal al costo es igual a la suma de y el parámetro correspondiente.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del modelo estimado. Los resultados de la constante sugieren que en caso de que los atributos de costo y tiempo de la ruta propuesta hipotética sean iguales a la de la ruta actual, los conductores prefieren la alternativa actual. Este resultado es consistente con los supuestos microeconómicos del modelo, la inercia del comportamiento y el sesgo que pueda haber asociado a la naturaleza hipotética de las PD.

El modelo estimado incorpora una variable que no representa directamente el tiempo de viaje en cada alternativa, sino, los correspondientes ahorros en la ruta propuesta hipotética respecto a la ruta actual. Considerando que el modelo de elección funciona en base a las diferencias entre utilidades, desde el punto de vista de estimación de parámetros del modelo esto es equivalente a incluir los tiempos totales de cada alternativa siempre y cuando dicha diferencia sea igual a los ahorros establecidos. Siendo así, la única diferencia entre estos dos enfoques radica en el sesgo que pueda haber asociado a las respuestas de los encuestados al ponderar entre tiempos totales y ahorros.

Considerando lo anterior, el hecho de que el signo del parámetro del ahorro tiempo sea positivo sugiere que los usuarios prefieren minimizar el tiempo de viaje, tal como era de esperarse. Es decir, de manera similar, se tiene un signo negativo para el costo como era de esperar. La mayor significancia del parámetro del costo, en especial comparado con el tiempo, sugiere que el costo juega un papel más importante en el proceso de toma de decisión. Por otra parte, dado que se espera un valor positivo del parámetro asociado al ahorro en tiempo, se puede complementar el análisis mediante una prueba de hipótesis de una cola a partir del estadístico t-test para evaluar la hipótesis nula que el parámetro es mayor a 0, como se esperaría. En este caso, se tiene un nivel de confianza cercano al 90% (t-test=1.21) de que el parámetro de ahorro de tiempo de viaje es positivo. Sumado a esto, en los modelos de elección discreta solo las tasas marginales de sustitución son relevantes, por lo cual el efecto del parámetro del tiempo debe ser evaluado de manera relativa con respecto a los resultados de los demás parámetros y variables, en este caso, el costo, esto considerando que el ratio entre ambos valores corresponde al VOT.

Tabla 91. Resultados estimación modelo elección de ruta

Parámetro	Coeficiente	t-test	t-test robusto
Constante nueva ruta	0	NA	NA
Constante actual	0.240	2.66	2.90
Ahorro tiempo de viaje	0.003	1.21	1.14
Costo	-0.047	-4.84	-4.98
Costo C2P	0.020	2.17	2.39
Costo C2G	0.030	3.62	4.03
Costo C3-C4	0.033	3.87	4.28
Costo C5	0.038	4.18	4.69
Costo C6	0.042	4.85	5.25

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En esta formulación, el efecto en el costo por tipología es aditivo para los vehículos de carga, siendo la base el parámetro del costo para vehículos livianos. Esto quiere decir que la utilidad marginal total para los camiones es igual a la suma del parámetro del costo de livianos, más el parámetro correspondiente según el tamaño y número de ejes del camión. Por ejemplo, en el caso de los vehículos C6, el parámetro del costo es igual a -0.005 (que resulta de la suma de -0.047 y 0.042). Dado esto, se observa que en todos los casos el parámetro del costo final o total es negativo para todas las categorías. Además, se tiene que la sensibilidad al costo disminuye con el tamaño del vehículo, lo cual en otras palabras significa que a medida que aumenta la tipología o tamaño, se tienen mayores valores del tiempo, tal como era de esperarse y se puede verificar en la siguiente tabla.

Cabe destacar que la estimación del VOT en unidades de pesos por minuto corresponde al negativo la división del parámetro del tiempo y la utilidad marginal del costo respectiva, multiplicado por 1000. Por un lado, se establece el negativo debido a que el tiempo ingresa como ahorro, así que al multiplicar el parámetro por -1 se tiene la utilidad marginal de un minuto adicional y no de un minuto ahorrado como se establece inicialmente. Por otra parte, se debe multiplicar por 1000 debido a que las unidades del costo para la estimación de modelo se ingresan en miles de pesos, por lo cual si no se realiza esta multiplicación se tendrían unidades del VOT en miles de pesos por minuto. Finalmente, se observa que, dado

el alcance del estudio y el enfoque de caracterización de la demanda de carga, la encuesta y el modelo no incluyeron a los usuarios de transporte público. Para definir el VOT de esta categoría, se toman los valores de referencia del modelo en su versión anterior de 2019, en el cual se tiene que el ratio entre el VOT de transporte público y livianos era de 0.567. Así, asumiendo que se mantiene dicho cociente, en esta actualización se asume un VOT de usuarios de transporte público de $153/min.

Tabla 92. Valores del tiempo por tipología vehicular modo carretero

Tipología	VOT ($/min)	VOT ($/h)
Livianos	271	16248
C2P	335	20126
C2G	403	24152
C3-C4	475	28495
C5	563	33753
C6	681	40880

Fuente: Elaboración propia

5.2. Elección de modo

En el caso de los modelos de elección de modo, estos se dividieron en dos componentes. Por un lado, se tiene un modelo para los 14 segmentos de carga a evaluar en las ZPP, mientras que, por otro lado, se tiene un modelo con la segmentación de la categoría COMEX. En ambos casos, los modelos se estimaron a partir de las PD recolectadas como información primaria, siendo que solo se realizó una reclasificación de cada uno de los generadores de carga entrevistados con el fin de cumplir con cada una de las dos segmentaciones.

Las encuestas de PD se recolectaron como parte del proceso de entrevistas a los tomadores de decisión de los generadores de carga, según el proceso de toma de información descrito en etapas anteriores del presente estudio. En dichas encuestas, a los encuestados se les presentaron 6 situaciones hipotéticas en las cuales se les solicitaba elegir en qué modo movilizarían su carga en un envío entre dos zonas en los cuales los modos carretero, fluvial y férreo se encuentran disponibles, considerando ciertas variaciones en los atributos de tiempo de viaje, costo unitario de viaje, número de transferencias modales requeridas en las alternativas férreo y fluvial, y confiabilidad del tiempo de viaje expresado como el porcentaje de viajes que llegan tarde. El tiempo de viaje se presenta en horas, el costo corresponde al valor unitario de transportar una tonelada de carga, las transferencias se presentan como número de veces que se debe transferir carga entre modos, la cual es una variable que siempre es 0 para el modo carretero.

La siguiente tabla incluye los niveles de los atributos contemplados en las situaciones de elección hipotéticas presentadas en la encuesta de PD. De acuerdo con lo presentado en los productos 1, 2 y 3 del estudio, el experimento de PD se dividió en dos segmentos según la distancia de viaje a la cual realizan envíos los generadores. Así, para generadores que suelen realizar envíos a menos de 600 km se presenta un ejercicio de PD con un viaje hipotético de 300 kilómetros, mientras que al resto de generadores se presenta un viaje hipotético de 800 kilómetros. En el caso del tiempo y costo total de viaje, estos se calculan

según estas distancias asumiendo los valores unitarios de y costo unitario por tonelada y kilómetro presentados en la tabla para cada alternativa. Además, en el caso de las transferencias se asume que estas solo se presentan en el caso de alternativas fluviales y férreas, considerando que estas alternativas no están disponibles de origen a destino y requieren etapas de acceso en modo carretero.

Tabla 93. Niveles atributos situaciones de elección PD generadores

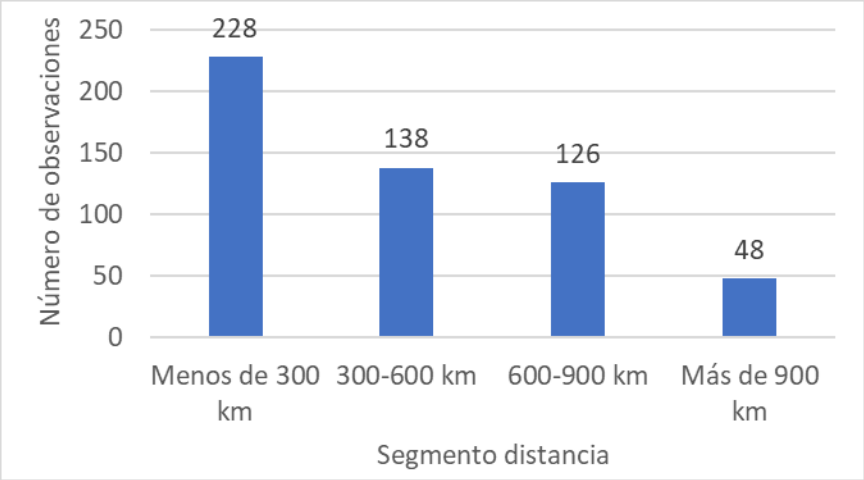
Atributo	Alternativa		
	Carretero	Fluvial	Férreo
Velocidad modo (km/h)	35 45 55	15 20 25	30 40 50
Tiempo total 300km (h)	9 7 5	30 20 15	10 8 6
Tiempo total 800km (h)	23 18 13	80 53 40	27 20 16
Costo unitario ($COP/ton-km)	$150 $200 $250	$50 $80 $110	$80 $130 $180
Costo total 300km ($COP/ton)	$45000 $60000 $75000	$15000 $24000 $33000	$24000 $39000 $54000
Costo total 800km ($COP/ton)	$120000 $160000 $200000	$40000 $64000 $88000	$64000 $104000 $144000
Número de transferencias	0	0 1 2	0 1 2
Confiabilidad	10% 15% 25%	10% 15% 25%	10% 15% 25%

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En total se entrevistaron 90 tomadores de decisiones, obteniendo un total de 540 observaciones para la estimación de los modelos. Además, se realizó una caracterización previa de los generadores a aplicar el experimento de PD, la cual permitió conocer sus características. La siguiente gráfica presenta la distribución de las observaciones recopiladas por distancia de envío de carga promedio del generador. Se observa que hay una mayor representatividad de generadores que realizan movimientos de carga a menos de 300 kilómetros entre origen y destino, aunque se tiene un número de observaciones

suficiente en cada categoría según criterios empíricos establecidos en la literatura que sugieren contar con al menos 200 observaciones para la evaluación de diferencias entre segmentos, o al menos 30 respuestas por alternativa, tal como se discute en el artículo de Rose & Bliemer (2013)[20]. Sin embargo, se debe considerar que los modelos no exploran diferencias en las preferencias por distancia del viaje, por lo cual esta figura se presenta de manera informativa.

Figura 66. Distribución de muestra PD generadores por distancia de viajes



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

Con esta información, inicialmente se estimó un modelo de elección tipo logit multinomial en el cual no se incluyen variaciones según segmentos. Por el contrario, este modelo asume homogeneidad en las preferencias por lo cual su objetivo consiste en verificar y validar que la información recopilada permite estimar modelos congruentes. Según esto, en este modelo se asume una función de utilidad lineal con la siguiente estructura:

En donde las unidades de las variables corresponden a las mencionadas al inicio de esta sección, mientras que son los parámetros que fueron estimados y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 94. Resultados estimación del modelo elección de modo según modelo preliminar de validación

Parámetro	Coeficiente	t-test	t-test robusto
Constante carretero	0	NA	NA
Constante fluvial	-5.756	-5.454	-4.708
Constante férreo	-5.195	-5.052	-4.367
Costo ($/ton)	-0.030	-6.411	-6.578
Tiempo (horas)	-0.019	-1.025	-1.080
Transferencias (#)	-0.097	-0.825	-0.757
Confiabilidad (% viajes demorados)	-0.045	-3.686	-3.121

[20] Rose, J. M., & Bliemer, M. C. J. (2013). Sample size requirements for stated choice experiments. Transportation, 40(5), 1021–1041. https://doi.org/10.1007/s11116-013-9451-z

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este modelo pueden ser interpretados como las preferencias promedio de los generadores. Inicialmente, el signo negativo y muy significativo de las constantes de fluvial y férreo sugieren que, en caso de que las tres alternativas de modo tengan los mismos tiempos y costos, los generadores prefieren el modo carretero. Los signos de los otros parámetros son coherentes con las teorías de comportamiento de transporte, incluyendo utilidad marginal negativa del tiempo y costo. Por otro lado, la baja significancia de los parámetros de tiempo y transferencias sugiere que estos atributos tienen una influencia menor a la del costo y confiabilidad. Se decide mantenerlos en el modelo por motivos de evaluación de políticas, considerando que su signo y magnitud de los parámetros son congruentes. A partir de estos resultados se estiman unas disposiciones a pagar generales, las cuales se pueden entender como valores promedio

Tabla 95. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo según modelo preliminar de validación

	Valor	Unidades
Valor del tiempo	616	$/ton/hora
Disposición a pagar por ahorrar una transferencia	3183	$/ton
Disposición a pagar por disminuir 1% del porcentaje de envíos que llegan demorados	1475	$/ton

Fuente: Elaboración propia

La congruencia de los anteriores resultados permite validar los datos recopilados. Considerando esto, el siguiente paso consiste en estimar modelos de elección de modo que consideren variaciones en las preferencias según las segmentaciones de carga para el caso de las cargas domésticas o DOMES y ZPP y los segmentos de COMEX. Inicialmente, nos referiremos al modelo que considera los 14 segmentos de DOMEX y ZPP. Para eso, se propone un modelo logit multinomial en el cual se incluyen variaciones en el parámetro del costo por segmento, de acuerdo con la siguiente estructura de la función de utilidad. Cabe aclarar que tal como se observa en la ecuación, el parámetro del costo es aditivo según la segmentación, siendo que la categoría base es el segmento “otros”:

Donde es una variable dummy para cada segmento que toma el valor de 1 si el generador corresponde a dicho segmento y 0 si no. A partir de esta formulación, se estimó un modelo MNL cuyos resultados se presentan a continuación. En adición, algunos grupos de segmentos fueron agregados al no encontrar diferencias estadísticamente significativas en los parámetros estimados, coincidiendo con los parámetros del modelo. La agregación de los segmentos se realizó considerando inicialmente similitud en el tipo de producto y el tamaño muestral de observaciones de cada segmento, y luego mediante evaluaciones de la significancia y congruencia de los parámetros estimados, además del ajuste del modelo en término de la verosimilitud final. Sumado a esto, dichas agregaciones fueron discutidas

y presentadas en las mesas de trabajo realizadas entre el equipo consultor y el equipo de la UPIT.

Tabla 96. Resultados estimación del modelo elección de modo

Parámetro	Coef.	t-test	rob. T-test
Constante carretero	0.000	NA	NA
Constante fluvial	-1.113	-2.138	-1.601
Constante férreo	-0.566	-1.771	-1.230
Tiempo	-0.020	-1.104	-1.072
Costo Alimento Agro y Alimento animales	-0.004	-0.750	-0.419
Costo Alimentos Procesados y Bebidas	-0.008	-0.659	-0.433
Costo Animales vivos	0.011	1.623	1.578
Costo Combustibles e hidrocarburos	-0.028	-3.103	-1.623
Costo Grasas aceites	0.001	0.105	0.091
Costo Maderas y Materiales de construcción y Minerales	-0.007	-0.623	-0.315
Costo Producción Industrial	-0.001	-0.103	-0.069
Costo Papel Cartón y Otros	-0.026	-5.014	-4.142
Transferencias (#)	-0.142	-1.225	-0.940
Confiabilidad (% envíos que llegan demorados)	-0.049	-4.091	-2.895

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los parámetros presentan signos y magnitudes congruentes. Sin embargo, en varios casos se obtienen parámetros poco significativos, lo cual puede ser consecuencia de la baja proporción de observaciones en esos casos en la muestra recolectada. En estos casos, debido a que estas variables son relevantes para la evaluación de políticas y la modelación diferenciada por segmento, se aplica el criterio presentado por Ortúzar & Willumsen (2011) donde se recomienda incluir variables poco significativas pero relevantes de política.

Tabla 97. Criterios de selección variables modelo de elección

		Variable	
		Policy	Other
Correct sign	Significant	Include	Include
	Not significant	Include	May reject
Wrong sign	Significant	Big problem	Reject
	Not significant	Problem	Reject

Fuente: Tomado de Ortúzar & Willumsen (2011) capítulo 8

De esta manera, con estos resultados se obtienen las siguientes disposiciones a pagar (WTP por sus siglas en inglés) por segmentación de demanda de ZPP. Además, se incluye la proporción de cada segmento incluida en la muestra de PD.

Tabla 98. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo segmentos ZPP

No	Segmento	% PD	VOT ($/min)	WTP transferencias ($/ton)	WTP confiabilidad ($/%)
1	Alimento Agro	12.0%	651	4585	1594
2	Alimento animales	10.9%	651	4585	1594
3	Alimentos Procesados	3.3%	581	4090	1422
4	Animales vivos	0.0%	1333	9386	3263
5	Bebidas	0.0%	581	4090	1422
6	Combustibles	2.2%	372	2619	910
7	Grasas aceites	4.3%	801	5637	1959
8	Hidrocarburos	6.5%	372	2619	910
9	Maderas	0.0%	611	4302	1495
10	Materiales de construcción	5.4%	611	4302	1495
11	Minerales	0.0%	611	4302	1495
12	Papel cartón	1.1%	762	5364	1865
13	Producción Industrial	5.4%	732	5153	1791

No	Segmento	% PD	VOT ($/min)	WTP transferencias ($/ton)	WTP confiabilidad ($/%)
14	Otros	48.9%	762	5364	1865

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el caso de la segmentación COMEX se cuenta con 9 segmentos los cuales relacionan tanto el tipo de producto como la manera en la cual se transporta la carga. En este caso, la función de utilidad tiene la misma estructura que en el modelo con segmentación ZPP, siendo que la única diferencia es que la clasificación corresponde a esta segmentación COMEX. En la siguiente tabla se encuentran los resultados del modelo MNL.

Tabla 99. Resultados estimaciones modelo elección de modo para segmentos COMEX

Parámetro	Coef.	t-test	rob. t-test
Constante carretero	0	NA	NA
Constante fluvial	-0.66	-1.29	-0.69
Constante férreo	-0.22	-0.71	-0.34
Tiempo de viaje	-0.03	-1.62	-1.32
Costo contenedores no refrigerados	-0.03	-6.92	-6.30
Costo contenedores refrigerados	0.01	1.83	4.24
Costo granel sólido y granel líquido	-0.04	-0.99	-0.80
Costo carga general	0.01	1.35	0.77
Costo hidrocarburos crudos e hidrocarburos refinados	-0.07	-3.36	-3.07
Transferencias	-0.23	-2.06	-1.18
Confiabilidad	-0.06	-5.04	-2.66

Fuente: Elaboración propia

En el caso de granel sólido y líquido, así como en hidrocarburos crudos y refinados, se agregaron los parámetros correspondientes ya que no se evidenciaron diferencias en estos. Además, se aplican los mismos criterios de selección de variables presentados anteriormente, en donde se mantienen variables poco significativas pero relevantes por motivos de evaluación de política. Se observa además que no se incluyen las variaciones sistemáticas en el costo para los segmentos carbón térmico y carbón metalúrgico debido a que no se contaban con observaciones de estas categorías en las PD. Por esta razón, para la definición de la utilidad marginal y VOT de estas dos categorías, se usaron los VOT de

referencia del modelo de 2019, en el cual se tenía que los VOT de carbón término y metalúrgico era de $36/min, mientras que en el caso de hidrocarburos crudos y refinados el VOT era de $71/min, dando un ratio entre ambos de 0.507. Considerando estos valores, para esta actualización se procura que se conserve el mismo cociente entre estos VOT, por lo cual si se tiene que el VOT actualizado de hidrocarburos es del orden de los $301/min, entonces en el caso de los carbones se espera un VOT de alrededor de $153/min.

En adición, la siguiente tabla presenta las disposiciones a pagar y valores de tiempo calculadas a partir de este modelo. Finalmente, En algunas de estas segmentaciones las disposiciones a pagar y preferencias al costo y tiempo pueden estar relacionados con las dinámicas macroeconómicas de los productos. Por ejemplo, en el caso de hidrocarburos su disposición a pagar puede estar relacionada con los costos internacionales del crudo. Esa situación podría explicar algunos aumentos en los valores del tiempo para estas categorías, si se comparan con las proyecciones de los valores del tiempo usado en versiones anteriores del modelo de transporte de carga nacional, como es el caso de la actualización de 2019 del PMTI. Siguiendo nuestro ejemplo con los hidrocarburos, el precio promedio de un barril de petróleo referencia WTI en 2019 se encontraba alrededor de los 57 USD mientras que en 2022 el promedio fue de 95 USD[21].

Tabla 100. Disposiciones a pagar promedio modelo de elección de modo segmentación COMEX

Cod Modelo	Segmento	VOT ($/min)	WTP transferencias ($/ton)	WTP confiabilidad ($/%)
1	Contenedores No Refrigerados	979	7828	2008
2	Contenedores Refrigerados	1483	11858	3042
3	Granel Sólido	407	3251	834
4	Granel Líquido	407	3251	834
5	Carga General	1246	9958	2555
6	Carbón Térmico	153	1222	313
7	Carbón Metalúrgico	153	1222	313
8	Hidrocarburos Crudos	301	2410	618
9	Hidrocarburos Refinados	301	2410	618

Fuente: Elaboración propia

[21] U.S. Energy Information Administration. Spot prices petroleum and other liquids. Available at https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm

6. ARQUITECTURA DEL PROCESO DE MODELACIÓN

En este capítulo se explican de manera detallada los procesos para la configuración de los modelos de transporte privado (automóviles y camiones), carga y transporte público.

6.1. Modelo de Automóviles

La construcción de los modelos de vehículos privados que en este caso solo son automóviles toma como punto de partida la recopilación de información de volúmenes y la caracterización de la red vial existente, velocidades, costos de operación vehicular y costos de peajes. Con base en la información del modelo de partida 2019 y los factores de cambio a 2022, se construyeron las matrices de demanda tal como se mencionó en la sección 4.2 matrices semilla de transporte privado en automóvil.

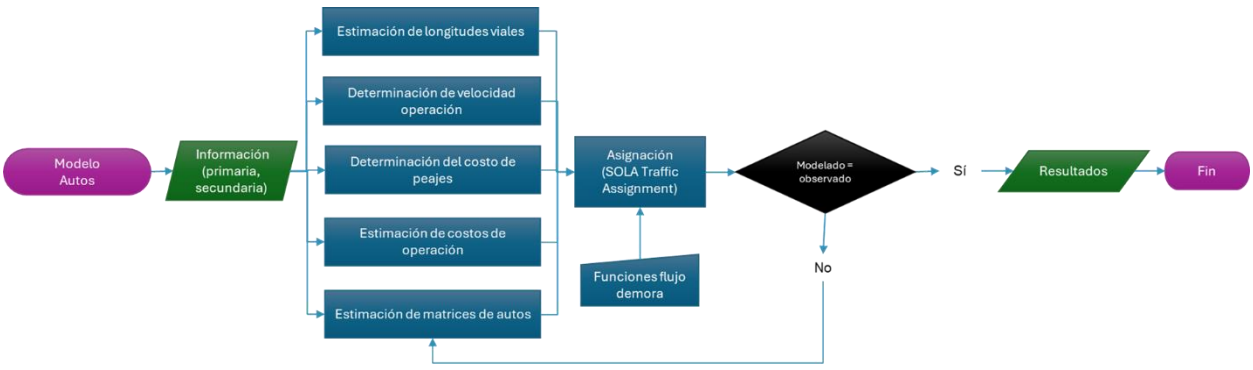
Con la red parametrizada y las matrices de demanda estimadas se realizó la asignación mediante el método SOLA Traffic Assignment la cual se ejecutó en función de los costos de viaje, longitudes de vías y velocidades de operación.

Los datos que se obtuvieron de la asignación fueron comparados con los 286 datos observados en campo (aforos vehiculares y estaciones de peaje) para verificar la consistencia este proceso de calibración se explicará en un capítulo posterior.

Para el caso en el que los valores comparados no fueran consistentes, se realizó el proceso de reestimación de matriz, esto se realizó de manera iterativa hasta lograr valores aceptables bajo la aplicación de algunos estadísticos tales como el coeficiente de determinación (r2) y el GEH. Cuando se logran valores aceptables de calibración se da por finalizado el proceso y el modelo es útil para obtener resultados.

A continuación, se muestra de manera gráfica el proceso de configuración del modelo de transporte privado.

Figura 67. Diagrama de flujo de automóviles



Fuente: Elaboración propia

6.2. Modelo de transporte público

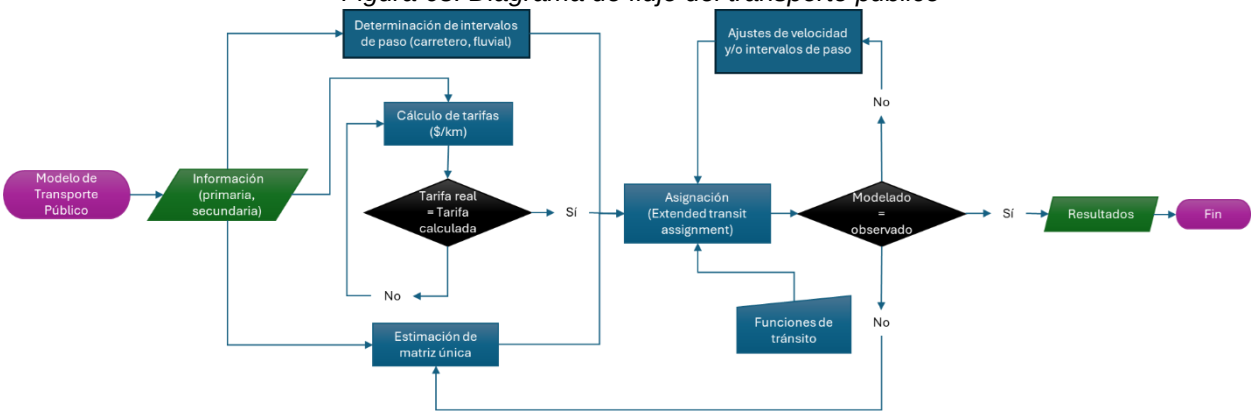
Este modelo toma como punto de partida de la recopilación de información primaria y secundaria, que permitió identificar rutas, tarifas, operadores, puntos de transferencia, ocupación, pares origen destino, normatividad, entre otros. Con esta información se pudo caracterizar tanto la oferta como la demanda los procesos explicados en las secciones 3.10 Rutas de transporte público carretero y 4.2 Matrices semilla de transporte privado en automóvil y buses de transporte público. De manera que se recopila información de 778 rutas de transporte público.

Una vez caracterizada la oferta y la demanda se determinaron los intervalos de paso tanto para el modo carretero como para el fluvial, se realizó el cálculo de tarifas kilométricas, es decir, que la tarifa estuviese en función de la distancia recorrida y luego, se realizó la estimación de una matriz única que contuviera la demanda de transporte público del modo carretero.

Es importante aclarar que dentro del cálculo de las tarifas kilométricas se realizó una verificación de las tarifas calculadas respecto a las tarifas reales. Esto permitió identificar tramos con sobre o subestimaciones que luego fueron ajustados logrando tarifas representativas.

Con la información consolidada de oferta y demanda, así como la definición de las funciones de tránsito, se realizó la asignación utilizando el método Extended Transit Assignment de EMME. Finalizado el proceso, se compararon los datos observados en campo con los obtenidos del modelo para verificar consistencia entre estos. Cuando se identificaban inconsistencias se realizaban ajustes a la matriz y verificaciones de la oferta; siendo esto un proceso iterativo hasta lograr la mayor consistencia. A continuación, se presenta el diagrama de flujo del modelo de transporte público.

Figura 68. Diagrama de flujo del transporte público



Fuente: Elaboración propia

6.3. -Modelo de transporte de carga

La construcción de los modelos para los diferentes segmentos de carga tanto para el comercio nacional como internacional tuvo como base la recopilación de la siguiente información: tipo de terreno, velocidades de operación, encuestas origen y destino dirigidas a generadores de carga y de interceptación a transportistas, costos de peajes, y tipo de infraestructura utilizada (carretero, fluvial y férreo).Los datos de demanda fueron complementados con información secundaria como las bases de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga y la Superintendencia de Transporte, así como la información del modelo base PMTI 2019.

Con la información de la oferta se parametrizó la red de modelación y a partir de los datos de origen y destino de las diferentes fuentes de información primaria y secundaria se construyeron las matrices de carga en toneladas por año según el segmento de carga y el tipo de comercio (nacional o internacional). Para la carga internacional se establecieron nueve segmentos (contenedores no refrigerados, contenedores refrigerados, granel sólido, granel líquido, carga general, carbón térmico, carbón metalúrgico, hidrocarburos crudos e hidrocarburos refinados), mientras que para el comercio nacional se definieron catorce segmentos (alimentos agro, alimentos para animales, alimentos procesados, animales vivos, bebidas con y sin alcohol, combustibles, grasas y aceites animales o vegetales, hidrocarburos, maderas, materiales de construcción, minerales, papel y cartón, producción industrial y otros).

Para los segmentos de carga de comercio internacional la modelación se realizó parametrizando la red con las condiciones específicas de cada uno de estos. Se realizaron cálculos de utilidades para cada modo y zona portuaria habilitada con el fin de realizar la distribución de la carga. Con esta distribución se realizó el cálculo de camiones diarios para posteriormente realizar asignaciones de carga y camiones por las distintas alternativas, modo-zona portuaria. Para aquellos segmentos con carga cautiva se realizó un tratamiento especial que consistió en calcular el número de camiones diarios y luego asignar las demandas cautivas y no cautivas, así como el resultado de camiones.

Por otra parte, para los segmentos de carga doméstica la modelación se realizó parametrizando igualmente la red con las condiciones específicas de cada uno de estos. También se realizó el cálculo de utilidades para cada modo habilitado (carretero, férreo, fluvial e intermodal) buscando la distribución de la carga en cada uno de estos. Junto con las matrices de ocupación y participación se transformaron los valores de carga a número de camiones diarios. Finalmente, se realizaron asignaciones de carga y camiones obteniendo la distribución de la carga en la red y el número de camiones.

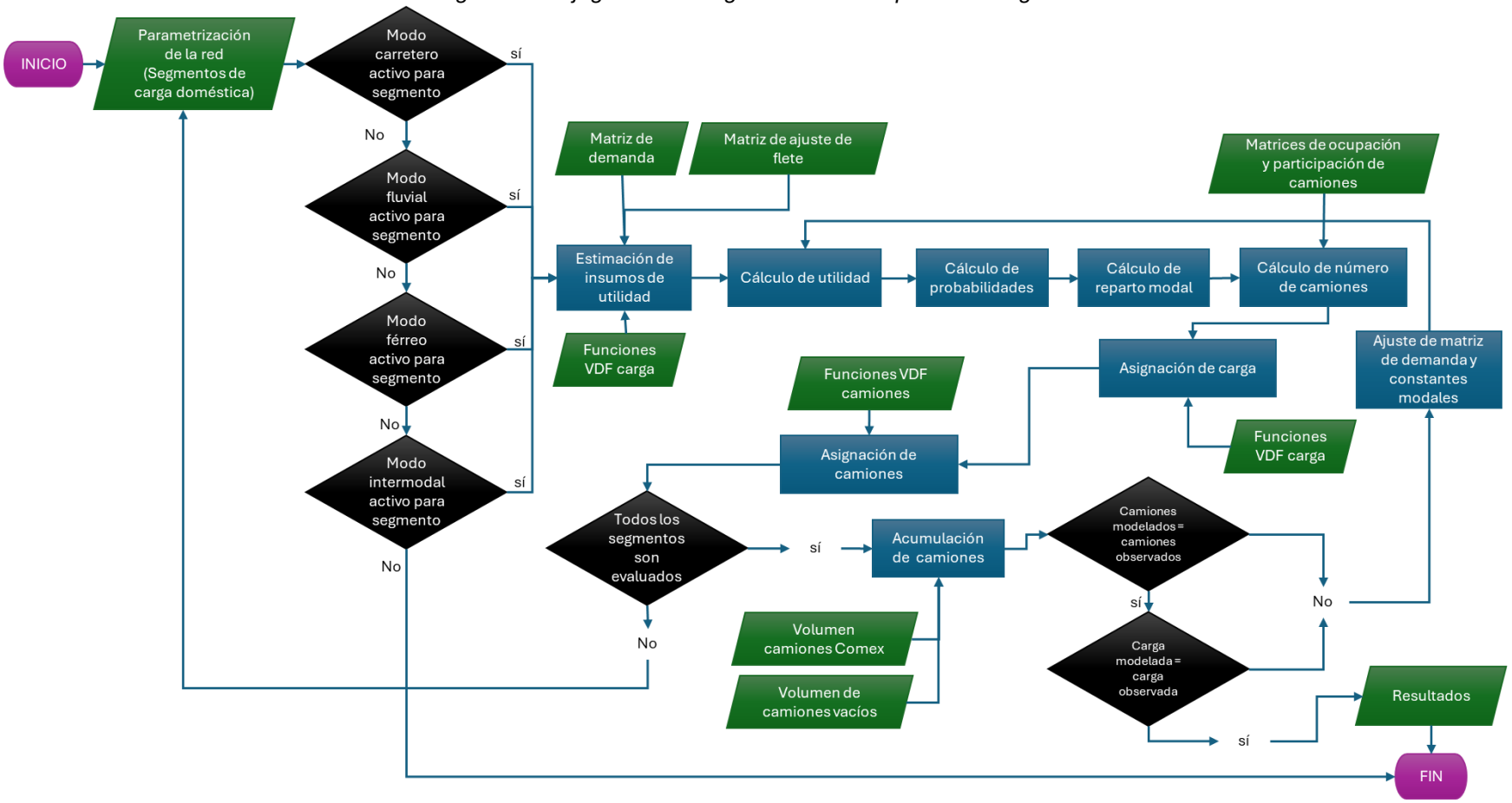
Los resultados de las asignaciones fueron comparados con valores de control de acuerdo con el destino de la carga. Para los pares de comercio internacional se comparó la carga asignada con los volúmenes registrados en cada zona portuaria por segmento de carga, asimismo se compararon los volúmenes de carga asignados por los tramos férreos y ríos con los registros obtenidos de la recopilación de información primaria y secundaria.

Por otro lado, para los pares de comercio nacional se comparó la carga asignada con registros de carga por tramos férreos y ríos, mientras que para el modo carretero se

comparó la suma de camiones asignados de comercio internacional, comercio nacional y camiones vacíos con los volúmenes de camiones registrados en peajes a nivel nacional y puntos de aforos en las ZPP.

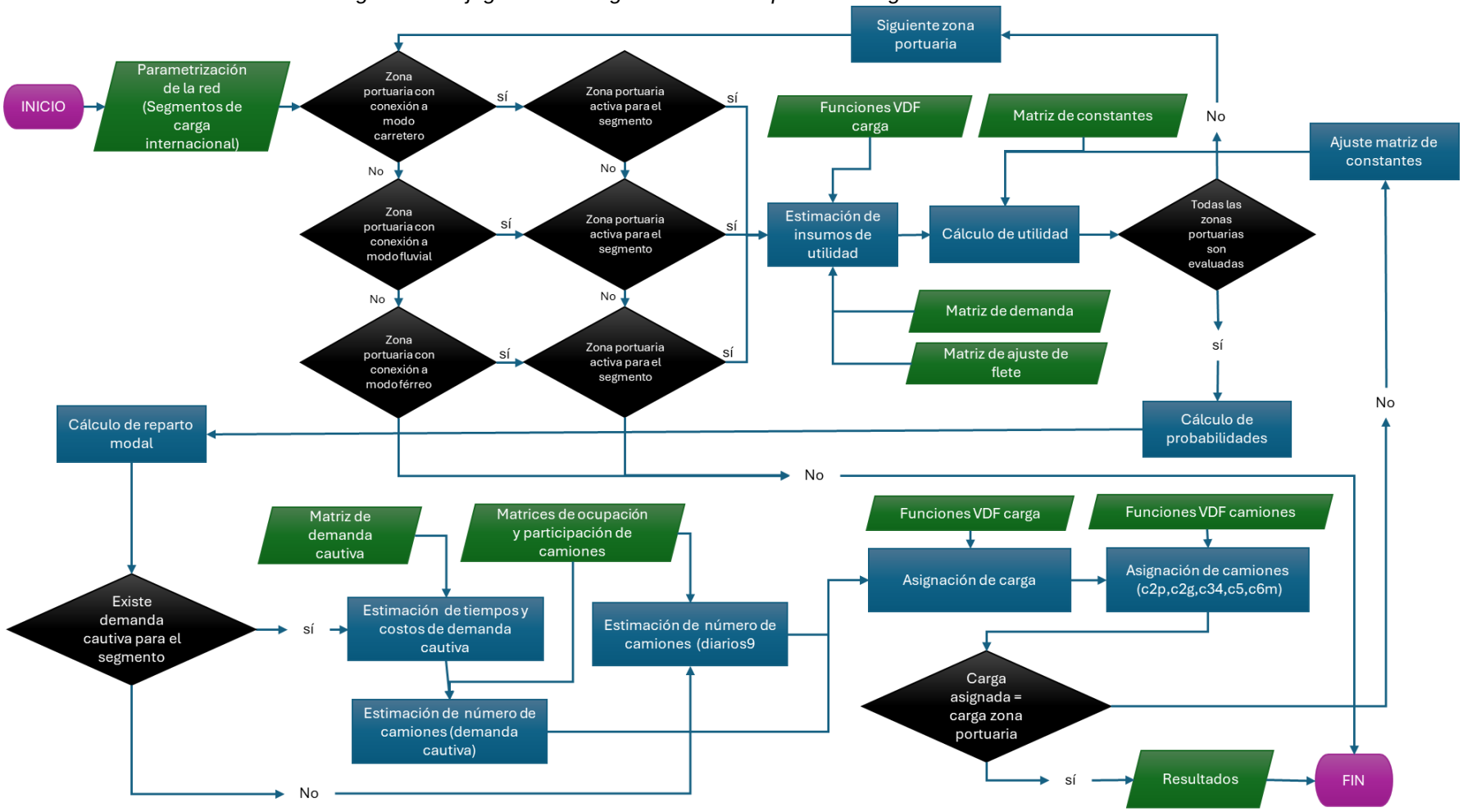
A continuación, se muestran los diagramas de flujo para los modelos de transporte de carga de comercio internacional y nacional.

Figura 69.Flujograma de asignación de transporte de carga doméstica



Fuente: Elaboración propia

Figura 70.Flujograma de asignación de transporte de carga de comercio internacional



Fuente: Elaboración propia

El proceso de asignación se divide en dos partes principales, cada una con sus respectivos scripts. La primera parte corresponde a la asignación de automóviles y transporte público, la cual se ejecuta mediante un único script. La segunda parte corresponde a la asignación de carga y camiones, tanto de comercio nacional como internacional. Para esta última, se cuenta con seis scripts que ejecutan diversos procesos, los cuales serán descritos en detalle a lo largo del capítulo.

6.4. Script de asignación de automóviles y transporte público

Se encarga de asignar los automóviles y los buses de transporte público carretero. Este script está dividido en varias secciones. A continuación, se realiza una descripción de cada una de estas.

Importación de librerías de EMME: inicia importando las librerías requeridas para la preparación de la red y la asignación.
Definición de la clase de asignación: Crea la clase principal que generará un objeto modelador encargado de todos los procesos dentro de EMME. Asimismo, define la interfaz de la herramienta que permitirá seleccionar el escenario y corte temporal para la asignación.
Creación de instancias de modeller y toolboxes: importa las herramientas del modeller asociándolas a una variable para luego ser utilizadas en el desarrollo de los demás procesos.
Definición de matrices: especifica el código de las matrices de automóviles y de transporte público.
Métodos replicables: define tres funciones que se usarán para calcular atributos, calcular matrices y crear filtros de matrices.
Creación de funciones: Elimina las funciones existentes de transporte público y automóviles si ya existen. Si no, crea nuevas funciones con la formulación correspondiente
Definición de parámetros iniciales: define los elementos necesarios para la preparación de la red y asignación. Incluye parámetros como: tipo de terreno, valores del tiempo para automóviles y transporte público, modos de transporte, atributos de costo, volumen, operación vehicular y peaje, criterios de detención de asignación, parámetros específicos para el transporte público (tarifas, factores de reducción de velocidad, etc.).

Adicionalmente, inicializa los atributos de peaje y costo, calcula los costos de operación vehicular para cada arco según la pendiente y tipo de pavimento e inicializa los atributos de volumen que se van a utilizar.

Asignación de automóviles: asigna la velocidad de los automóviles al atributo ul1, crea matrices para almacenar los tiempos de viaje y ejecuta la asignación.
Asignación de transporte público: define las funciones flujos – demora para las líneas de transporte público. Inicializa y calcula la tarifa para cada línea. Guarda en us1 el tiempo obtenido en la asignación de automóviles. Posteriormente, define la especificación de la asignación de transporte público. Ejecuta la asignación y finalmente calcula los volúmenes totales.

6.5. Script de asignación de transporte de carga

La asignación de transporte de carga se basa en la ejecución de seis scripts, los cuales realizan procesos complementarios. Dentro de estos se tienen:

modelo PIT.py
comercio_internacional.py
comercio_nacional.py
suma_comex.py
suma_domes.py
vacios_totales.py

6.5.1. Script “modelo PIT.py”

Es el script principal de la asignación del modelo de carga en el cual se define la herramienta que va a realizar todos los procesos de asignación en el software de modelación EMME. Entre sus tareas principales, se incluye la generación de una interfaz de usuario que permite definir variables clave como el año de modelación, el segmento de carga, el escenario de oferta y el escenario de proyección de la demanda. Además, este script es responsable de invocar los otros cinco scripts asociados a la asignación de carga, según las selecciones realizadas en la interfaz. Por ejemplo, si se selecciona un segmento cuya codificación termina en “co”, se ejecuta automáticamente el script **comercio_internacional.py**, que gestiona las asignaciones de carga de comercio internacional. De manera similar, si los segmentos seleccionados tienen las terminaciones “do”, “ma”, “as” o “to”, se activarán los scripts **comercio_nacional.py**, **suma_comex.py**, **suma_domes.py** y **vacíos_totales.py**, respectivamente.

Por otra parte, este script contiene la definición de funciones que utilizan herramientas de Modeller de EMME para ejecutar diversos procesos, como cálculo de matrices, cálculo de atributos de red, carga de archivos externos y asignaciones. Estas funciones son utilizadas en los demás scripts a medida que se van desarrollando los procesos.

6.5.2. Script “comercio_internacional.py”

Este script se encarga de la asignación de carga y camiones relacionados con la demanda de comercio internacional. Se estructura en dos partes principales: la primera corresponde a la parametrización, y la segunda a la ejecución de los procesos de asignación.

6.5.2.1. Parametrización

Corresponde a la definición de los insumos que se van a requerir en el desarrollo de la asignación. En esta sección se define elementos como:

Código de matrices de comercio internacional para cada segmento de carga
Código de matrices de participación vehicular por segmento de carga
Código de matrices de ocupación vehicular por segmento de carga
Camión dominante de cada segmento
Factor de flete carretero para cada segmento

Factor de flete fluvial para cada segmento
Factor de flete férreo para cada segmento y tramo
Codificación de zonas portuarias
Nodos de inicio y fin que arcos que representan cada zona portuaria
Código de matrices de factores de ajuste de fletes carreteros para cada zona portuaria
Segmentos movilizados por cada zona portuaria discriminados por importación y exportación
Coeficientes de la función de utilidad para cada zona portuaria y segmentos de carga discriminados por importación y exportación
Modos de acceso a zona portuaria por segmento de carga
Valor de incertidumbre para cada zona portuaria por segmentos de carga
Código de matrices de constante en zona portuaria utilizadas en la calibración
Código de matrices de utilidad para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de exponente de utilidad para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de costos para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de tiempos para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de longitud para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de transferencias para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de reparto modal para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de probabilidad para cada zona portuaria y modo
Código de matrices de demanda cautiva de segmentos de carga de comercio internacional
Código de matrices de tiempos de demanda cautivade segmentos de carga de comercio internacional
Código de matrices de costos de demanda cautiva de segmentos de carga de comercio internacional
Código de matrices de longitud de demanda cautiva de segmentos de carga de comercio internacional
Filtros de tipologías de arcos para el cálculo de costos de operación vehicular
Expresión del costo vehicular para cada tipología de camión y arco

6.5.2.2. Ejecución de procesos

Esta sección se encarga de la preparación y ejecución de los procesos de asignación de carga y camiones para el comercio exterior. A continuación, se describen los procesos que se llevan a cabo en esta etapa:

Actualización de matrices: elimina las matrices de demanda no cautiva y cautiva, participación y ocupación vehicular y constante de zona portuaria del segmento seleccionado. Luego, actualiza las matrices mediante la carga de archivos en formato de texto (txt) con los valores correspondientes.
Preparación de componentes de red: inicializa los atributos @ul1 y @ul2 que corresponde a velocidades o tiempos y costos. Asimismo, inicializa atributos de volumen que se usarán en las asignaciones.

Carretero: carga la velocidad del camión dominante del segmento seleccionado y el valor del peaje correspondiente. Calcula los costos de operación vehicular del camión dominante y copia los valores de velocidad en el atributo @ul1 y los costos en el atributo @ul2. Además, define los valores de flete por tonelada-kilómetro para los arcos carreteros.
Fluvial: carga la velocidad fluvial y define los valores de flete fluvial para cada río y segmento. También carga los tiempos y tarifas en puerto fluvial. Finalmente, copia las velocidades o tiempos y costos en los atributos @ul1 y @ul2.
Férreo: Establece la velocidad férrea y el flete correspondiente para cada tramo y segmento. Carga los tiempos y tarifas en estación férrea y copia las velocidades o tiempos y costos en los atributos @ul1 y @ul2.
Ductos: define la velocidad de los poliductos y oleoductos directamente en el atributo @ul1, y carga los valores de flete de ductos, que se copian en @ul2.
Zonas portuarias: carga los valores de tiempo y flete en zona portuaria para cada segmento y los copia en los atributos @ul1 y @ul2.
Rutas marítimas: carga el tiempo de cargue y descargue de cada segmento en zona portuaria, así como el tiempo y el flete en ruta marítima. Luego, copia estos valores en los atributos @ul1 y @ul2.
Funciones: carga las funciones flujo-demora correspondientes a cada segmento y año de modelación.
Inicialización de matrices: inicializa matrices que se utilizan en los procesos de cálculo de reparto modal.
Filtro: Identifica los modos que tienen conexión a cada zona portuaria y define listas que se utilizarán para colocar las matrices en los cálculos de utilidad y reparto modal.
Utilidades: identifica los modos de acceso a cada zona portuaria y verifica los modos habilitados para cada segmento, así como los segmentos que se movilizan a través de cada zona portuaria para exportación e importación. Una vez completada esta verificación, se calcula la utilidad para los modos carretero, férreo y fluvial utilizados por cada segmento de carga para acceder a cada zona portuaria habilitada.

Carretera: calcula las utilidades para cada par OD internacional utilizando únicamente el modo carretero para acceder a las zonas portuarias activas para el segmento de carga.

Comienza eliminando todos los modos de los arcos de la red y asignando el modo “c” a los arcos de tipología carretera, así como a los conectores y arcos que conectan la carretera con las zonas portuarias. Luego, identifica si para el segmento evaluado están habilitadas importaciones o exportaciones colocando el modo “c” cuando corresponda. Finalmente, asigna el modo “c” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Tras habilitar los arcos para el modo “c”, se establecen los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como valores de el1 y el2 de las funciones flujos – demora. Luego se realiza una primera asignación de la matriz de demanda en la red.

Se inicia el proceso de obtención de los elementos necesarios para calcular la utilidad. Primero, se calcula el tiempo de viaje carretero para cada arco dividiendo la longitud del arco por la velocidad contenida en el atributo @ul1. Luego, se realizan asignaciones para acumular tiempos y fletes carreteros en la ruta óptima entre cada par OD. La matriz de flete obtenida se multiplica por la matriz de factores de flete de la zona portuaria correspondiente, generando así la matriz de flete ajustado. Posteriormente, se llevan a cabo asignaciones para acumular tiempo, fletes, transferencias y longitud de cada par OD en la zona portuaria y segmento correspondientes. Una vez obtenidos estos resultados, se suman las matrices resultantes de tiempos y costos para calcular el tiempo y los costos totales para cada par OD.

Por último, se calcula la utilidad carretera, comenzando con los pares OD de exportación y luego añadiendo los pares OD de importación. Además, se incluyen los códigos de las matrices utilizadas en el proceso dentro de las listas correspondientes.

Fluvial: es un proceso que se encuentra contenido dentro de la sección de utilidades y que se encarga de calcular las utilidades para cada par OD internacional utilizando el modo fluvial para acceder a las zonas portuarias activas para el segmento de carga.

Comienza eliminando todos los modos de los arcos de la red y asignando el modo “f” a los arcos de tipología fluvial, así como a los conectores, puertos fluviales, ríos y a los arcos que conectan los ríos con las zonas portuarias. Posteriormente, verifica si para el segmento evaluado están habilitadas importaciones o exportaciones, asignando el modo “f” cuando corresponda. Finalmente, asigna el modo “f” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a ríos y puertos fluviales, con esto se busca hacer más atractivos los arcos fluviales frente a los arcos carreteros.

Después de habilitar los arcos para el modo “f”, establecen los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como valores de el1 y el2 de las funciones flujos – demora. Luego realiza una primera asignación de la matriz de demanda en la red.

Inicia el proceso de obtención de los elementos necesarios para calcular la utilidad. Primero, calcula el tiempo de viaje fluvial para cada arco dividiendo la longitud del arco por la velocidad fluvial contenida en el atributo @velflu. Luego, realiza asignaciones para acumular tiempos y fletes en los tramos fluviales de la ruta óptima entre cada par OD. La matriz de flete obtenida se multiplica por la matriz de factores de flete de la zona portuaria correspondiente, generando así la matriz de flete ajustado. Posteriormente, lleva a cabo asignaciones para acumular tiempo y flete

fluvial, tarifas y tiempos en puerto fluvial, así como tiempos y costos en zona portuaria, tiempo de cargue y descargue en zona portuaria, tiempo y flete en ruta marítima, transferencias y longitud de cada par OD para la zona portuaria y segmento correspondientes. Una vez obtenidos estos resultados, suma las matrices resultantes de tiempos y costos para calcular el tiempo y los costos totales para cada par OD.

Finalmente, calcula la utilidad fluvial, comenzando con los pares OD de exportación y luego añadiendo los pares OD de importación. Además, incluye códigos de las matrices utilizadas en el proceso dentro de las listas correspondientes.

Férreo: es un proceso que se encuentra contenido dentro de utilidades y que se encarga de calcular las utilidades para cada par OD internacional utilizando el modo férreo para acceder a las zonas activas para el segmento de carga.

Elimina todos los modos de los arcos de la red. Asigna el modo “t” a los arcos de tipología carretera, conectores, estaciones férreas, tramos férreos y a los arcos que conectan los tramos férreos con las zonas portuarias. Identifica si para el segmento evaluado están habilitadas importaciones o exportaciones, y coloca el modo “t” cuando corresponda. Por último, asigna el modo “t” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo férreo se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a tramos y estaciones del modo férreo, con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos frente a los arcos carreteros.

Después de habilitar los arcos para el modo “t”, establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 de las funciones de flujo-demora. Lleva a cabo una primera asignación de la matriz de demanda en la red.
Posteriormente, Inicia el proceso de obtención de los elementos necesarios para calcular la utilidad. Primero, calcula el tiempo de viaje férreo para cada arco dividiendo la longitud del arco por la velocidad férrea contenida en el atributo @velferr. Luego, realiza asignaciones para acumular tiempos y fletes en los tramos carreteros de la ruta óptima entre cada par OD. Multiplica la matriz de flete obtenida por la matriz de factores de flete de la zona portuaria correspondiente, generando así la matriz de flete ajustado. Realiza asignaciones para acumular tiempo y flete férreo, tarifas y tiempos en estación férrea, tiempo y costo en zona portuaria, tiempo de cargue y descargue en zona portuaria, tiempo y flete en ruta marítima, transferencias y longitud de cada par OD para la zona portuaria y segmento correspondientes. Suma las matrices resultantes de tiempos y costos para calcular el tiempo y los costos totales para cada par OD.

Finalmente, calcula la utilidad férrea iniciando con los pares OD de exportación y luego agregando los pares OD de importación. Adicionalmente, agrega los códigos de las matrices utilizadas en el proceso dentro de las listas correspondientes.

Probabilidades: calcula la probabilidad de elección para cada alternativa; entendiendo como alternativa la combinación de modo y zona portuaria. Utiliza un modelo de elección tipo Logit.
Reparto modal: multiplica la matriz de demanda del segmento evaluado por cada matriz de probabilidad para obtener los valores de demanda para cada alternativa
Tratamiento de matrices cautivas: calcula los tiempos y costos totales de las matrices de demanda cautiva. Para cada matriz se dispone de un bloque de código que realiza el proceso de manera similar a los procesos descritos en el numeral de utilidades.
Definición de matrices de camiones: establece el código de las matrices que contendrán el número de camiones para cada modo y zona portuaria, tanto para matrices de demanda cautiva como no cautiva.
Estimación del número de camiones: calcula el número de camiones para cada alternativa de acuerdo con las matrices de ocupación y participación para cada segmento. Realiza este cálculo para la demanda no cautiva y para la demanda cautiva cuando corresponda.
Definición de atributos de carga y camiones: Establece los atributos que se utilizarán en las asignaciones de carga y camiones para guardar los valores de volumen, tanto para la demanda cautiva como no cautiva. Adicionalmente, define listas para almacenar los atributos utilizados en los procesos de asignación de carga y camiones.
Asignación de carga y camiones: asigna las matrices de carga y camiones resultantes de los procesos anteriores para cada alternativa. Además, identifica los modos de acceso a cada zona portuaria, verifica los modos habilitados para cada segmento y determina qué segmentos se movilizan por cada zona portuaria, tanto para exportación como para importación.

Carretera: es un proceso que se encuentra contenido dentro de asignación de carga y camiones que se encarga de realizar asignaciones de carga y camiones para cada par OD internacional utilizando solamente el modo carretero.

Elimina todos los modos de los arcos de la red. Asigna el modo “c” a los arcos de tipología carretera, conectores y a los arcos que conectan la carretera con las zonas portuarias. Luego, verifica si para el segmento evaluado están habilitadas las importaciones o exportaciones y coloca el modo “c” cuando corresponda. Finalmente, asigna el modo “c” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento y copia los valores en el atributo @ul1. Luego, calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante y carga las tarifas de los peajes correspondientes. Suma el

valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia este valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora del segmento y año de modelación. Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal, guardando los volúmenes en los atributos definidos previamente.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza un proceso idéntico para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M) que consiste en los siguientes pasos:

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje.
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, pasando como parámetro de la asignación el atributo de suma de costos y el valor subjetivo del tiempo correspondiente a cada tipología. Guarda los volúmenes de asignación obtenidos en los atributos de volumen previamente definidos.

Fluvial: es un proceso que se encuentra contenido dentro de asignación de carga y camiones que se encarga de realizar asignaciones de carga y camiones para cada par OD internacional utilizando el modo fluvial.

Elimina todos los modos de los arcos de la red. Asigna el modo “f” a los arcos de tipología carretera, conectores, puertos fluviales, ríos y a los arcos que conectan los ríos con las zonas portuarias. Luego, verifica si para el segmento evaluado están habilitadas las importaciones o exportaciones y coloca el modo “f” cuando corresponda. Finalmente, asigna el modo “f” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a ríos y puertos fluviales, con esto se busca hacer más atractivos los arcos fluviales frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento para los arcos carreteros y copia los valores en el atributo @ul1. Luego, calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante y carga las tarifas de los peajes correspondientes. Suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia este valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora del segmento y año de modelación. Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal, guardando los volúmenes en los atributos definidos previamente.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza un proceso idéntico para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M) que consiste en los siguientes pasos:

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje.
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, pasando como parámetro de la asignación el atributo de suma de costos y el valor subjetivo del tiempo correspondiente a cada tipología. Guarda los volúmenes de asignación obtenidos en los atributos de volumen previamente definidos.

Férreo: es un proceso que se encuentra contenido dentro de asignación de carga y camiones que se encarga de realizar asignaciones de carga y camiones para cada par OD internacional utilizando el modo férreo.

Inicia eliminando todos los modos de los arcos de la red, luego asigna el modo “t” a los arcos de tipología carretera, conectores, estaciones y tramos férreos y a los arcos que sirven de conexión de los tramos férreos con las zonas portuarias. Posteriormente, identifica si para el segmento evaluado están habilitadas importaciones o exportaciones colocando el modo “t” cuando corresponda. Por último, asigna el modo “t” a los arcos correspondientes a rutas marítimas.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo férreo se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a tramos y estaciones férreas, con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento para los arcos carreteros y copia los valores en el atributo @ul1. Luego, calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante y carga las tarifas de los peajes correspondientes. Suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia este valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora del segmento y año de modelación. Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2.

Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal, guardando los volúmenes en los atributos definidos previamente.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza un proceso idéntico para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M) que consiste en los siguientes pasos:

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje.
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, pasando como parámetro de la asignación el atributo de suma de costos y el valor subjetivo del tiempo correspondiente a cada tipología. Guarda los volúmenes de asignación obtenidos en los atributos de volumen previamente definidos.

Asignación de camiones y carga para demanda cautiva: realiza la asignación de matrices de carga y camiones de demanda cautiva de los modos fluvial, férreo y ductos. El proceso es similar al descrito en sección de asignación de carga y camiones, con la única diferencia que se habilita para cada modo la red que utiliza la demanda cautiva, por ejemplo, para la asignación de contenedores no refrigerados por la zona portuaria de Turbo se habilitan los conectores, arcos carreteros, puertos fluviales, conexión fluvial a la zona portuaria y, finalmente, solo habilita los arcos fluviales correspondientes al río León.
Inicialización de atributos de carga y camiones: inicializa los atributos de volúmenes de carga y de camiones para el segmento evaluado.
Acumulación de volúmenes de carga y camiones: suma los atributos de volumen de carga y camiones utilizados durante las asignaciones para obtener el total de carga y camiones asignados para el segmento evaluado.
Eliminación de camiones: elimina los volúmenes de camiones de aquellos arcos que no sean de tipología carretera.

6.5.3. Script “comercio nacional.py”

Corresponde al script que se encarga de realizar la asignación de carga y camiones de la demanda de comercio nacional . Este script está divido en dos partes principales las cuales corresponden a la parametrización y a la ejecución de los procesos de asignación.

6.5.3.1. Parametrización

En esta sección se definen elementos como:

Código de matrices de comercio nacional para cada segmento de carga doméstica
Código de matrices de participación vehicular por segmento de carga doméstica
Código de matrices de ocupación vehicular por segmento de carga doméstica

Camión dominante de cada segmento de carga doméstica
Factor de flete carretero para cada segmento de carga doméstica
Factor de flete fluvial para cada segmento de carga doméstica
Factor de flete férreo para cada segmento de carga doméstica y tramo férreo
Coeficientes de la función de utilidad para cada segmento de carga doméstica
Valor de incertidumbre del modo carretero
Código de matrices de utilidad para cada modo
Código de matrices de exponente de utilidad para modo
Código de matrices de costos para cada modo
Código de matrices de tiempos para cada modo
Código de matrices de longitud para cada modo
Código de matrices de transferencias para modo
Código de matrices de reparto modal para cada modo
Código de matrices de probabilidad para cada modo
Código de matrices de incertidumbre para cada modo
Filtros de tipologías de arcos para el cálculo de costos de operación vehicular
Expresión del costo vehicular para cada tipología de camión y arco
Activación de modos para cada segmento de carga doméstica
Activación de tramos férreo para cada segmento de carga doméstica
Activación de ríos para cada segmento de carga doméstica

6.5.3.2. Ejecución de procesos

Esta sección se encarga de la preparación y ejecución de los procesos de asignación de carga y de camiones de demanda de carga doméstica. A continuación, se describen los procesos que se realizan en esta:

Actualización de matrices: elimina las matrices de demanda de carga doméstica, participación y ocupación vehiculares del segmento seleccionado. Luego, actualiza estas matrices mediante la carga de archivos en formato de texto (txt) con los correspondientes valores de cada matriz.
Preparación de componentes de red: inicializa los atributos @ul1 y @ul2, que corresponden a velocidades o tiempos y costos. También inicializa los atributos de volumen que se utilizarán en las asignaciones.
Carretero: carga la velocidad y la tarifa del peaje del camión dominante del segmento seleccionado, calcula los costos de operación vehicular del camión dominante para el segmento seleccionado, copia en el atributo @ul1 los valores de velocidad y en el atributo @ul2 los valores del costo. Luego, define los valores de flete del camión dominante por tonelada kilometro para los arcos carreteros.
Fluvial: carga la velocidad fluvial y define los valores de flete fluvial para cada río. Carga los valores de tiempo y tarifa en puerto fluvial para cada segmento. Finalmente, copia las velocidades o tiempos en el atributo @ul1 y los costos en el atributo @ul2.
Férreo: define la velocidad y flete para cada tramo férreo y segmento. Luego, carga el tiempo y tarifa en estación férrea para cada segmento. Por último, copia las velocidades o tiempos en el atributo @ul1 y los costos en el atributo @ul2.

Funciones: carga las funciones flujo-demora correspondientes a cada segmento y año de modelación.
Inicialización de matrices: inicializa matrices que se utilizan en los procesos de cálculo de reparto modal y crea listas que contendrán las matrices utilizadas en el reparto modal
Cálculo de utilidades: calcula las utilidades para los modos carretero, fluvial, férreo e intermodal de cada segmento de carga doméstica.

Carretera: elimina los modos en todas las tipologías de arcos, habilita los arcos carreteros y conectores. Establece los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2. Realiza asignaciones para obtener tiempos, fletes, transferencias, valores de incertidumbre y longitudes para la ruta óptima de cada par OD; ajusta el flete multiplicando el valor del flete obtenido por la matriz de factores de ajuste de flete.

Por último, toma los valores de tiempo, flete ajustado, transferencia y valores de incertidumbre para calcular la utilidad del modo carretero, y adiciona las matrices utilizadas en el proceso en las listas.

Fluvial: elimina primero los modos en todas las tipologías de arcos y luego habilita los arcos carreteros, conectores, puertos fluviales y ríos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a ríos y puertos fluviales, con esto se busca hacer más atractivos los arcos fluviales frente a los arcos carreteros.

Posteriormente establece los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2. Asigna la matriz demanda del segmento evaluado.

Después, establece los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2, y asigna la matriz de demanda del segmento evaluado. Después, calcula el tiempo para cada río y realiza las asignaciones para obtener los tiempos y fletes del modo carretero. Ajusta la matriz de flete carretero y realiza nuevas asignaciones para obtener el tiempo y tarifas en los puertos fluviales, así como los tiempos y fletes fluviales, número de transferencias, valores de incertidumbre y longitud.

Los valores obtenidos en la matriz de incertidumbre se comparan con el valor de incertidumbre carretera, generando una nueva matriz que contiene el máximo de la comparación.

Luego, suma las matrices de tiempos y costos totales. Finalmente, utiliza los valores de tiempo, flete ajustado, transferencia y valores de incertidumbre para calcular la utilidad del modo fluvial, y agrega las matrices generadas a las listas correspondientes.

Férreo: Inicia con la eliminación de los modos en todas las tipologías de arcos, luego habilita los arcos carreteros, conectores, estaciones y tramos férreos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo férreo se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a estaciones y tramos férreos, con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, establece los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2 y asigna la matriz de demanda del segmento evaluado. Luego, calcula el tiempo para cada tramo férreo y realiza las asignaciones para obtener tiempos y fletes del modo carretero. Ajusta la matriz de flete carretero y realiza nuevas asignaciones para obtener tiempos y tarifas en las estaciones férreas, así como los tiempos y fletes férreos, el número de transferencias, los valores de incertidumbre y la longitud.

Los valores obtenidos en la matriz de incertidumbre se comparan con los del modo carretero, generando una nueva matriz que contiene el valor máximo de esta comparación. Luego, suma las matrices de tiempos y costos totales. Finalmente, usa los valores de tiempo, flete ajustado, transferencias y valores de incertidumbre para calcular la utilidad del modo férreo y agrega las matrices generadas a las listas correspondientes.

Intermodal: corresponde a la habilitación de toda la oferta de transporte a nivel nacional que utiliza cada segmento, es decir, que se habilitan los arcos carreteros, fluviales y férreos al mismo tiempo.

Inicia con la eliminación de los modos en todas las tipologías de arcos, luego habilita los arcos carreteros, conectores, estaciones y tramos férreos, puertos fluviales y ríos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar los modos férreo y fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a estaciones y tramos férreos, puertos fluviales y ríos con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos y fluviales frente a los arcos carreteros.

Después de esto, establece los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2, y asigna la matriz de demanda del segmento evaluado. Luego, calcula el tiempo para los ríos y tramos férreos, realiza las asignaciones para obtener tiempos y fletes del modo carretero, ajusta la matriz de flete carretero y luego realiza nuevas asignaciones para obtener tiempos y tarifas en estaciones férreas, tiempos y fletes férreos, tiempos y tarifas en puertos fluviales, tiempos y fletes fluviales, número de transferencias, valores de incertidumbre y longitudes.

Los valores obtenidos en la matriz de incertidumbre se comparan con los del modo carretero, generando una nueva matriz que contiene el valor máximo entre ambos. Luego, suma las matrices de tiempos y costos totales obtenidos previamente. Finalmente, usa los valores de tiempo, flete ajustado, transferencias y valores de incertidumbre para calcular la utilidad del modo intermodal, y agrega las matrices generadas a las listas correspondientes.

Cálculo de probabilidades de elección: calcula la probabilidad de elección para cada modo utilizando un modelo de elección tipo Logit.
Reparto modal: multiplica la matriz de demanda del segmento evaluado por cada matriz de probabilidad obteniendo los valores de demanda para cada modo.
Cálculo del número de camiones diario: calcula el número de camiones requeridos para cada modo, utilizando las matrices de ocupación y participación vehicular correspondientes a cada segmento.
Asignación de carga y camiones asigna las matrices de carga y camiones resultantes de los procesos anteriores para cada modo de transporte. A continuación, se detallan los procedimientos específicos para cada uno de los modos considerados en la asignación de carga doméstica.
Carretera: realiza asignaciones de carga y camiones para cada par OD nacional utilizando solamente el modo carretero.

Inicia eliminando todos los modos de los arcos de la red, luego asigna el modo “c” a los arcos de tipología carretera y conectores. Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento y copia los valores en el atributo @ul1. Calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante del segmento y carga las tarifas de los peajes. Suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia este valor resultante en el atributo @ul2.

Carga las funciones flujo-demora del segmento y del año de modelación. Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal y guarda los volúmenes en los atributos correspondientes.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza el siguiente proceso para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M):

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje.
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo-demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, utilizando como parámetro el valor total de costos y el valor subjetivo del tiempo para cada tipología.

Guarda los volúmenes obtenidos en la asignación en los atributos de volumen correspondientes.

Fluvial: realiza asignaciones de carga y camiones para cada par OD nacional utilizando el modo fluvial. Inicia eliminando todos los modos de los arcos de la red y asigna el modo "f" a los arcos de tipología carretera, conectores, puertos fluviales y ríos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a ríos y puertos fluviales, con esto se busca hacer más atractivos los arcos fluviales frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento para los arcos carreteros y copia los valores en el atributo @ul1. Calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante del segmento y carga las tarifas de los peajes. Suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia este valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora del segmento y del año de modelación. Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal y guarda los volúmenes en los correspondientes atributos previamente definidos.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza el siguiente proceso para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M):

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje.
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, utilizando como parámetro el valor total de costos y el valor subjetivo del tiempo para cada tipología.
Guarda los volúmenes obtenidos en la asignación en los atributos de volumen correspondientes.

Férreo: realiza las asignaciones de carga y camiones para cada par OD de demanda nacional utilizando el modo férreo.
Elimina todos los modos de los arcos de la red y asigna el modo "t" a los arcos de tipología carretera, conectores, estaciones y tramos férreos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar el modo férreo se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a tramos y estaciones férreas, con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento para los arcos carreteros y copia los valores en el atributo @ul1. Luego, calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante del segmento y carga las tarifas de los peajes correspondientes. Suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia el valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora correspondientes al segmento y año de modelación, establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal, guardando los volúmenes en los atributos correspondientes previamente definidos.
Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones y realiza el siguiente proceso para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M):

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión .
Carga la tarifa de peaje del camión .
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje .
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, utilizando como parámetro el valor total de costos y el valor subjetivo del tiempo para cada tipología. Guarda los volúmenes obtenidos en la asignación en los atributos de volumen correspondientes.

Intermodal: realiza las asignaciones de carga y camiones para cada par OD de demanda nacional utilizando los modos carretero, férreo y fluvial.
Inicia eliminando todos los modos de los arcos de la red, luego asigna el modo “u” a los arcos de tipología carretera, conectores, estaciones y tramos férreos, puertos fluviales y ríos.

Para garantizar que el cálculo de tiempos y costos de viaje sea por utilizar los modos férreo y fluvial se realiza el cambio de los valores de los atributos @ul1 y @ul2 de los arcos correspondientes a tramos y estaciones férreas, puertos fluviales y ríos, con esto se busca hacer más atractivos los arcos férreos y fluviales frente a los arcos carreteros.

Posteriormente, carga la velocidad del camión dominante del segmento para los arcos carreteros y copia los valores en el atributo @ul1. Luego, calcula los costos de operación vehicular para el camión dominante del segmento, carga las tarifas de

peaje del camión dominante, suma el valor del peaje con los costos de operación vehicular y copia el valor resultante en el atributo @ul2.

Después, carga las funciones flujo-demora del segmento y año de modelación, establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los de el1 y el2. Realiza la asignación de la matriz de carga resultante del reparto modal, guardando los volúmenes en los atributos definidos previamente.

Una vez asignada la matriz de carga, actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza el siguiente proceso para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M):

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión .
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje .
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo- demora.
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, utilizando como parámetro el valor total de costos y el valor subjetivo del tiempo para cada tipología.
Guarda los volúmenes obtenidos en la asignación en los atributos de volumen correspondientes.

Inicialización de atributos de carga y camiones: inicializa los atributos de volúmenes de carga y de camiones para el segmento evaluado.
Acumulación de volúmenes de carga y camiones: suma los atributos de volumen de carga y camiones utilizados durante las asignaciones para obtener el total de carga y camiones asignados al segmento evaluado.
Eliminación de camiones: elimina los volúmenes de camiones de aquellos arcos que no sean de tipología carretera.

6.5.4. Script “suma_comex.py”

Suma los volúmenes de camiones por tipología (C2P, C2G, C34, C5 y C6M) resultantes de la asignación de cada segmento de comercio internacional.

6.5.5. Script “suma_domes.py”

Suma los volúmenes de camiones por tipología (C2P, C2G, C34, C5 y C6M) resultantes de la asignación de cada segmento de comercio nacional.

6.5.6. Script “vacios_totales.py”

El script se encarga de asignar las matrices de camiones vacíos y obtener el total global de camiones por cada tipología. Se divide en varias secciones:

Definición de parámetros de red: define el nombre de los atributos de camiones vacíos, el nombre de los atributos de volumen total y el nombre de los atributos que se sumarán para obtener el total.
Variables de asignación de la demanda de camiones vacíos : define el código de las matrices que contienen la demanda de camiones vacíos, establece el filtro de tipología de arco para el cálculo del costo de operación vehicular, y define la expresión para el cálculo del costo de operación vehicular para cada tipología de camión y arco.
Actualización de matrices: elimina las matrices de demanda de camiones vacíos y posteriormente las carga desde un archivo de texto en formato txt. Además, inicializa los atributos @ul1 y @ul2.
Asignación de camiones vacíos: realiza asignaciones de camiones vacíos para cada par OD nacional utilizando solamente el modo carretero.

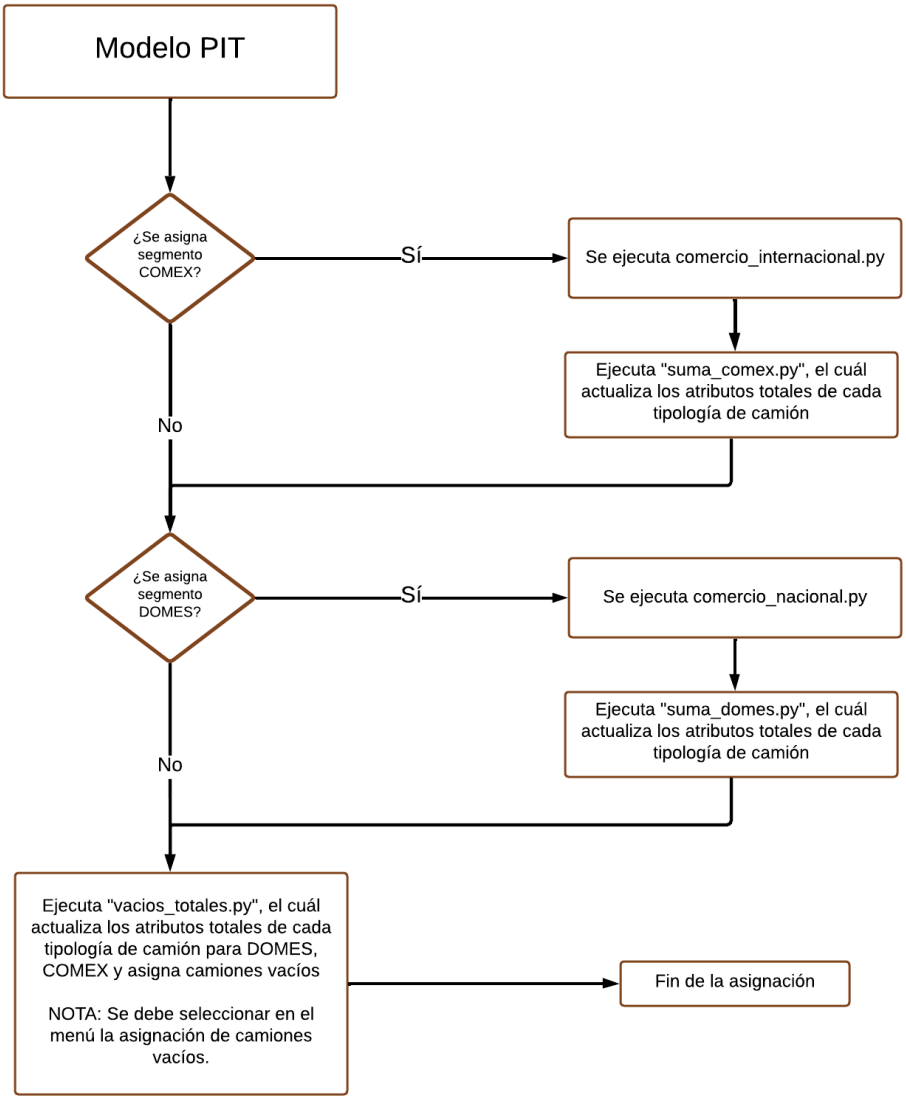
Inicia eliminando todos los modos de los arcos de la red, luego asigna el modo “c” a los arcos de tipología carretera y conectores. Posteriormente actualiza las funciones flujo-demora para la asignación de camiones. Realiza el siguiente proceso para cada tipología de camión (C2P, C2G, C34, C5 y C6M):

Carga la velocidad del camión y la copia en el atributo @ul1.
Calcula los costos de operación vehicular del camión.
Carga la tarifa de peaje del camión.
Suma los valores de costo de operación vehicular y tarifa de peaje .
Establece los valores de los atributos @ul1 y @ul2 como los valores de el1 y el2 en las funciones flujo-demora
Realiza la asignación de la matriz de cada tipología de camión, utilizando como parámetro de la asignación el atributo de suma de costos y el valor subjetivo del tiempo correspondiente a cada tipología. Guarda los volúmenes obtenidos en la asignación en los atributos de volumen correspondientes.

Estimación del volumen total de camiones por tipología: suma los atributos que contienen volúmenes de comercio internacional, comercio nacional y camiones vacíos para cada tipología de camión.

A continuación, se presenta la estructura del proceso general de carga, en el orden que se ejecuta y las situaciones que pueden tomar. En el menú del script, siempre ese necesario elegir algún segmento u opción para correr los subscripts que se mencionaron anteriormente:

Figura 71. Proceso general del script de carga para el modelo.



7. CALIBRACIÓN

7.1. Definición de indicadores de calibración del modelo de transporte

Para validar la calidad de la calibración de los modelos, se proponen dos indicadores que miden la diferencia entre los datos modelados y los observados. Estos indicadores son herramientas clave para asegurar la calibración y la consistencia de los resultados del modelo de transporte en el escenario base.

En primer lugar, se empleará la regresión lineal simple, un método ampliamente utilizado y reconocido para analizar correlación entre datos. En este caso, se utilizará para comparar la serie de datos observados con la serie de datos modelados, verificando el valor del

coeficiente de determinación (R^2) , que mide la proporción de la variabilidad en los datos observados que es explicada por el modelo. El segundo método es el análisis o indicador de Geoffrey E. Havers (GEH), aplicado específicamente a modelos vehiculares, ya que, según la base teórica, este procedimiento es pertinente para estos modelos.

El análisis de regresión lineal permite identificar la correlación entre una variable dependiente y variables independientes. Adicionalmente esta metodología tiene asociado una serie de procedimientos de diagnóstico que informan sobre la estabilidad e idoneidad de los resultados del modelo aplicado. Para el uso en verificación de calibración de modelo de transporte, se espera un ajuste entre los datos observados y los datos modelados donde se obtengan resultados de:

> Pendiente de la recta: en esta ocasión por tratarse de un ejercicio de correlación entre dos elementos que deberían ser lo más similares posibles, la pendiente debe ser lo más cercana posible a 1.
> Coeficiente de Determinación R2: Nuevamente, y por las mismas razones que la pendiente de la recta, la medida esperada para este coeficiente es un valor cercano a 1. Como punto mínimo se espera un valor de 0,9. , es decir una correlación del 90% entre datos observados y modelados, lo cual se entiende como un nivel de ajuste alto teniendo en cuenta la magnitud de puntos y segmentos.
> Punto de corte de eje: Dado que el análisis es un elemento clave para validar la calidad del modelo, el valor del intercepto en el eje vertical debería acercarse a cero (0), ya que el punto teórico de inicio de la recta en un modelo perfecto es el origen (0,0).

Adicionalmente, y como se mencionó anteriormente, para los modelos vehiculares se utilizará el análisis comparativo por tipología vehicular entre los volúmenes asignados por el modelo y los de cada punto de control, validándolo mediante el análisis de fiabilidad por medio del indicador GEH.

En primer lugar, es importante mencionarlas propiedades y utilidad que tiene el GEH como medida para valorar el ajuste de modelos de asignación. El GEH (siglas de su autor Geoffrey E. Havers) corresponde a una formula empírica que busca valorar las diferencias entre volúmenes de tráfico observados y volúmenes modelados. El GEH es una medida ampliamente utilizada, sin embargo, no corresponde a un estadístico al no estar asociado a una distribución de probabilidad con la cual implementar las pruebas de hipótesis requeridas para tener la denominación de estadístico.

El origen y aplicación del GEH ha estado vinculado a los modelos de tráfico vehicular, esto en gran medida por las magnitudes de volúmenes que en aforos en vías e intersecciones se logran obtener sobre vehículos y su consistencia con la formulación del GEH que se puede interpretar como una media geométrica de la desviación (Friedrich M, Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation). Algunos estudios han presentado una interpretación de que el GEH proviene de una distribución Poisson.

$$g_{GEH} = \sqrt{\frac{2 \cdot (m-c)^2}{m+c}}$$

Donde m representa los volúmenes modelados y c los volúmenes observados.

De acuerdo con Willumsen en su libro “Better Traffic and Revenue Forecasting”, el indicador de GEH no es adimensional (tiene unidades de $\sqrt{\text{Vehículos/hora}}$ que para este caso será $\sqrt{\text{Vehículos/día}}$). Es importante mencionar que este indicador permite validar altas diferencias porcentuales cuando los valores absolutos son bajos. Por ejemplo, si se tiene un volumen observado de 5 veh/h y un volumen modelado de 10 veh/h el GEH obtenido es de 1.82 aun cuando la diferencia porcentual es del 100%. En la medida que los valores absolutos aumentan el indicador castiga las diferencias a pesar de tener una menor diferencia porcentual. Por ejemplo, una diferencia porcentual del 10% para una magnitud de 2000 veh/h genera un GEH mayor a 4, de tal manera que este indicador será más exigente en la medida que se aplique a magnitudes mayores, por ejemplo, volúmenes diarios.

En el ámbito de estudios de tráfico y validación de modelos vehiculares, se han establecido valores límites o de tolerancia sugeridos del GEH para considerar que un modelo se encuentra ajustado. La definición precisa del número de puntos o pares de datos que deben cumplir dicho criterio varía entre países, pero en general se exige que entre un 60% a 85% de los volúmenes en puntos de control del modelo de tráfico tengan GEH máximo de valor 5. Incluso en estudios de líneas de pantalla o cordón se es más exigente y se plantea un valor máximo de 4. (Willumsen Luis, Better Traffic and Revenue Forecasting).

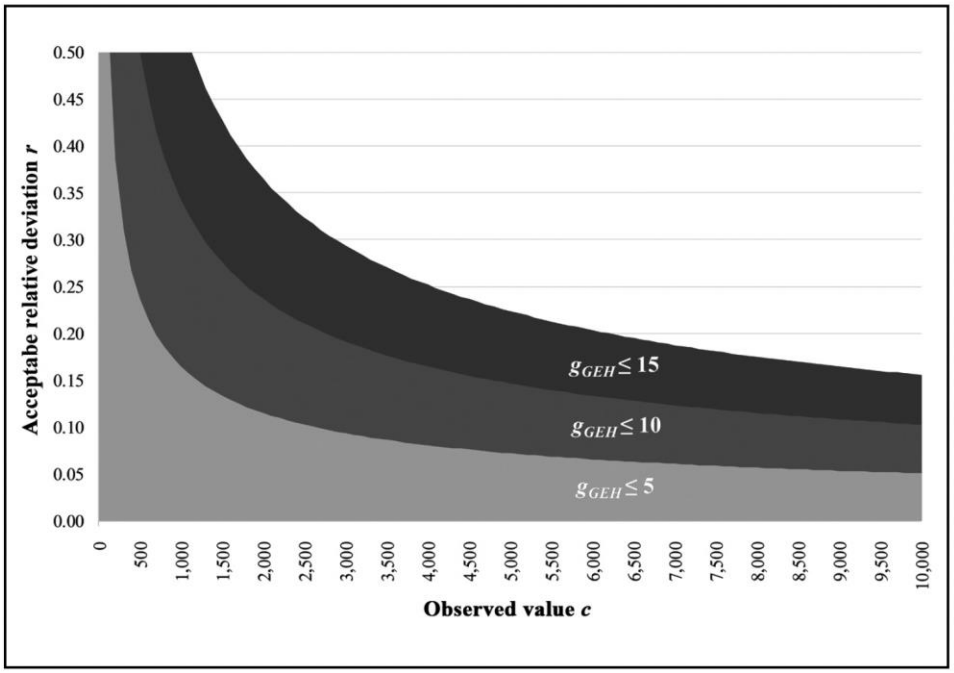
El indicador GEH como se ha indicado previamente fue formulado y definidos los límites de validación para estudios de tráfico. Sin embargo, dada su demostrada utilidad y la necesidad de disponer de medidas para valorar el ajuste de modelos de demanda su aplicación se ha ampliado a otros modelos y variables resultado sobre las cuales se pueda tener datos observados y modelados. Para su adecuada aplicación, diversos autores han presentado propuestas de ajustes o consideraciones que deberán tenerse en cuenta en especial para definir los valores de tolerancia que sean adecuados y coherentes con el tipo de variable y magnitud de lo que se encuentre en estudio. Lo anterior es importante dada la estructura de formulación del GEH y la condición de no linealidad que esta tiene.

Algunos autores como Markus Friedrich en su artículo Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation para la revista de Transport Research Board , abordan la propiedad de escalabilidad del GEH y proponen medidas alternativas de acuerdo con el tipo de variable o indicador que se quiera analizar y factores de ajuste.

Uno de los aspectos de mayor relevancia y clave para entender la determinación de los valores límite del GEH es su relación con la desviación que se está dispuesto a aceptar en los modelos. La Figura siguiente presenta un esquema de esto donde se relaciona

magnitudes de flujos, los niveles de desviación zonas cubiertas por valores de GEH de niveles 5, 10 y 15.

Figura 72. Desviación relativa aceptable según flujos observados para GEH



Fuente: Paper Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled single Values in a Travel Demand Model Validation

Para el modelo de carga que se encuentra en proceso de actualización en el proyecto, se establecerán como puntos de control para verificar indicadores de calibración los volúmenes vehiculares por tipología en los peajes.:

Los valores límites a considerar como GEH para establecer que el modelo se encuentra calibrado serán los siguientes:

Tabla 101. Valores GEH esperados para modelo calibrado

GEH	Porcentaje de puntos a cumplir (pasajeros)	Porcentaje de puntos a cumplir (vehículos)
GEH <= 5	60%	85%
GEH <= 10	85%	90%
GEH <= 12	100%	100%

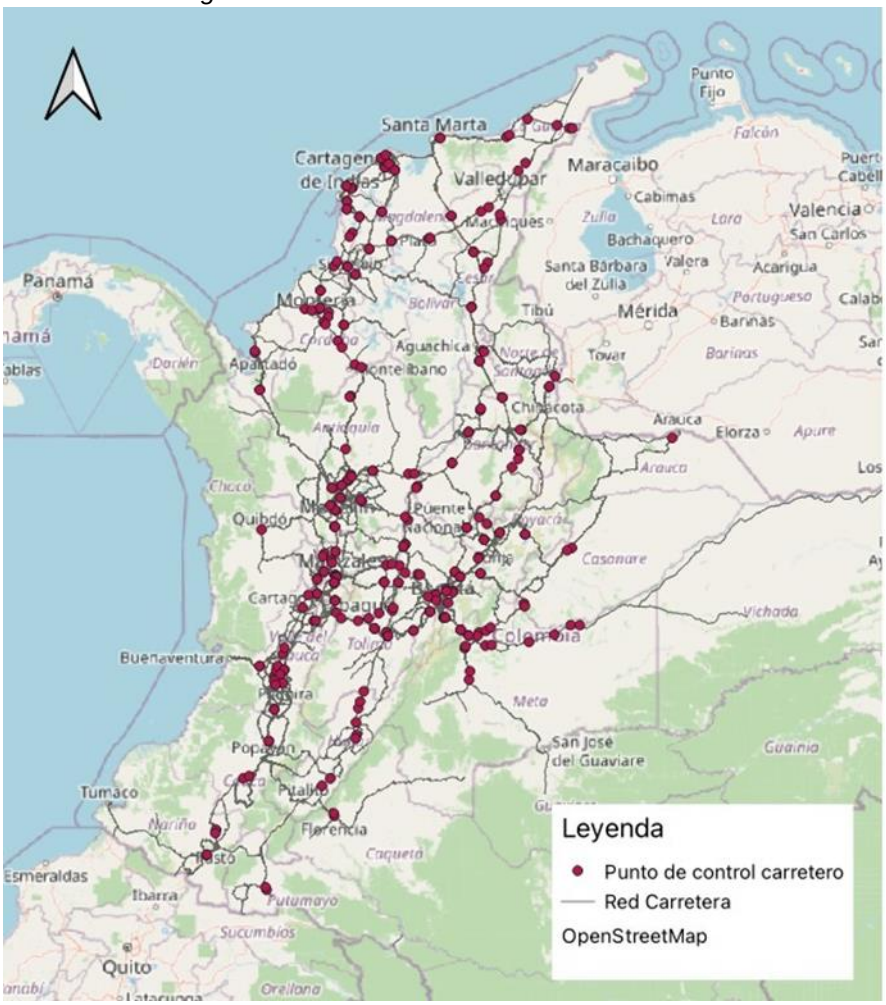
Fuente: Elaboración propia con base en información secundaria

En complemento a lo anteriormente descrito, se realizarán validaciones de longitudes, tiempos y costos de los viajes que son asignados en el modelo respecto a datos conocidos. Al no disponer de datos de campo que aporten esta información de manera directa, se hará uso de los datos obtenidos a partir de consultas generadas en el Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC.

7.2. Calibración de vehículos privados

La calibración para los automóviles se realizó en función de los volúmenes de campo obtenidos de 269 estaciones de peajes y 14 estaciones de aforo vehicular. En la figura se muestra la distribución de los puntos de calibración.

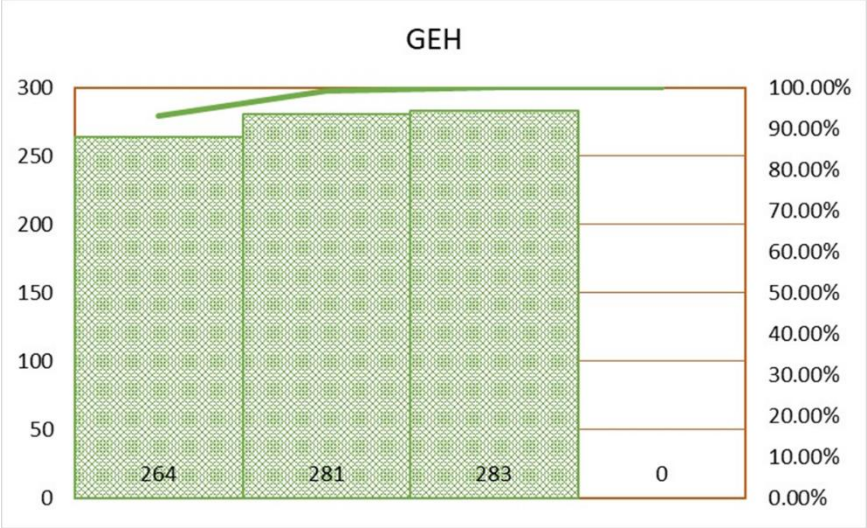
Figura 73. Arcos con volúmenes de calibración autos



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente figura se muestra los indicadores de calibración para la asignación de vehículos privados, donde se puede observar que el 100% de los datos tienen un GEH menor a 12, el 99.29% son menores de 10 y el 93.29% son menores a 5.

Figura 74. Indicador de GEH para vehículo privado

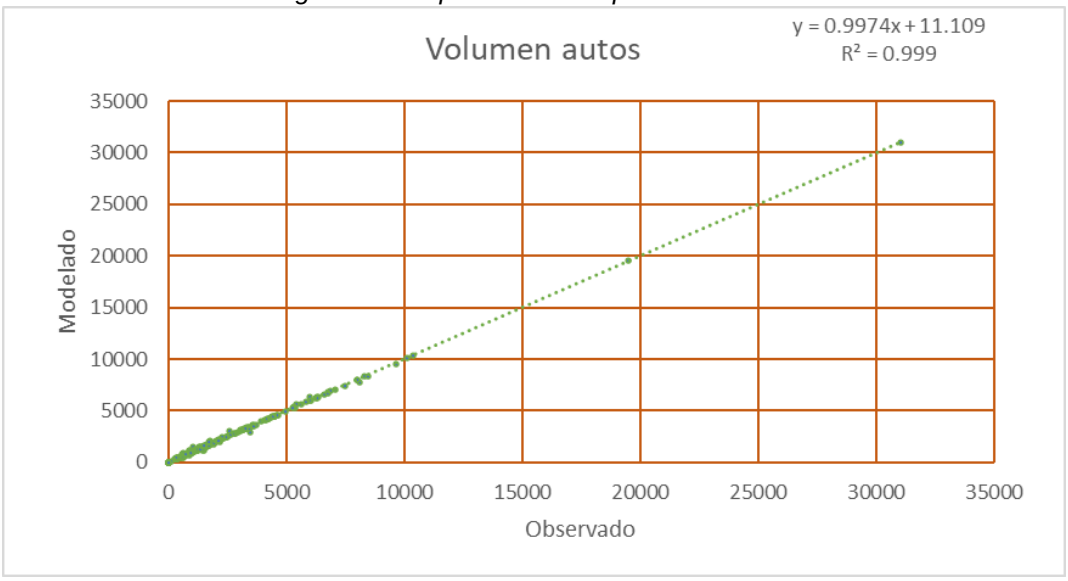


GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	264	93.29%
<10	281	99.29%
<12	283	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el diagrama de dispersión de los puntos de control donde se puede observar que el valor del coeficiente de determinación es de 0.999, es decir, que los volúmenes modelados se ajustan a los datos observados en campo.

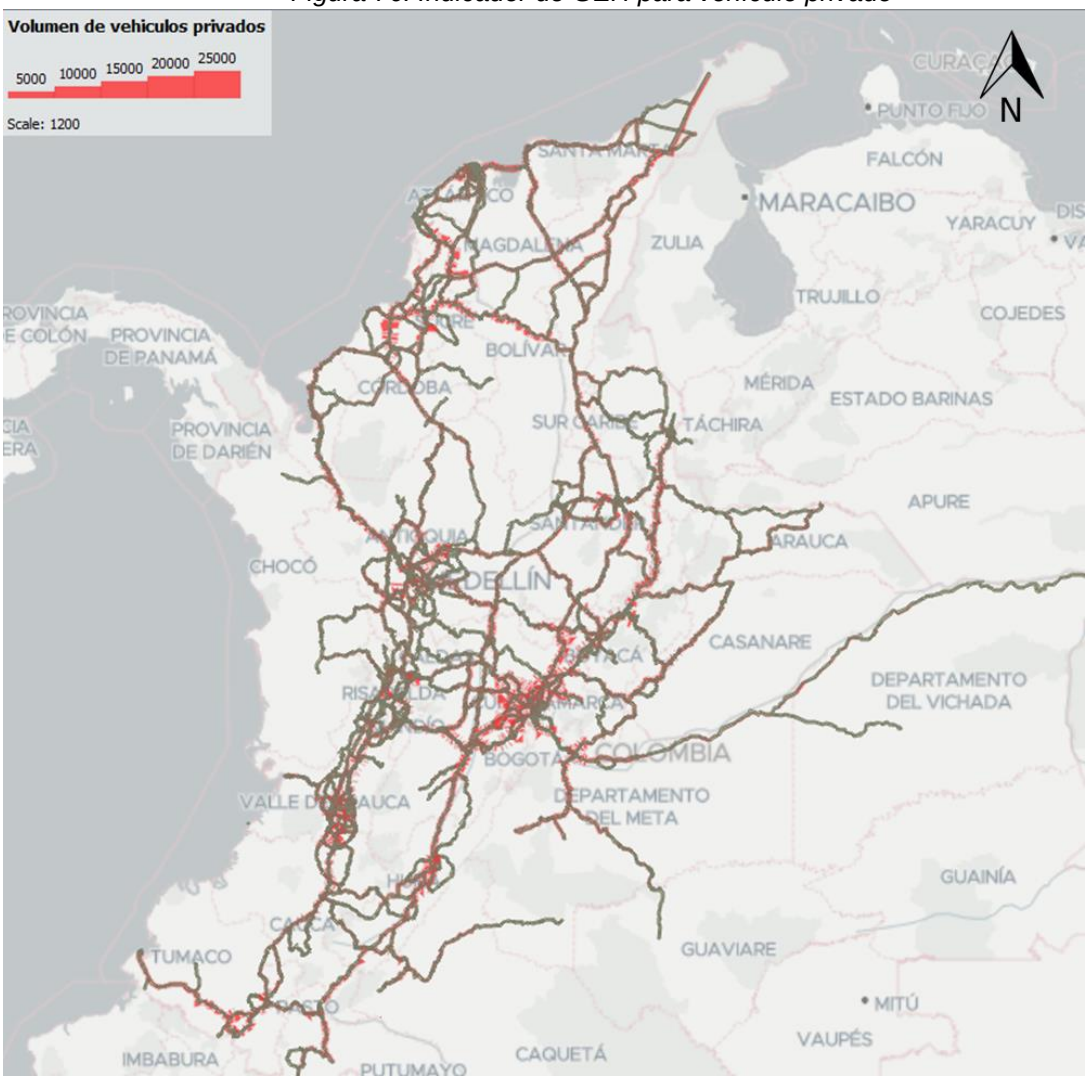
Figura 75. Dispersión en los puntos de control autos



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la asignación de los vehículos privados.

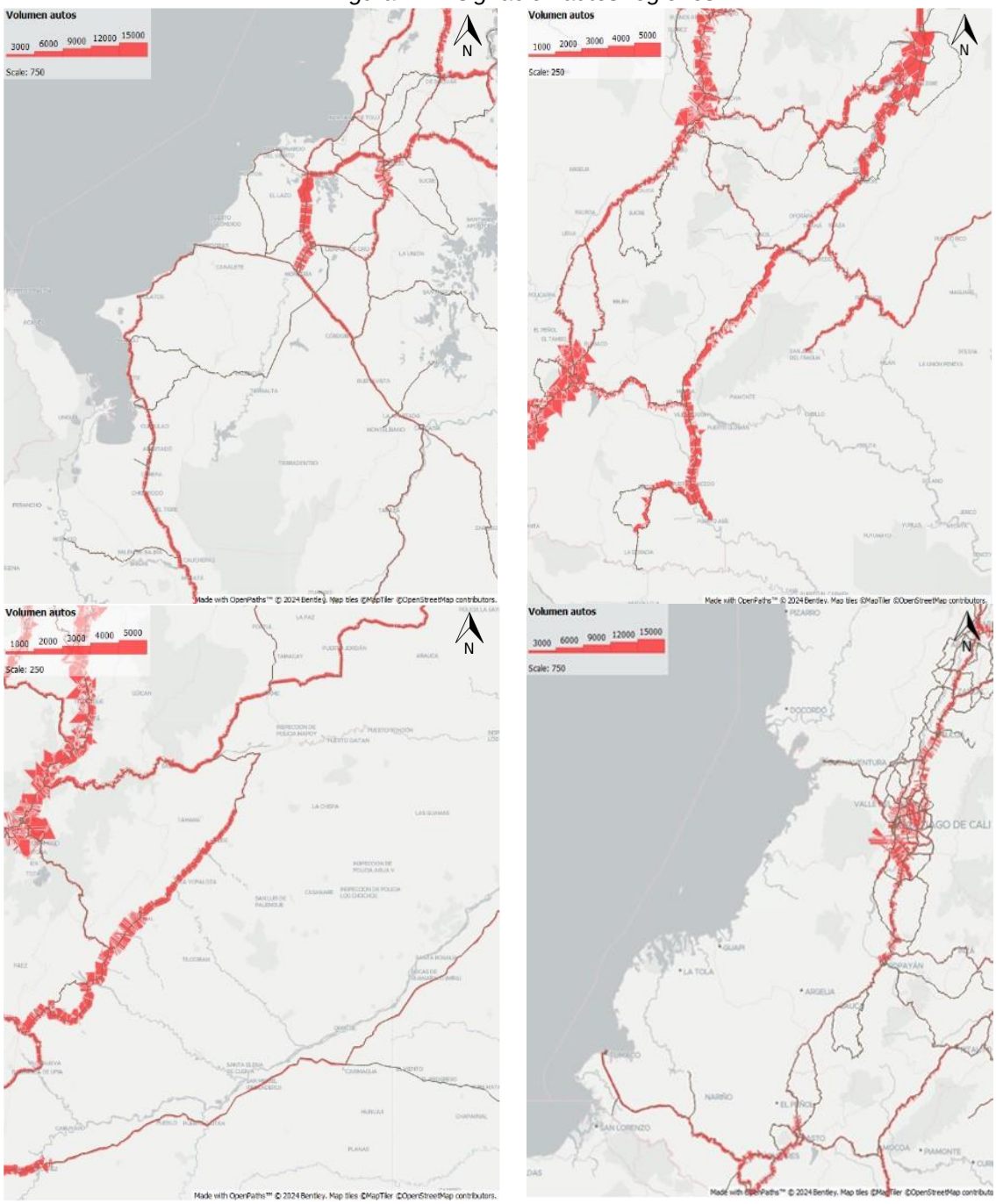
Figura 76. Indicador de GEH para vehículo privado



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se presenta la asignación de transporte privado en las zonas del golfo de Urabá (esquina superior izquierda), Putumayo y Caquetá (esquina superior derecha), región de la Orinoquia (esquina inferior Izquierda) y región pacífica (esquina inferior derecha)

Figura 77. Asignación autos regiones ZPP

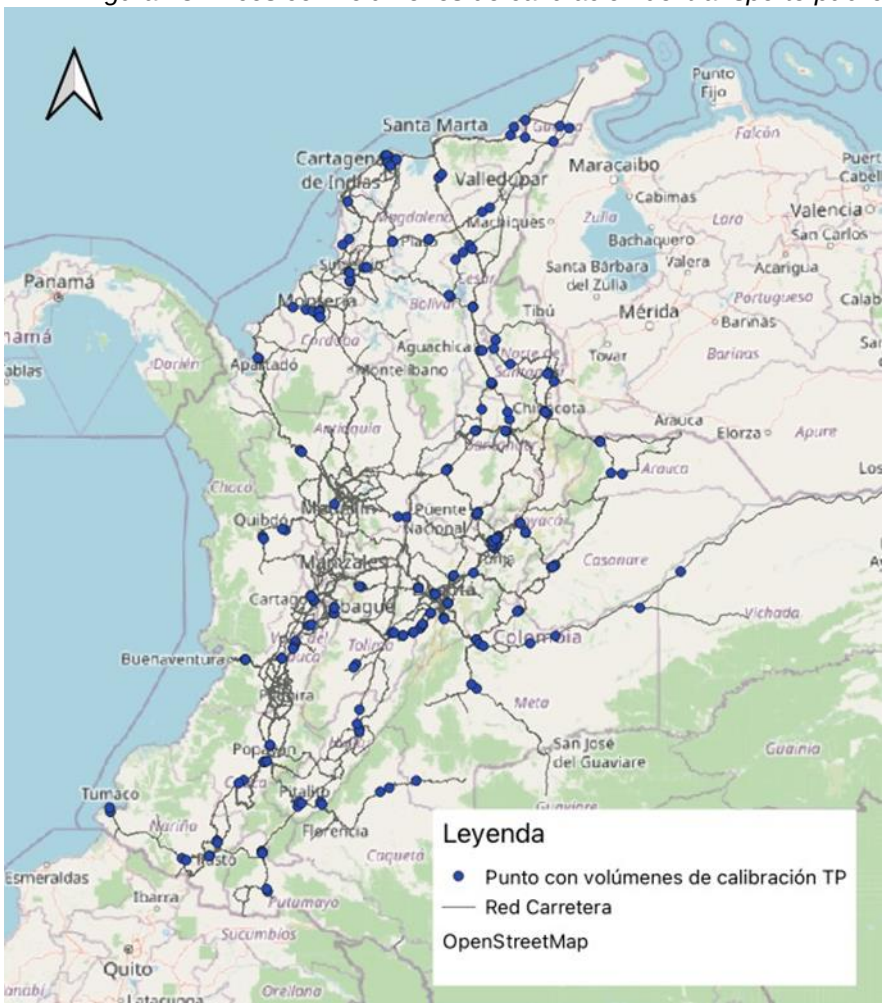


Se presentan a una menor escala el transporte privado en zonas ZPP de interés, en donde rondan entre los 10,000 a 15,000 automóviles diarios en corredores de carga máxima pertenecientes a la zona.

7.3. Calibración de transporte público carretero

El modelo de pasajeros en transporte público carretero fue calibrado a partir de 203 puntos información de los estudios de frecuencia y ocupación visual (FOV), que se realizaron como parte de la campaña de toma de información primaria. A continuación, se muestran los puntos de control.

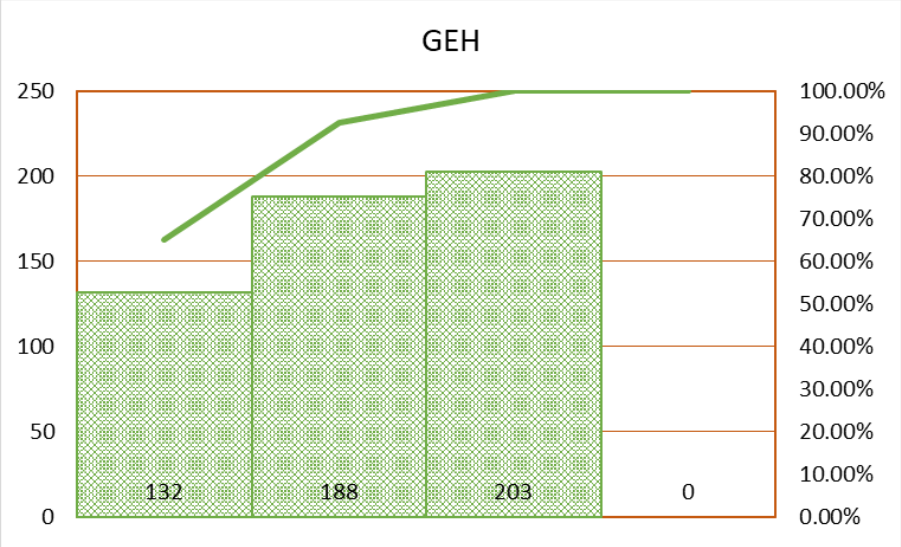
Figura 78. Arcos con volúmenes de calibración del transporte público



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada

En la siguiente figura se muestra los valores obtenidos para el indicador de GEH para la calibración de transporte público, así mismo se presenta el diagrama de dispersión de los volúmenes. Respecto al indicador de GEH se puede observar que el 100% de los datos son menores a 12, el 92.62% son menores a 10 y el 65.02 % menor a 5.

Figura 79. Indicador de GEH para transporte público carretero

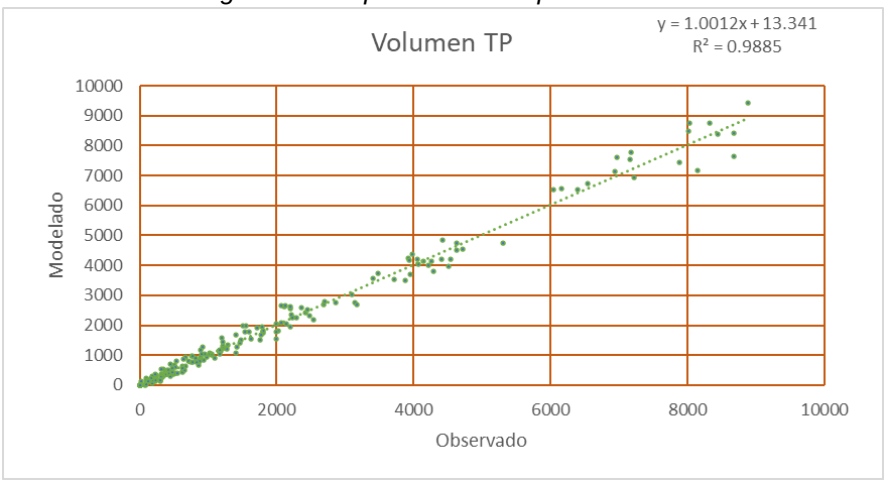


GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	132	65.02%
<10	188	92.61%
<12	203	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se puede observar la dispersión de los puntos de control para el transporte público, donde se obtuvo un coeficiente de determinación cercano a 1, lo cual indica que los volúmenes modelados se ajustan a los volúmenes observados.

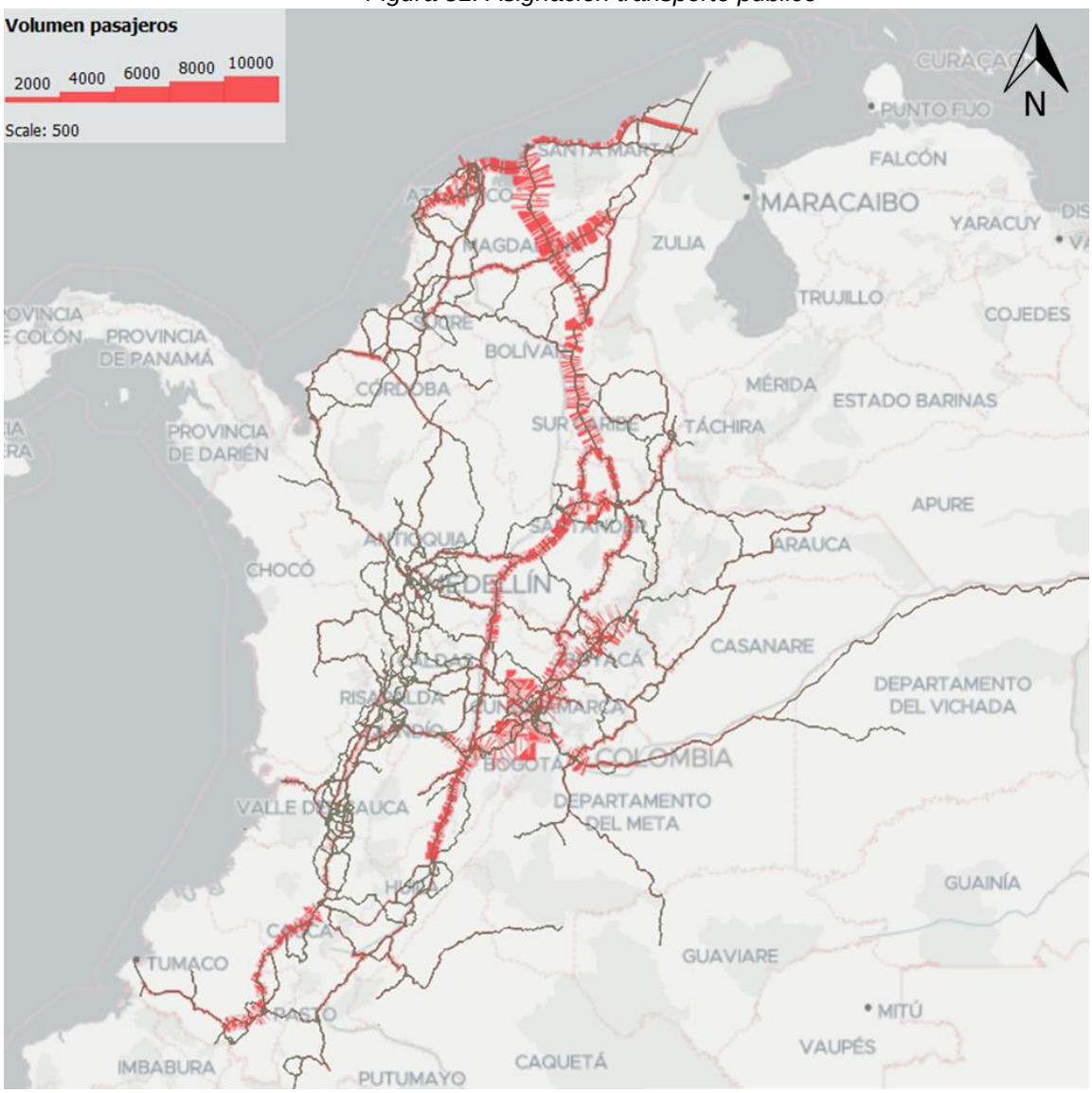
Figura 80. Dispersión en los puntos de control TP



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la asignación de pasajeros en el transporte público.

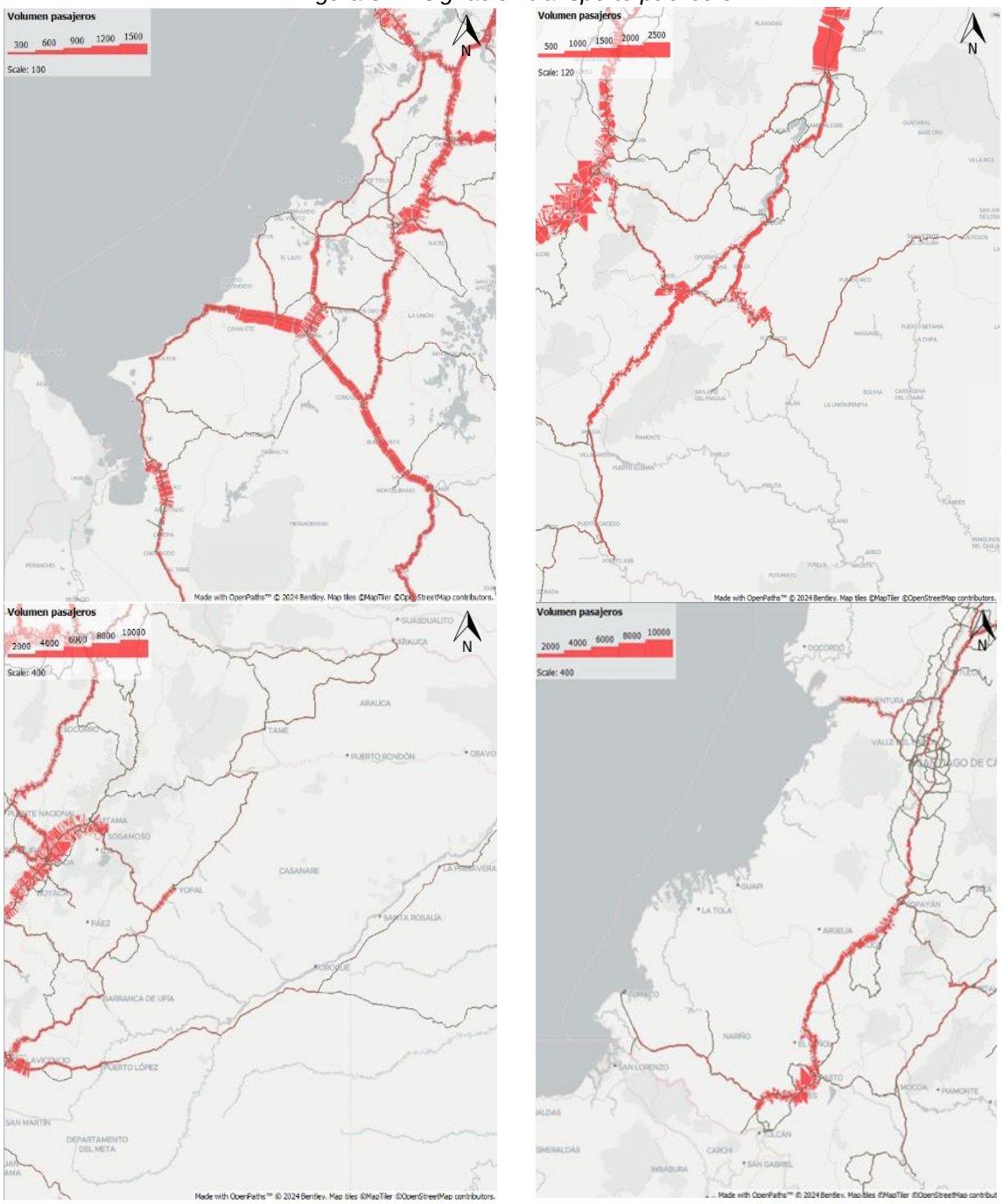
Figura 81. Asignación transporte público



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se aprecia en mayor detalle la asignación de transporte público en regiones de ZPP. Dentro de estas se encuentra el golfo de Urabá (esquina superior izquierda), Putumayo y Caquetá (esquina superior derecha), región de la Orinoquia (esquina inferior izquierda) y región Pacífica (esquina inferior derecha).

Figura 82. Asignación transporte público en ZPP



Fuente: Elaboración propia

Se presentan a una menor escala los pasajeros diarios en zonas ZPP de interés, en donde rondan entre los 500 a 1,500 pasajeros diarios en corredores de carga máxima. Se aprecia la influencia de las rutas de transporte terrestre para la conectividad de estas zonas a otras partes más centrales del país.

7.4. Validación de la asignación

Como parte del proceso de validación de la asignación y de velocidades, se compara los tiempos de asignación por las rutas elegidas por los vehículos privados frente a los tiempos que reporta la herramienta de Google Traffic para 2022. Se toma como temporalidad un día típico de 2022 y una comparación directa de la ruta entre los reportado por Google Traffic y la herramienta de modelación Emme. Esta comparación se realizó para los pares Montería – Neiva, Medellín – Pasto y Valledupar – Quibdó, esto debido a que corresponden a pares con una distancia considerable, lo que permite validar un número importante de arcos en modelo, así mismo corresponde a pares con origen y destino en puntos estratégicos de la red

Al realizar la comparación de los tiempos obtenidos de la herramienta de Google Traffic se puede observar que para el par Montería – Neiva los tiempos reportados en ambas herramientas son muy similares, en la siguiente figura se presenta la comparación

Figura 83. Comparación tiempos de viaje Montería – Neiva





Tiempo: 14 a 17 horas	Tiempo: 16.6 horas

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que la comparación se basó en una medida obtenida de Google Traffic durante un día típico de 2022. Por este motivo, los tiempos reportados por la herramienta presentan ciertos rangos de variabilidad. Los tiempos calculados en el modelo presentan una similitud con los tiempos reportados por Google Traffic. En el modelo, se

utiliza el tiempo correspondiente a la ruta de menor costo para el usuario, que es el factor determinante en la elección de la ruta.

En la siguiente figura se realiza la comparación para el par Medellín – Pasto, donde se observa que el tiempo estimado en la herramienta de modelación se encuentra dentro del rango estimado por la herramienta de Google traffic.

Figura 84. Comparación tiempos de viaje Medellín - Pasto



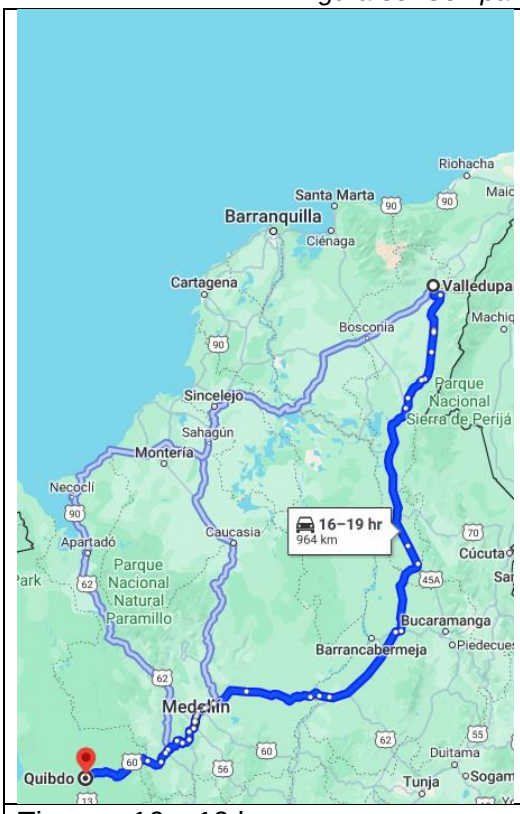


Tiempo: 13.33 a 17 horas	Tiempo: 13.14 horas

Fuente: Elaboración propia

Por último, se muestra la comparación para el par Valledupar – Quibdó, en la siguiente figura se observa una concordancia de la ruta más corta estimada por la herramienta de Google Traffic con la ruta modelada, así mismo los tiempos en ambas fuentes son muy similares, siendo la primera en un rango de 16 a 19 horas, y la segunda de 18.56 horas.

Figura 85. Comparación tiempos de viaje Medellín - Pasto



Tiempo: 16 a 19 horas



Tiempo: 18.56 horas

Fuente: Elaboración propia

Adicional a los anteriores casos se realizó una validación para 40 pares orígenes y destino que tiene alguna relación ya sea de origen o destino en una ZPP. Enseguida se ilustra la validación efectuada para la calibración del modelo de transporte en términos de tiempos de viaje.

Tabla 102. Validación de tiempos de viaje

Origen	Destino	Tiempo observado mínimo (h)	Tiempo modelado (h)	Diferencia %
Yopal	Bogotá	7.64	8.58	12.3%
Bogotá	Yopal	8.005	8.72	8.9%
Arauca	Bucaramanga	19.2	23.1	20.3%
Bucaramanga	Arauca	18.37	20.2	10.0%
Puerto Asís	Florencia	8.075	8.08	0.1%
Florencia	Puerto Asís	7.85	8.22	4.7%
Florencia	Medellín	17	18.62	9.5%

Origen	Destino	Tiempo observado mínimo (h)	Tiempo modelado (h)	Diferencia %
Medellín	Florencia	16.9	18.97	12.2%
Popayán	Cali	3.95	4.83	22.3%
Cali	Popayán	4.2	4.7	11.9%
Popayán	Bogotá	12.05	12.95	7.5%
Bogotá	Popayán	12.25	13.44	9.7%
Popayán	Medellín	10.45	12.48	19.4%
Medellín	Popayán	10.5	12.2	16.2%
Quibdó	Medellín	7.8	8.25	5.8%
Medellín	Quibdó	7.85	8.38	6.8%
Quibdó	Turbo	13.2	12.49	-5.4%
Turbo	Quibdó	13.9	12.32	-11.4%
Montería	Cartagena	4.75	4.95	4.2%
Cartagena	Montería	4.6	4.91	6.7%
Montería	Barranquilla	6.7	6.21	-7.3%
Barranquilla	Montería	6.45	6.03	-6.5%
Neiva	Medellín	10	9.4	-6.0%
Medellín	Neiva	9.65	9.47	-1.9%
Neiva	Cali	9.2	10.61	15.3%
Cali	Neiva	8.85	10.51	18.8%
Neiva	Bogotá	6.6	7.49	13.5%
Bogotá	Neiva	6.95	6.87	-1.2%
Villavicencio	Bogotá	3.5	2.97	-15.1%
Bogotá	Villavicencio	3.45	2.9	-15.9%
Tumaco	Pasto	5.75	6.69	16.3%
Pasto	Tumaco	5.75	6.79	18.1%

Origen	Destino	Tiempo observado mínimo (h)	Tiempo modelado (h)	Diferencia %
Tumaco	Cali	14.25	16.28	14.2%
Cali	Tumaco	15	16.29	8.6%
Mocoa	Pasto	5.5	5.54	0.7%
Pasto	Mocoa	5.5	5.55	0.9%
Mocoa	Cali	10.55	12.39	17.4%
Cali	Mocoa	10.8	12.96	20.0%
Sincelejo	Cartagena	3.85	4.34	12.7%
Cartagena	Sincelejo	3.5	4.34	24.0%
Tumaco	Florencia	17.3	17	-1.7%
Tumaco	Bogotá	25.1	25.23	0.5%
Tumaco	Medellín	24.9	24.81	-0.4%
Tumaco	Armenia	19.83	19.64	-1.0%
Tumaco	Neiva	20.5	20.12	-1.9%
Tumaco	Mocoa	12.1	11.78	-2.6%
Pasto	Neiva	13.54	13.72	1.3%
Pasto	Popayán	6.03	5.94	-1.5%
Pasto	Bogotá	19.32	18.75	-3.0%
Pasto	Villavicencio	20.43	20.13	-1.5%
Pasto	Pereira	14.21	13.69	-3.7%
Pasto	Montería	26.83	27.15	1.2%
Pasto	Honda	18.56	18.48	-0.4%
Montería	Sincelejo	2.89	3.01	4.2%
Montería	Bosconia	7.3	7.69	5.3%
Montería	Valledupar	10.3	10.17	-1.3%
Montería	Santa Marta	10.12	10.82	6.9%

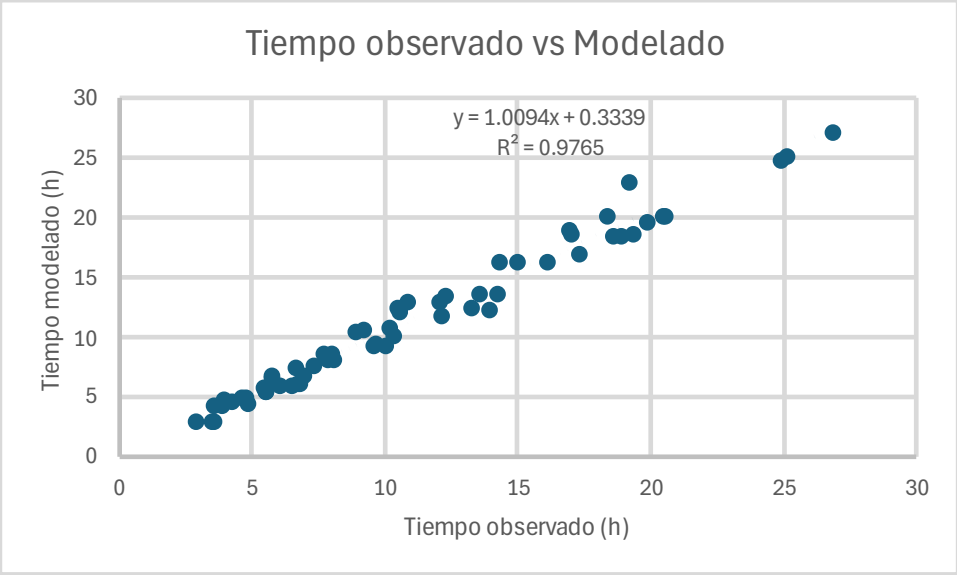
Origen	Destino	Tiempo observado mínimo (h)	Tiempo modelado (h)	Diferencia %
Montería	Medellín	9.57	9.29	-2.9%
Montería	Turbo	5.4	5.81	7.6%
Montería	Bogotá	18.9	18.54	-1.9%
Montería	Bucaramanga	16.12	16.4	1.7%
Cúcuta	Aguachica	6.8	6.09	-10.4%
Cúcuta	Bucaramanga	4.8	4.45	-7.3%
Cúcuta	Bosconia	10.82	10.52	-2.8%
Cúcuta	Santa Marta	14.32	14.03	-2.0%
Cúcuta	Cartagena	16.5	16.54	0.2%
Cúcuta	Tunja	11.3	10.86	-3.9%
Cúcuta	Bogotá	13.99	14.25	1.9%
Cúcuta	Medellín	13.5	13.47	-0.2%
Puerto Carreño	Villavicencio	25.1	25.7	2.4%
Villavicencio	Tunja	6.9	6.68	-3.2%
Villavicencio	Girardot	6.54	6.11	-6.6%
Villavicencio	Neiva	9.98	10.11	1.3%
Villavicencio	Chía	4.3	4.24	-1.4%
Florencia	Popayán	8.92	9.02	1.1%
Florencia	Tumaco	17.9	17.7	-1.1%
Florencia	Ipiales	14.2	13.28	-6.5%
Florencia	Neiva	5.98	5.68	-5.0%
Florencia	Bogotá	12.5	12.14	-2.9%
Florencia	Ibagué	10.23	10.77	5.3%
Florencia	Puerto Boyacá	15.9	15.7	-1.3%
Sincelejo	Santa Marta	7.98	8.34	4.5%

Origen	Destino	Tiempo observado mínimo (h)	Tiempo modelado (h)	Diferencia %
Sincelejo	Valledupar	8.34	7.66	-8.2%
Sincelejo	Medellín	10.67	10.75	0.7%
Sincelejo	Riohacha	11.92	12.81	7.5%
Sincelejo	Montería	3.41	3.02	-11.4%
Sincelejo	Bogotá	20.34	19.98	-1.8%
Yopal	Sogamoso	4.21	3.95	-6.2%
Yopal	Tunja	5.67	5.38	-5.1%
Yopal	Bucaramanga	12.9	12.72	-1.4%
Yopal	Villavicencio	7.01	6.88	-1.9%
Yopal	Medellín	17.7	17.67	-0.2%
Yopal	Barrancabermeja	14.47	14.79	2.2%
Mocoa	Puerto Asís	2.87	2.47	-13.9%
Mocoa	Florencia	6.01	5.98	-0.5%
Popayán	Florencia	8.34	8.44	1.2%
Popayán	Buenaventura	7.32	7.75	5.9%
Popayán	Manizales	8.56	8.88	3.7%

Fuente: Elaboración propia

Se efectuó la validación para la totalidad de las ZPP, a partir de un comparativo entre los tiempos observados versus los modelados para una selección de los principales pares Origen - Destino en las zonas de estudio. Los tiempos observados se obtuvieron a partir de la herramienta tecnológica de Google Traffic y naturalmente los observados a partir del modelo de transporte.

Figura 86. Dispersión de tiempos de viaje



Fuente: Elaboración propia

Se presenta una muestra de 98 mediciones a través de la herramienta de EMME “shortest path” tomando en cuenta el atributo de tiempo de viaje para presentar los datos modelados.

Para concluir este capítulo de validación de velocidades en el escenario base de calibración 2022, se aprecia en la figura 85 una dispersión centrada y con un valor de R cuadrado cercano a 1. Es importante comentar que los datos de tiempos de viajes modelados no se presentan exactos frente a los datos observados; la velocidad observada en la red carretera (atributo directo para el cálculo del tiempo modelado) se extrae y se ajusta gracias a la base de datos de Google Traffic en los corredores principales del país para mantener una consistencia de tiempo entre diferentes pares orígenes destinos, es decir, se ajusta para poder satisfacer entre rangos aceptables, no solo 1, si no varias mediciones de tiempos entre diferentes pares orígenes destinos que hagan uso de los corredores carreteros. Por lo cual vemos más aceptable usar la dispersión y estadísticos como el R cuadrado más que la diferencia porcentual, evidenciamos diferencias porcentuales altas en rangos de tiempos bajos, entre 2 a 3 horas, lo cual no hace tener diferencias marginales de entre 10 a 30 minutos en los trayectos entre zonas.

7.5. Calibración de transporte de carga

La calibración del transporte de carga se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en calibrar los segmentos de carga de comercio exterior en las zonas portuarias, mientras que la segunda se enfocó en la calibración de los volúmenes de camiones en peajes y puntos de aforo. Es importante destacar que la segunda etapa dependió de los resultados obtenidos en la primera, específicamente en el proceso de conversión de matrices de carga a volúmenes de camiones. A continuación, se describen en detalle los procesos correspondientes a cada una de las etapas.

7.5.1. Calibración de segmentos de carga de comercio exterior

Para la calibración de los segmentos de carga internacional, se utilizaron los volúmenes de control de carga de importación y exportación en las diez zonas portuarias modeladas. la obtención de estos volúmenes se detalla en el capítulo 4.4 matrices de carga de comercio exterior (comex) en el subtítulo 4.4.8 obtención de volúmenes de control. Estos volúmenes, clasificados por segmento de carga, solo se registran en las zonas portuarias donde se ha identificado movimiento de dicho segmento.

El proceso de calibración consistió en distribuir los volúmenes de cada par origen-destino (OD) de un segmento entre las zonas portuarias con volúmenes registrados. Inicialmente, se realizaron asignaciones para estimar el volumen de carga en cada zona portuaria, empleando un modelo de utilidad basado en los datos recolectados mediante encuestas de preferencias declaradas. Luego, se compararon los volúmenes modelados con los volúmenes de control para verificar su precisión.

Los resultados de esta verificación arrojaron coeficientes de determinación (r^2) de hasta 0.75, un valor cercano a 1 pero que no alcanza el rango aceptable. Además, al revisar la distribución de cada par OD, se detectaron discrepancias entre las proporciones de carga modelada y las proporciones observadas. Por ejemplo, para las importaciones de contenedores no refrigerados (CNR) en el par América Central e Islas del Caribe - Bogotá, las proporciones obtenidas presentaron diferencias respecto a las proporciones registradas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 103. Proporciones modeladas y observadas de cnr desde América Central a Bogotá

Alternativas	Importaciones (ton)	Proporción	Prob.modelo
Barranquilla Carretero	9,664.14	2.5%	0.1%
Buenaventura Carretero	307,071.95	79.6%	90.1%
Cartagena Carretero	57,428.28	14.9%	0.2%
Santa Marta Carretero	10,581.79	2.7%	1.7%
Santa Marta Férreo	682.97	0.2%	7.4%
Turbo carretero	509.21	0.1%	0.5%

Fuente: Elaboración propia

Para reducir las diferencias entre las proporciones modeladas y observadas, se estimaron constantes de utilidad para las combinaciones de modo y zona portuaria que representaban aquellas variables no capturadas por el modelo de preferencias declaradas (PD), pero que influyen en la elección de ruta. Estas constantes fueron calculadas minimizando el error asociado a cada par origen-destino (OD), bajo las restricciones de las probabilidades observadas y la suma total de la carga movilizada por cada alternativa en las zonas portuarias con registros de volumen.

Es importante destacar que la estimación de estas constantes solo se llevó a cabo para los pares de demanda no cautiva. Así, para el ejemplo anterior, las constantes estimadas y las proporciones modeladas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 104. Constantes estimadas y proporciones modeladas de cnr desde América Central a Bogotá

Alternativas	Importaciones (ton)	Proporción	Constante ASC	Prob.modelo
Barranquilla Carretero	9,664.14	2.5%	0.000	2.5%
Buenaventura Carretero	307,071.95	79.6%	-3.671	79.6%
Cartagena Carretero	57,428.28	14.9%	1.036	14.9%
Santa Marta Carretero	10,581.79	2.7%	-3.085	2.7%
Santa Marta Férreo	682.97	0.2%	-7.285	0.2%
Turbo carretero	509.21	0.1%	-4.944	0.1%

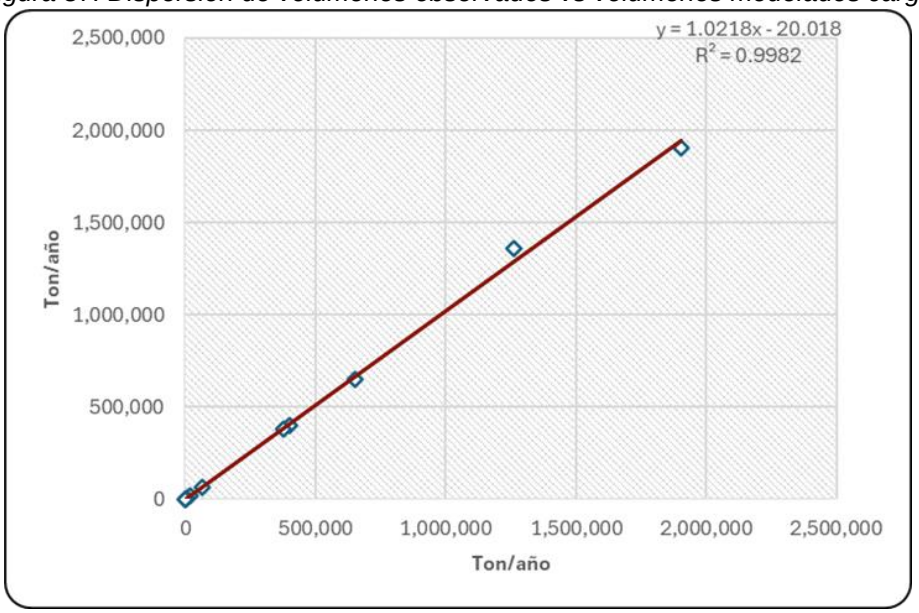
Fuente: Elaboración propia

De manera similar, se llevó a cabo un procedimiento iterativo entre las asignaciones y la estimación de constantes para lograr el mejor ajuste en cada uno de los segmentos de demanda. En las siguientes tablas y figuras se presentan los ajustes obtenidos para cada uno de segmentos de carga para cada zona portuaria, así como para los modos férreo o fluvial, cuando corresponda. Dentro de estos análisis se presenta el gráfico de dispersión donde se puede apreciar la correlación de los datos modelados con respecto a los observados, así como el resultado del coeficiente de determinación (r^2). Por otra parte, en las tablas se relaciona la información de zona portuaria, alternativa, movimiento (exportación o importación), volumen observado, volumen modelado, participación observada y participación modelada. En los segmentos donde se tienen las alternativas fluvial y férreo se presenta el gráfico de asignación de las cargas por estos modos.

A continuación, se presenta el gráfico de dispersión para el segmento de carga general de comercio exterior.

Segmento carga general

Figura 87. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carga general



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de carga general se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9982 lo cual indica que el 99.82% de los valores modelados se ajustan con los valores observados. Por parte, se obtuvo una pendiente de 1.0218 valor cercano a 1, es decir, que existe una correlación entre el volumen modelado y el observado. En la siguiente tabla se muestra se relaciona el volumen modelado y observado por zona portuaria, así como la participación.

Tabla 105. Información de calibración para carga general

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Buenaventura	Carretera	Expo	2,250	2,520	0.46%	0.51%	-0.05%
Turbo	Carretera	Expo	399,879	399,879	81.46%	81.42%	0.04%
Cartagena	Carretera	Expo	66,371	66,371	13.52%	13.51%	0.01%
Barranquilla	Carretera	Expo	17,398	17,398	3.54%	3.54%	0.00%
Santamarta	Carretera	Expo	4,978	4,978	1.01%	1.01%	0.00%
Santamarta	Carretera	Impo	378,182	378,091	9.01%	8.79%	0.22%
Barranquilla	Carretera	Impo	1,261,475	1,361,486	30.05%	31.66%	-1.62%
Buenaventura	Carretera	Impo	1,905,780	1,907,708	45.40%	44.37%	1.03%
Tolú	Carretera	Impo	484	484	0.01%	0.01%	0.00%
Cartagena	Carretera	Impo	652,110	651,986	15.53%	15.16%	0.37%

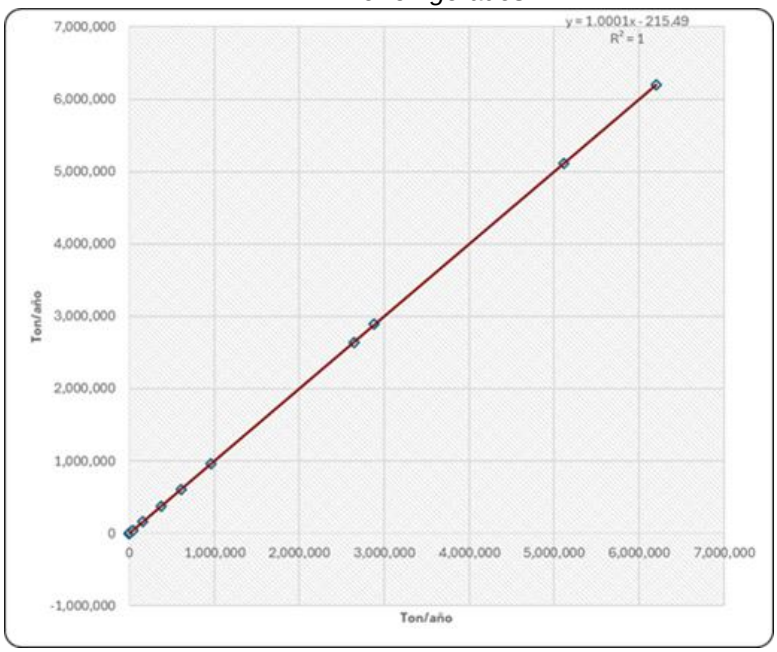
Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la participación por zona portuaria se identifican valores similares entre lo observado y lo modelado con diferencias en un rango de -1.62 y 1.03; valores cercanos a 0. Lo anterior indica que el segmento de carga general de comercio exterior se encuentra calibrado.

A continuación, se presenta el gráfico de dispersión y la información de participación por zona portuaria del segmento contenedores no refrigerados.

Segmento contenedores no refrigerados

Figura 88. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados contenedores no refrigerados



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de demanda de comercio exterior de contenedores no refrigerados se obtuvo un coeficiente de determinación de 1, lo cual indica que los volúmenes modelados tienen un ajuste perfecto con los volúmenes observados en las zonas portuarias. De igual manera, se obtuvo una pendiente de 1.0001, es decir, que existe una correlación entre los dos volúmenes. En la siguiente tabla se muestra la información del volumen observado y modelado por cada zona portuaria, así como la participación. Adicionalmente se muestra la información para las alternativas fluvial y férreo.

Tabla 106. Información de calibración para contenedores no refrigerados

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Buenaventura	Carretera	Expo	2,250	2,520	0.46%	0.51%	0.17%
Turbo	Carretera	Expo	399,879	399,879	81.46%	81.42%	0.00%
Cartagena	Carretera	Expo	66,371	66,371	13.52%	13.51%	-0.23%
Barranquilla	Carretera	Expo	17,398	17,398	3.54%	3.54%	0.05%
Santamarta	Carretera	Expo	4,978	4,978	1.01%	1.01%	0.01%
Santamarta	Carretera	Impo	378,182	378,091	9.01%	8.79%	0.00%
Barranquilla	Carretera	Impo	1,261,475	1,361,486	30.05%	31.66%	-0.01%
Buenaventura	Carretera	Impo	1,905,780	1,907,708	45.40%	44.37%	0.00%
Tolú	Carretera	Impo	484	484	0.01%	0.01%	-0.01%
Cartagena	Carretera	Impo	652,110	651,986	15.53%	15.16%	0.01%

Fuente: Elaboración propia

En lo referente a participación se observan valores muy similares entre los observados y los modelados con diferencias que encuentran en un rango de -0.23 y 0.17; valores

cercanos a 0. En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes a las alternativas fluvial y férreo para las zonas portuarias de Turbo y Santamarta.

Tabla 107. Información de calibración para modos fluvial y férreo

Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Turbo	Fluvial	Expo	189	189	0.00%
Santa Marta	Férreo	Expo	278	163	-41.33%
Santa Marta	Férreo	Impo	18,383	17,134	-6.80%

Fuente: Elaboración propia

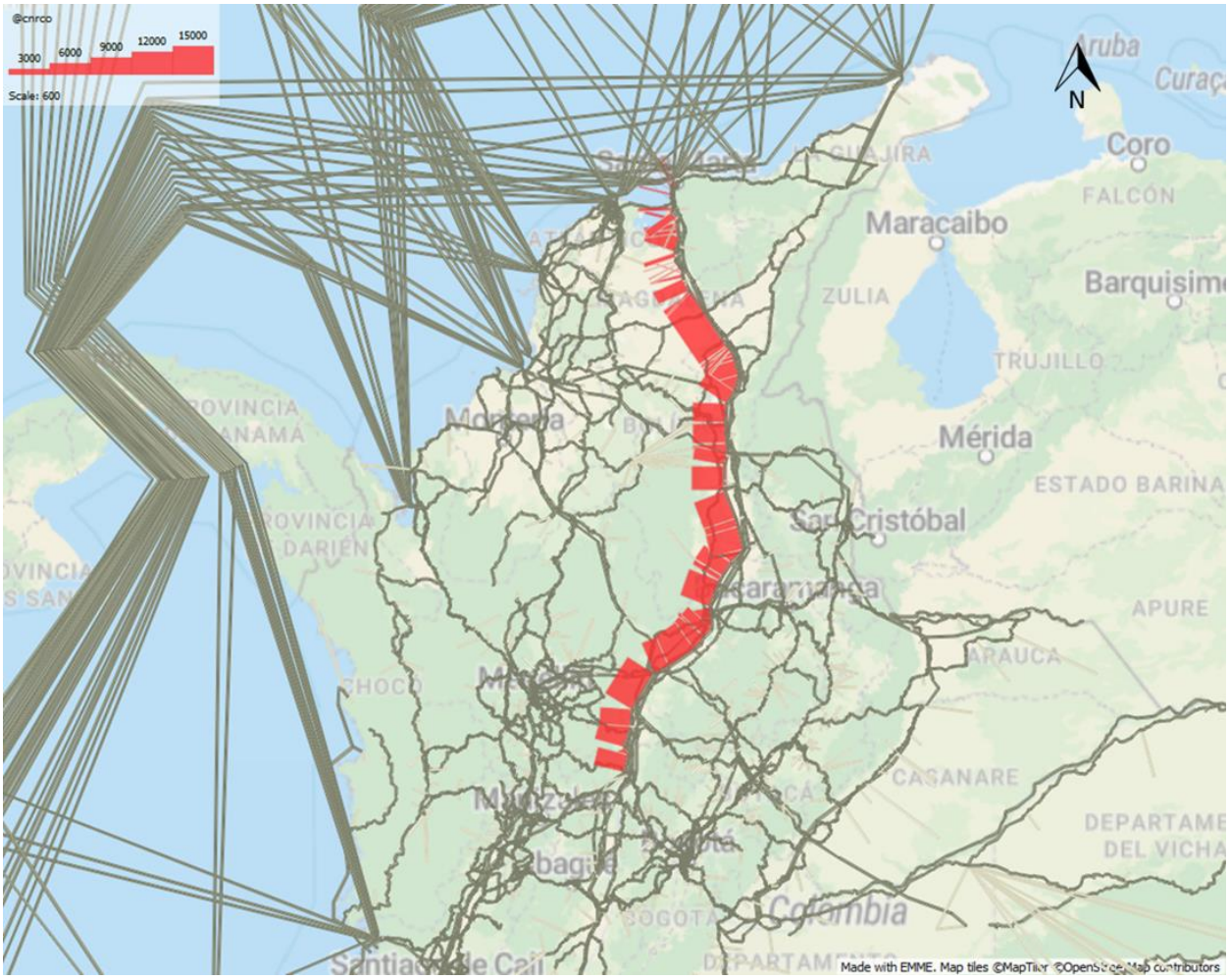
Al analizar las zonas portuarias por las alternativas fluvial y férreo se observa que los volúmenes modelados son muy similares a los observados, no obstante, al ser valores pequeños en algunos casos la diferencia es mayor llegando a un valor de -41.33%. Teniendo en cuenta los anteriores datos de r^2 , pendiente , participación observada y modelada se considera que el segmento de contenedores no refrigerados se encuentra calibrado. A continuación, se presenta el gráfico de dispersión y la información de participación por zona portuaria para el segmento de contenedores refrigerados.

El transporte fluvial de contenedores no refrigerados se realiza a través del río León, y está asociado a las exportaciones provenientes de la zona portuaria de Turbo. Estas exportaciones corresponden a pequeños volúmenes generados por la zona bananera de Urabá antioqueño.

Adicionalmente, en el año 2022, el tren de La Dorada-Chiriguaná-Santa Marta transportó un poco menos de 20.000 toneladas de mercancías anuales, la mayoría de ellas exportaciones de productos en contenedores no refrigerados.

En la siguiente figura se muestra la asignación de carga en toneladas año para los modos férreo y fluvial.

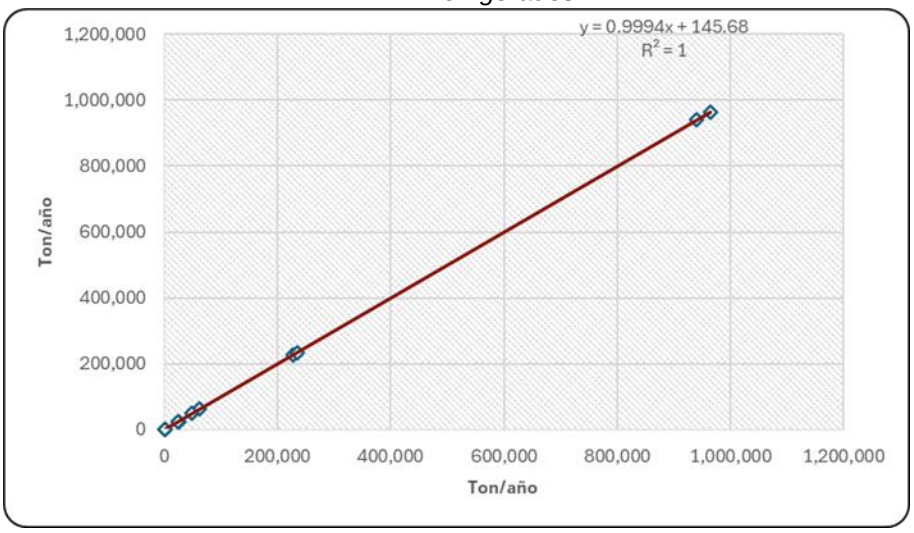
Figura 89. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modos férreo-fluvial cnrco



Fuente: Elaboración propia

Segmento contenedores refrigerados

Figura 90. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados contendores refrigerados



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de contenedores refrigerados se obtuvo un coeficiente de determinación de 1, lo cual indica que los volúmenes modelados se ajustan perfectamente a los volúmenes observados, asimismo, se obtuvo un valor de 0.9994 para la pendiente de la recta; valor cercano a 1, lo que representa que existe una correlación entre los datos modelados y observados. A continuación, se presenta a tabla con la información de volúmenes observados y modelados, así como la participación.

Tabla 108. Información de calibración para contenedores refrigerados

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Buenaventura	Carretera	Expo	2,250	2,520	0.46%	0.51%	0.09%
Turbo	Carretera+Fluvial	Expo	399,879	399,879	81.46%	81.42%	0.07%
Cartagena	Carretera	Expo	66,371	66,371	13.52%	13.51%	-0.03%
Barranquilla	Carretera	Expo	17,398	17,398	3.54%	3.54%	-0.13%
Santa Marta	Carretera	Impo	4,978	4,978	1.01%	1.01%	-0.04%
Barranquilla	Carretera	Impo	378,182	378,091	9.01%	8.79%	-0.04%
Buenaventura	Carretera	Impo	1,261,475	1,361,486	30.05%	31.66%	0.01%
Turbo	Carretera	Impo	1,905,780	1,907,708	45.40%	44.37%	0.00%
Cartagena	Carretera	Impo	484	484	0.01%	0.01%	0.06%

Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la participación se observa una similitud entre los valores observados y los modelados, con un rango de diferencia entre el -0.13 y 0.09; valores cercanos a 0. Lo cual indica que el modelo representa de manera precisa las dinámicas de comercio exterior para el segmento de contenedores refrigerados. En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes a la alternativa fluvial en la zona portuaria de Turbo.

Tabla 109. Información fluvial para contenedores refrigerados

Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Turbo	Fluvial	Expo	939,484	939,484	0.00%

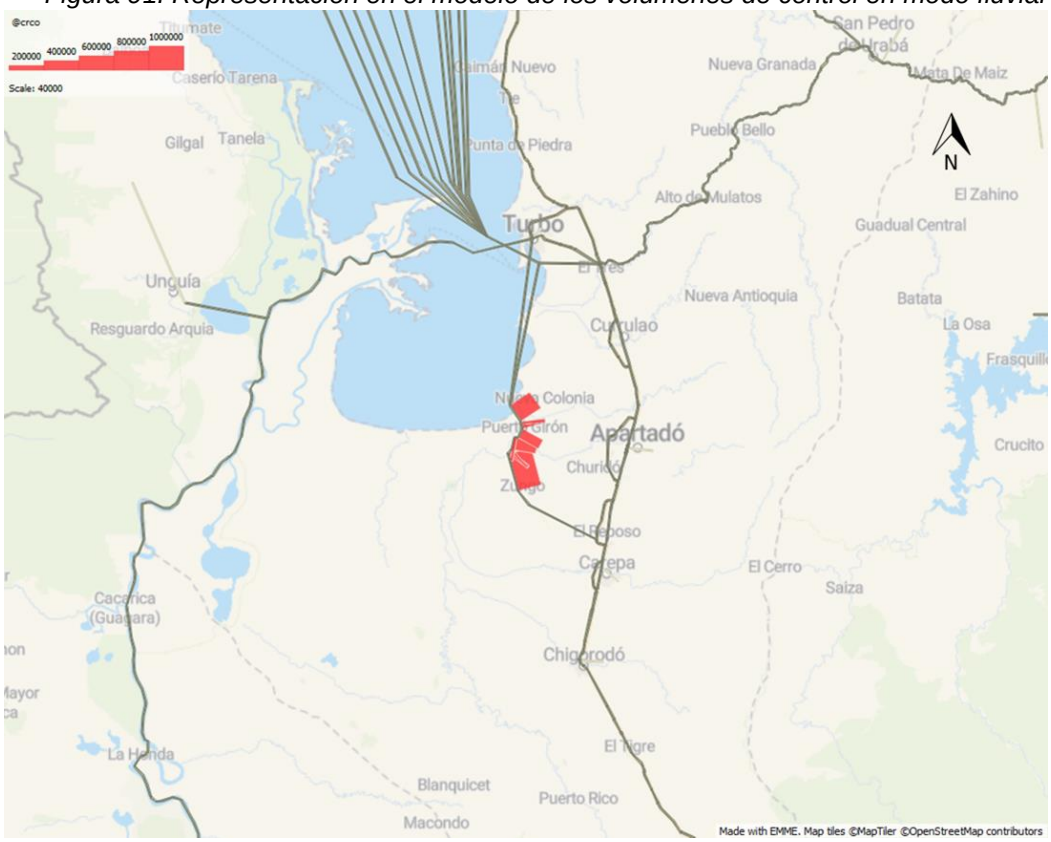
Fuente: Elaboración propia

Para la zona portuaria de Turbo para la alternativa fluvial se observa que el volumen modelado es igual al volumen observado, por lo tanto, el modelo es consistente con los volúmenes de control. De acuerdo, con los valores del coeficiente de determinación, la pendiente de la recta, la diferencia entre los volúmenes modelados y observados y la participación, se considera que el segmento de contenedores refrigerados se encuentra calibrado.

Las nueve zonas portuarias que dan servicio a este segmento de carga ofrecen la alternativa de transporte por carretera. Además de esa opción, se cuenta con la exportación de bananos desde las fincas bananeras del Urabá antioqueño, que se realiza mediante transporte fluvial por el río León. La fruta es transportada desde las fincas para ser cargada en los buques en la zona de fondeo de la bahía Colombia, ubicada en el golfo de Urabá.

A continuación, se presenta la asignación de contenedores refrigerados para la alternativa fluvial que para este caso corresponde a la carga que transita por el río León.

Figura 91. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modo fluvial crco

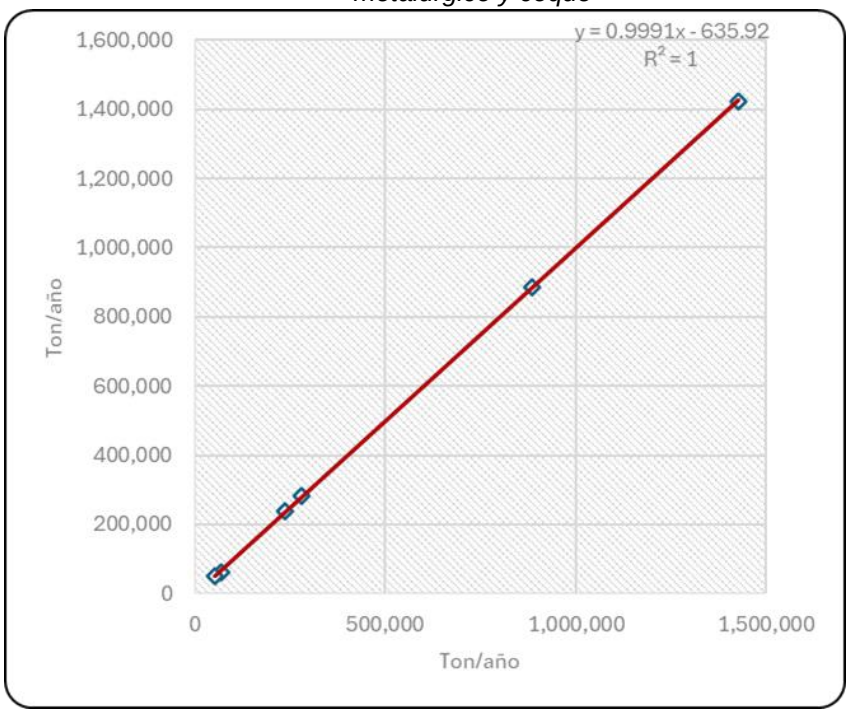


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan la información de calibración para el segmento carbón metalúrgico y coque.

Segmento Carbón metalúrgico y coque

Figura 92. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carbón metalúrgico y coque



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de carbón metalúrgico y coque se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 1 y una pendiente de 0.9991, valores que indican que los volúmenes modelados coinciden en un 100% con los volúmenes observados. En la siguiente tabla se relaciona el volumen observado con el volumen modelado, así como la participación por cada zona portuaria y alternativa.

Tabla 110. Información de calibración para carbón metalúrgico y coque

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Buenaventura	Carretera	Expo	237,900	239,026	8.26%	8.29%	-0.04%
Cartagena	Carretera	Expo	885,011	885,012	30.71%	30.71%	0.00%
Barranquilla	Carretera+Fluvial	Expo	1,427,780	1,424,449	49.54%	49.43%	0.12%
Santa Marta	Carretera	Expo	51,776	52,310	1.80%	1.82%	-0.02%
Pto Brisa	Carretera	Expo	279,372	281,037	9.69%	9.75%	-0.06%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los volúmenes observados y modelados estos presentan valores muy similares, así como en los valores de participación donde la diferencia entre lo modelado y observado

tiende a 0. A continuación se presenta la información para la zona portuaria de Barranquilla para la alternativa fluvial.

Tabla 111. Información fluvial para la zona de Barranquilla carbón metalúrgico y coque

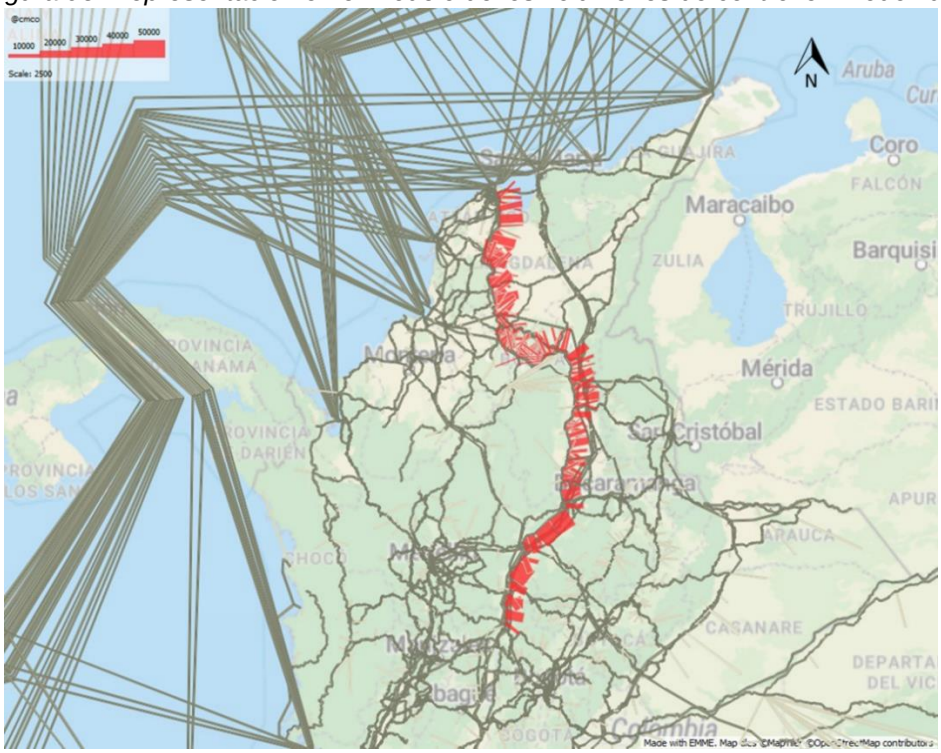
Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Barranquilla	Fluvial	Expo	69,312	62,954	-9.17%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes modelados con los volúmenes observados específicamente del modo fluvial se encuentra una diferencia del -9.17%. De acuerdo con los resultados de coeficiente de dispersión (r^2), pendiente, volumen observado y modelado y participación modelada y observado se considera que el segmento carbón metalúrgico y coque se encuentra calibrado.

El carbón metalúrgico, diferente de coque, tiene un comportamiento similar al carbón térmico, ya que todos sus movimientos corresponden a exportaciones. Estas se realizan por las mismas zonas portuarias utilizadas para el carbón térmico, con la excepción de las zonas portuarias de Tolú y Puerto Bolívar. En el caso de las exportaciones que se realizan desde la zona portuaria de Barranquilla, una porción menor proviene del transporte fluvial a través del río Magdalena, mientras que la mayoría se moviliza por carretera. El río Magdalena sigue siendo una alternativa intermodal utilizada por algunos generadores de carga. A continuación, se presenta la asignación de carbón metalúrgico y coque por el río Magdalena.

Figura 93. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modo fluvial cmco

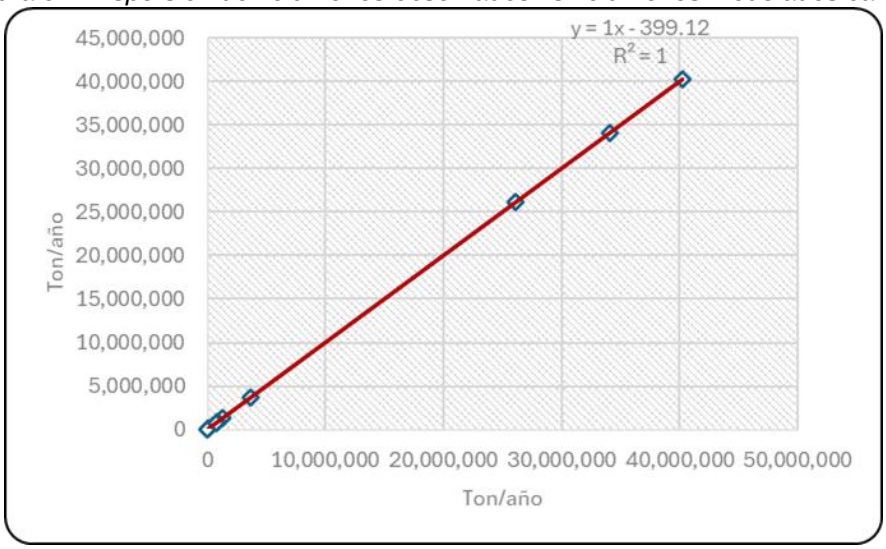


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta los resultados de la calibración para el segmento carbón térmico.

Segmento Carbón térmico

Figura 94. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados carbón térmico



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de carbón térmico se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 1 y un valor de pendiente de 1, esto indica que los valores modelados tienen un ajuste perfecto con los valores observados en las zonas portuarias. A continuación, se presenta la información de volumen modelado y observado y la participación.

Tabla 112. Información de calibración para carbón térmico

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF (%)
Buenaventura	Carretera	Expo	1,340,560	1,340,564	1.66%	1.66%	0.00
Tolú	Carretera	Expo	902,346	875,413	1.11%	1.08%	0.03
Cartagena	Carretera	Expo	21,121	21,121	0.03%	0.03%	0.00
Barranquilla	Carretera+Fluvial	Expo	3,646,200	3,673,130	4.50%	4.54%	-0.03
Santa Marta	Carretera+Férreo	Expo	40,248,900	40,248,824	49.70%	49.70%	0.00
Pto Bolívar	Carretera	Expo	34,060,400	34,060,440	42.06%	42.06%	0.00
Pto Brisa	Carretera	Expo	757,454	757,455	0.94%	0.94%	0.00

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el volumen observado y modelado se puede identificar valores muy similares, al analizar la participación de los puede observar una diferencia entre lo modelado y lo observado en el rango de -0.03 y 0.03; valores muy cercanos a 0. Lo anterior indica que el modelo representa de manera correcta las dinámicas de comercio exterior del segmento

carbón térmico. En la siguiente tabla se relaciona la información correspondiente a los modos fluvial y férreo.

Tabla 113. Información fluvial y férrea para carbón térmico

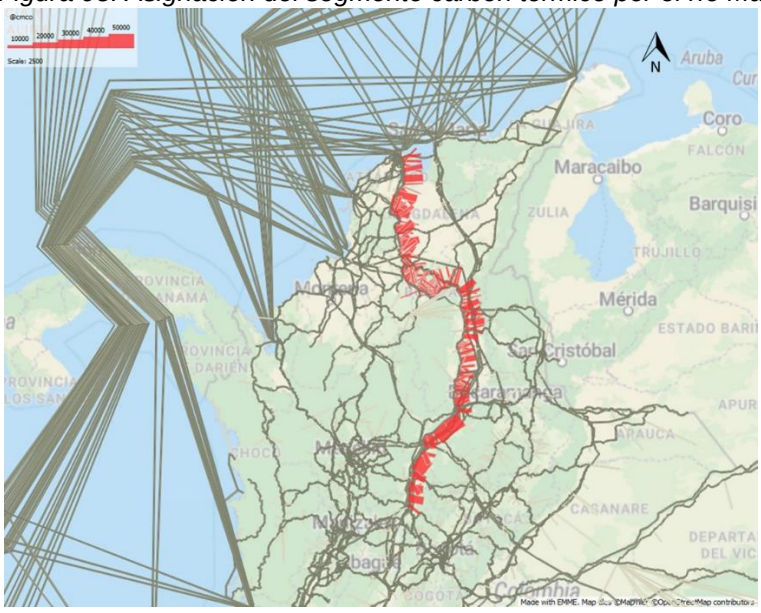
Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Barranquilla	Fluvial	Expo	127,750	127,740	-0.01%
Santamarta	Férreo	Expo	26,103,000	26,102,980	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Para la zona portuaria de Barranquilla con alternativa fluvial y la zona portuaria de Santamarta con alternativa férreo se puede observar una diferencia de volumen modelado y observado de aproximadamente 0. Teniendo en cuenta los valores del coeficiente de determinación (r^2), la pendiente, los volúmenes modelados y observados y la participación, se considera que el segmento de carbón térmico se encuentra calibrado para la situación base.

En el transporte de COMEX de carbón térmico, destacan las operaciones de exportación que se realizan desde la zona portuaria de Santa Marta. Una parte importante de estas operaciones se lleva a cabo de manera intermodal, utilizando el tren de Chiriguaná-Santamarta, que forma parte de las operaciones de Ferrocarriles del Norte de Colombia (FENOCO). Además, teniendo en cuenta que todo el carbón térmico de Colombia corresponde a maniobras de exportación, se reporta que cerca del 3.5% de todas las exportaciones de carbón térmico que se realizan por la zona portuaria de Barranquilla son transportadas a través del río Magdalena, movilizando al año un poco menos de 130.000 toneladas de carbón. A continuación, se presenta la asignación del segmento carbón térmico por el río Magdalena.

Figura 95. Asignación del segmento carbón térmico por el río Magdalena

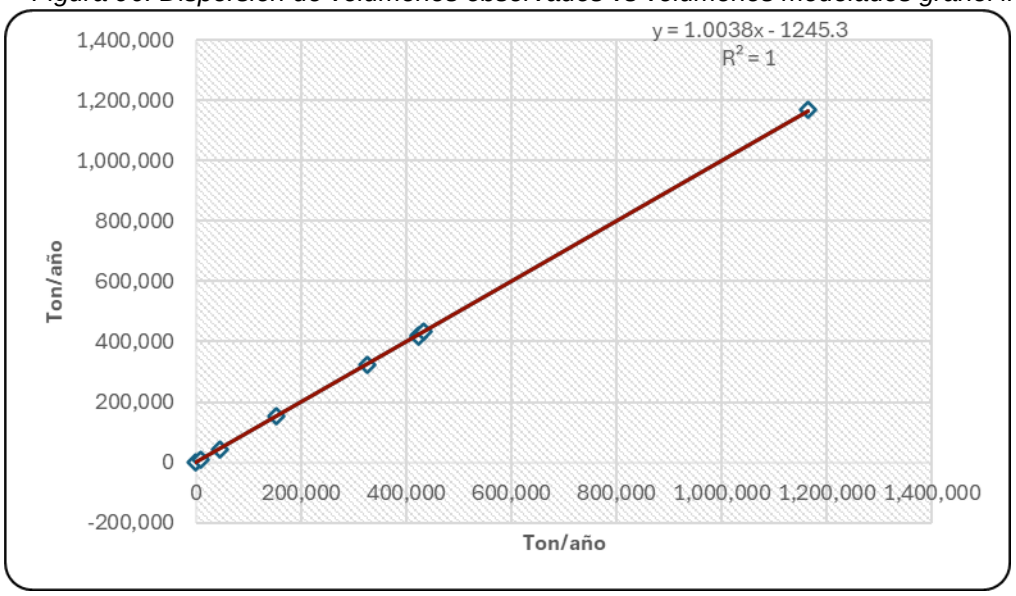


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el análisis de calibración para el segmento granel líquido.

Segmento Granel líquido

Figura 96. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados granel líquido



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de granel líquido se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) igual a 1, lo cual indica que los valores modelados se ajustan perfectamente a los valores observados, de igual manera, se obtuvo un valor de pendiente de 1.0038 lo que representa una correlación entre los valores. A continuación, se presenta la información de volumen observado y modelado y la participación.

Tabla 114. Información de calibración para granel líquido

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Tumaco	Carretera	Expo	50	41	0.01%	0.01%	0.00%
Cartagena	Carretera	Expo	44,645	44,645	7.22%	7.22%	0.00%
Barranquilla	Carretera	Expo	422,337	422,338	68.27%	68.27%	0.00%
Santa Marta	Carretera	Expo	151,569	151,578	24.50%	24.50%	0.00%
Santa Marta	Carretera	Impo	324,989	324,988	13.82%	13.82%	0.00%
Barranquilla	Carretera	Impo	422,654	416,945	17.98%	17.73%	0.24%
Buenaventura	Carretera	Impo	432,549	432,926	18.40%	18.41%	-0.02%
Cartagena	Carretera	Impo	1,162,870	1,168,201	49.46%	49.69%	-0.23%
Pto Bolívar	Carretera	Impo	7,994	7,994	0.34%	0.34%	0.00%

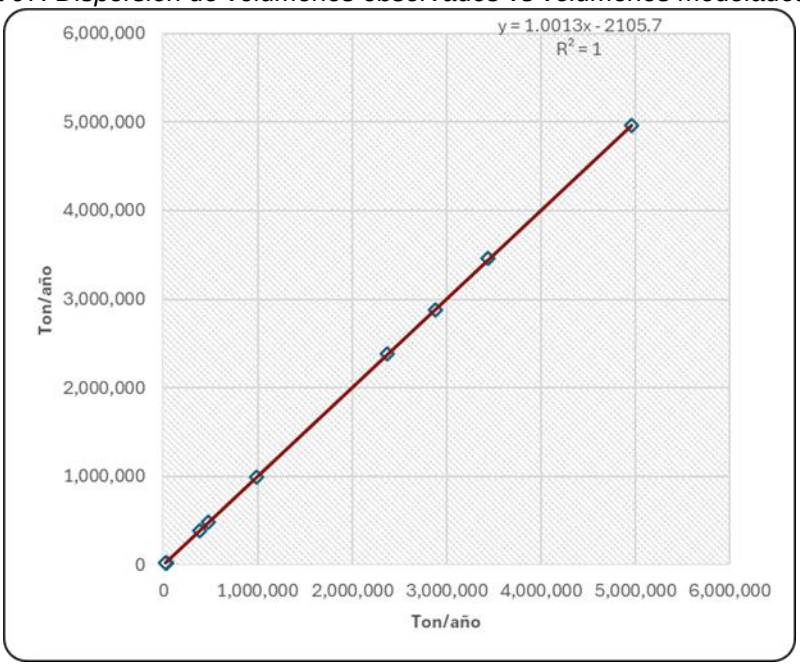
Fuente: Elaboración propia

En lo referente al volumen modelado se puede observar una similitud con los volúmenes modelados, asimismo, se puede identificar que la diferencia entre la participación observada y modelada es cercana a 0, lo cual indica que el modelo representa de manera

confiable las dinámicas de comercio exterior para el segmento granel líquido. Teniendo en cuenta lo anterior, los valores del r^2 y de la pendiente se considera que el modelo se encuentra calibrado para este segmento. A continuación, se presentan los valores de calibración para el segmento granel sólido.

Segmento Granel sólido

Figura 97. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados granel sólido



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de granel sólido se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 1, es decir, que los volúmenes modelados se ajustan perfectamente a los volúmenes observados. Al analizar el valor de la pendiente se obtuvo un valor de 1.0013, esto indica que existe una correlación entre los valores observados con los modelados. En la siguiente tabla se relaciona la información de volumen observado y modelado y la participación.

Tabla 115. Información de calibración para granel sólido

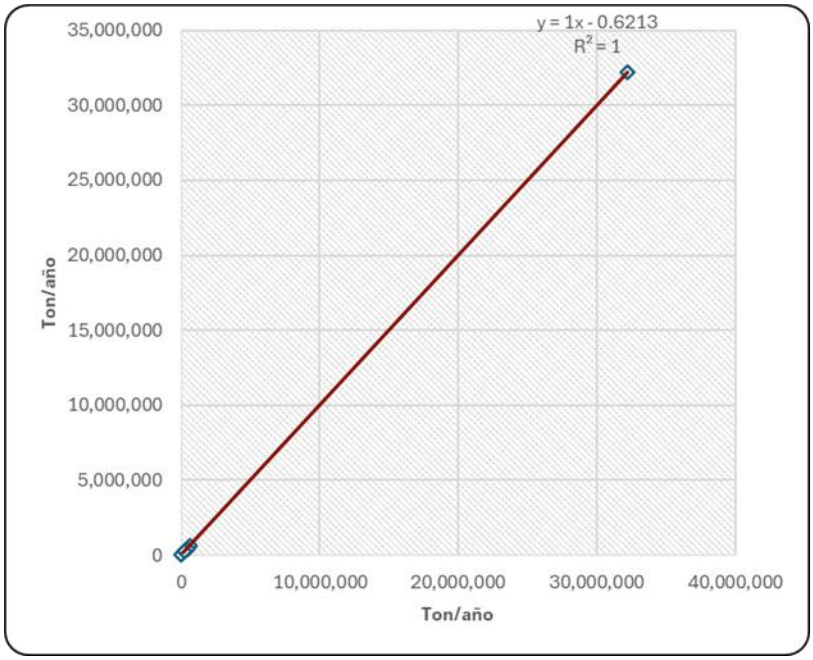
Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Buenaventura	Carretera	Expo	482,416	482,416	53.68%	53.68%	0.00%
Cartagena	Carretera	Expo	28,871	28,871	3.21%	3.21%	0.00%
Barranquilla	Carretera	Expo	387,364	387,364	43.11%	43.11%	0.00%
Santa Marta	Carretera	Impo	2,884,790	2,879,577	19.61%	19.58%	0.04%
Barranquilla	Carretera	Impo	3,441,040	3,457,483	23.40%	23.51%	-0.11%
Buenaventura	Carretera	Impo	4,957,050	4,954,650	33.70%	33.69%	0.02%
Tolú	Carretera	Impo	993,255	993,209	6.75%	6.75%	0.00%
Cartagena	Carretera	Impo	2,375,750	2,379,011	16.15%	16.18%	-0.02%
Pto Brisa	Carretera	Impo	33,052	21,003	0.22%	0.14%	0.08%
Pto Bolívar	Carretera	Impo	22,883	22,883	0.16%	0.16%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los datos de volumen observado y modelado se observa una similitud entre estos valores, asimismo, al analizar los valores de diferencia entre la participación modelada y observada se obtienen valores cercanos a 0, esto indica que el modelo representa de manera correcta las dinámicas de comercio exterior para el segmento de granel sólido. A continuación, se presenta los valores de calibración para el segmento de hidrocarburos crudos.

Segmento Hidrocarburos crudos

Figura 98. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados hidrocarburos crudos



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de hidrocarburos crudos se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 1, es decir, que los valores modelados se ajustan perfectamente a los valores observados. Por otra parte, se observa un valor de pendiente de 1, lo cual indica que los valores modelados tienen correlación con los valores observados. A continuación, se presenta la información de volúmenes, así como la participación.

Tabla 116. Información de calibración para hidrocarburos crudos

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Tumaco	Oleoducto	Expo	649,569	649,569	1.94%	1.94%	0.00 %
Buenaventura	Carretera	Expo	7	7	0.00%	0.00%	0.00 %
Coveñas	Oleoducto	Expo	32,232,800	32,232,844	96.09%	96.09%	0.00 %
Cartagena	Carretera+Oleoducto	Expo	432,099	432,099	1.29%	1.29%	0.00 %

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Barranquilla	Carretera	Expo	229,115	229,115	0.68%	0.68%	0.00 %

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los volúmenes modelados con iguales a los volúmenes observados, por lo tanto, la diferencia de la participación es 0. A continuación, se presenta la información del oleoducto de Cartagena.

Tabla 117. Información de oleoducto de Cartagena para hidrocarburos crudos

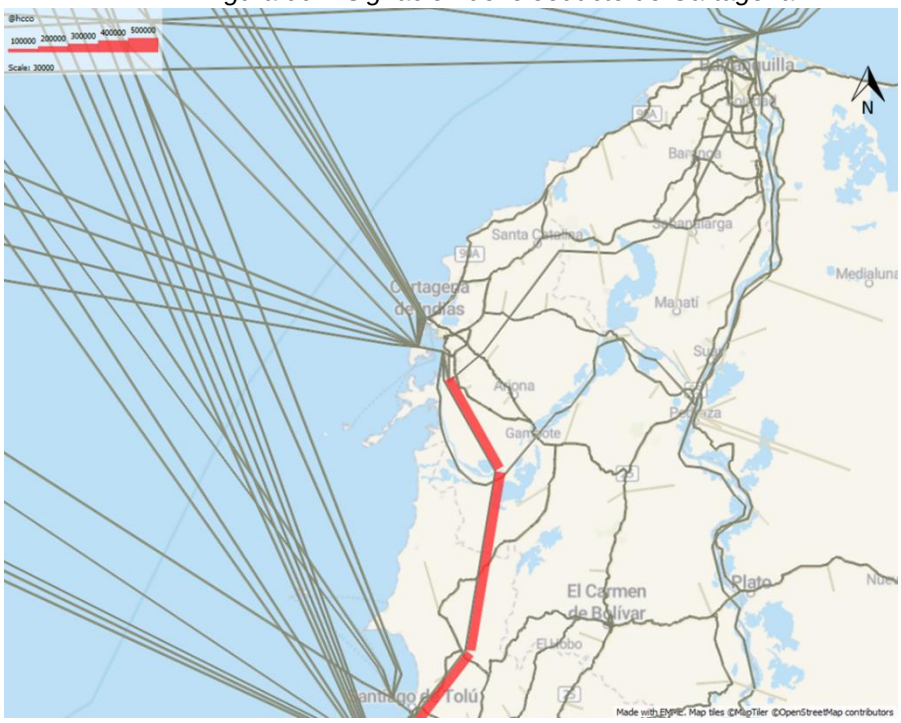
Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Cartagena	Oleoducto	Expo	343,082	343,082	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el volumen observado frente al modelado se puede identificar que estos son iguales, es decir que el modelo representa de manera adecuada los hidrocarburos crudos en la alternativa oleoducto. De acuerdo con los valores del coeficiente de determinación (r^2), la pendiente, los volúmenes modelados y observados y la participación se considera que el modelo que encuentra calibrado para el segmento de hidrocarburos crudos

En Colombia, los hidrocarburos crudos se consideran completamente como productos de exportación. Además del transporte por carretera, las exportaciones de crudo se realizan principalmente a través de oleoductos, que conectan con las zonas portuarias de Coveñas y Cartagena. Las exportaciones desde Coveñas son realizadas exclusivamente a través del oleoducto, mientras que en Cartagena se utiliza un sistema intermodal que incluye tanto el oleoducto como el transporte por carretera. Sin embargo, en el caso de Cartagena, la proporción de exportaciones que se movilizan por carretera es significativamente menor en comparación con el oleoducto. A continuación, se presenta la asignación del oleoducto de Cartagena.

Figura 99. Asignación del oleoducto de Cartagena

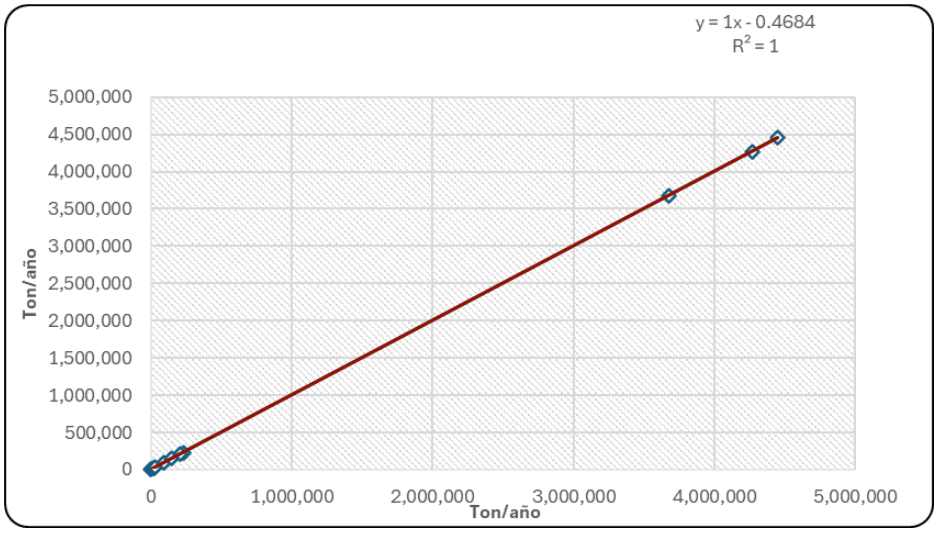


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los valores de calibración del segmento hidrocarburos refinados.

Segmento Hidrocarburos refinados

Figura 100. Dispersión de volúmenes observados vs volúmenes modelados hidrocarburos refinados



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de hidrocarburos refinados se obtuvo un coeficiente de determinación de 1 y un valor de pendiente de 1, los cuales indican que los valores modelados se ajustan perfectamente a los valores observados. En la siguiente tabla se relacionan los valores de volumen modelado y observado, así como de participación.

Tabla 118. Información de calibración para hidrocarburos refinados

Zona portuaria	Alternativa	Mov.	Volumen observado	Volumen modelado	Participación observada	Participación modelada	DIF
Cartagena	Carretera+Fluvial	Expo	4,273,340	4,273,335	100.00%	100.00%	0.00%
Santamarta	Carretera	Impo	4,450,940	4,450,944	51.87%	51.87%	0.00%
Barranquilla	Carretera+Fluvial +Poliducto	Impo	212,650	212,652	2.48%	2.48%	0.00%
Coveñas	Carretera	Impo	88,857	88,857	1.04%	1.04%	0.00%
Cartagena	Carretera+Fluvial +Poliducto	Impo	3,678,990	3,678,990	42.87%	42.87%	0.00%
Pto Bolívar	Carretera	Impo	149,872	149,872	1.75%	1.75%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los datos de volumen modelado y observado se puede identificar que los valores son iguales, por consiguiente, la diferencia entre la participación observada y modelada es 0. Es decir, que el modelo representa de manera adecuada en las zonas portuarias los volúmenes del segmento de hidrocarburos refinados. A continuación, se presenta la información de para cada zona portuaria para las alternativas fluvial y poliductos.

Tabla 119. Información fluvial y poliductos para los hidrocarburos refinados

Zona portuaria	Alternativa	Movimiento	Volumen observado	Volumen modelado	DIF
Cartagena	Fluvial	Expo	761	761	0.00%
Cartagena	Fluvial	Impo	230,086	230,078	0.00%
Cartagena	Poliducto	Impo	21,224	21,224	0.00%
Barranquilla	Fluvial	Impo	16,627	16,627	0.00%
Barranquilla	Poliducto	Impo	30,424	30,425	0.00%

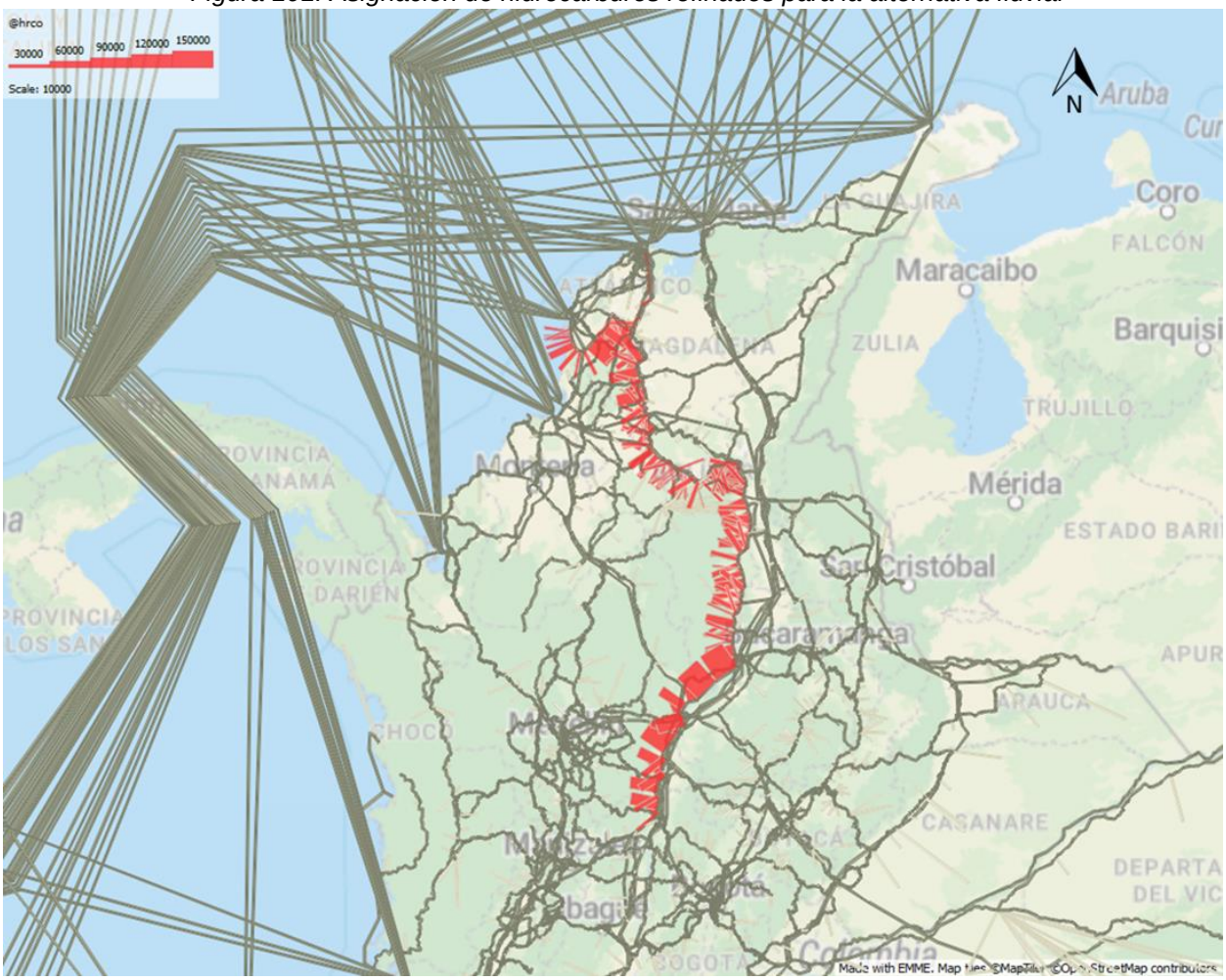
Fuente: Elaboración propia

En lo referente a los volúmenes modelados para las alternativas fluvial y poliductos estos son iguales a los volúmenes observados. De acuerdo con los indicadores de calibración como el coeficiente de determinación (r^2), la pendiente, los volúmenes observados y modelados y la participación se considera que el segmento de hidrocarburos refinados se encuentra calibrado.

Este segmento de carga presenta la mayor cantidad de alternativas modales para su comercialización internacional, ya que incluye tanto maniobras de importación como de exportación. La única zona portuaria que realiza exportaciones de hidrocarburos refinados en Colombia es Cartagena, donde las exportaciones se realizan tanto por carretera como mediante transporte fluvial, utilizando el río Magdalena y el canal del Dique. El resto de las zonas portuarias que dan servicio a este segmento de carga se dedican exclusivamente a las importaciones. En las zonas portuarias de Barranquilla y Cartagena,

el transporte de hidrocarburos refinados también se realiza a través del río Magdalena y los poliductos que conectan con estas dos zonas portuarias. Para las demás zonas portuarias que manejan importaciones de hidrocarburos refinados, el transporte hacia el interior del país se realiza únicamente por carretera, distribuyéndose a los diferentes destinos nacionales. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento hidrocarburos refinados para la alternativa fluvial.

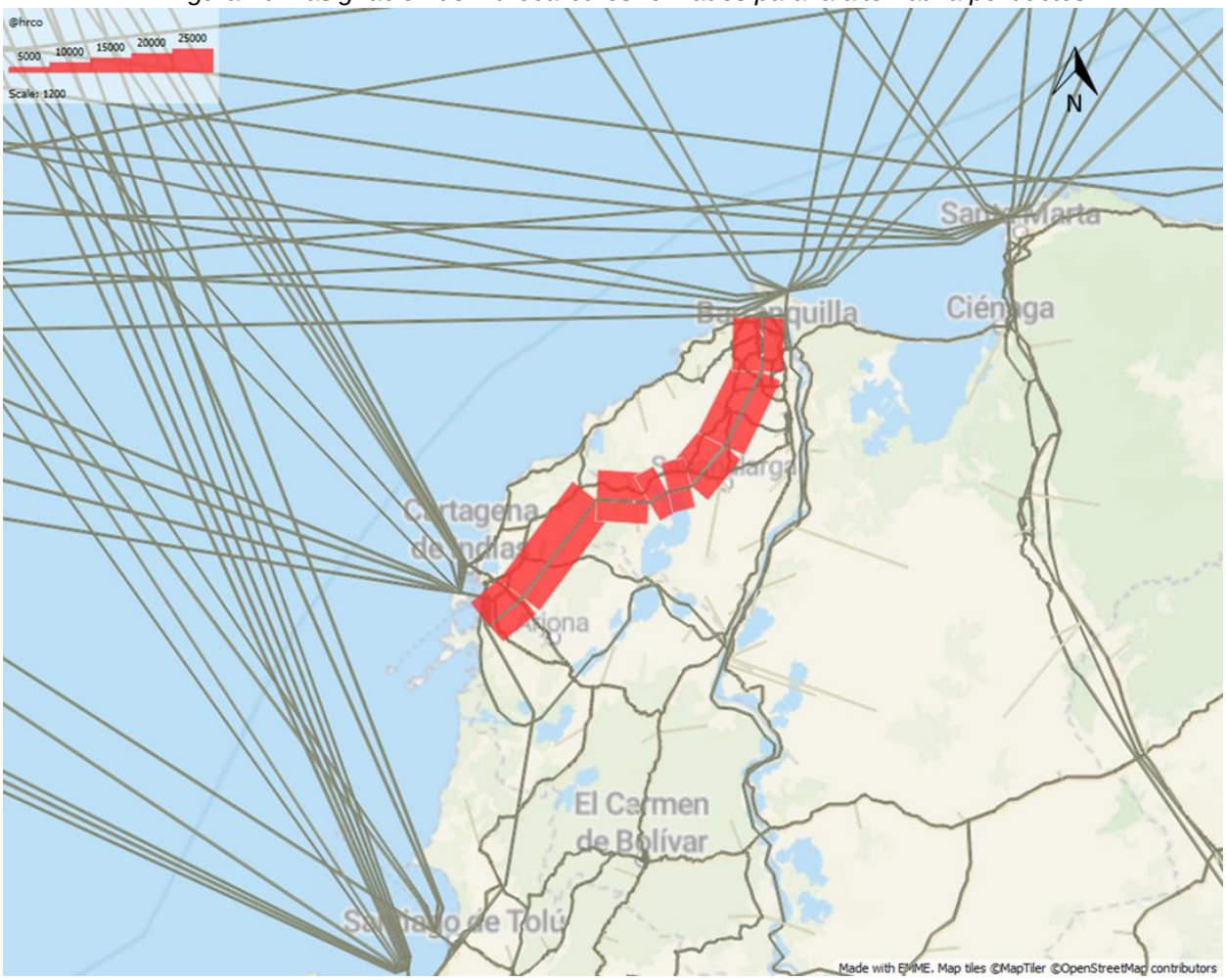
Figura 101. Asignación de hidrocarburos refinados para la alternativa fluvial



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra la asignación del segmento de hidrocarburos refinados para la alternativa poliductos.

Figura 102. asignación de hidrocarburos refinados para la alternativa poliductos



Fuente: Elaboración propia

7.5.2. Calibración de camiones y ajuste de segmentos de carga doméstica

Este proceso tuvo como objetivo calibrar, en primer lugar, los volúmenes de camiones por tipología, para luego ajustar la carga doméstica mediante los factores de ocupación vehicular. Es importante destacar, que la subbase de carga derivada del proceso de calibración de los segmentos comercio exterior, no requirió ajuste a volúmenes, dado que la correcta representación a nivel de par OD de cada uno de los segmentos permitió reflejar adecuadamente la elección modal en la zona portuaria. Para llevar a cabo la calibración, se utilizaron los volúmenes de control obtenidos en los peajes y en los puntos de aforo de las ZPP.

A continuación, se explica el procedimiento de calibración:

Se partió de la base consolidada, la cual contiene información detallada de la carga de comercio exterior y doméstico, así como de los vehículos que la transportan.

Sobre esta base, se definió la consolidación de las subbases correspondientes a las cinco categorías específicas de camiones C2P, C2G, C34, C5 y C6M.

Con estas subbases, se conformaron matrices origen-destino por tipología de camión, las cuales se asignaron en el modelo de transporte sobre la red del modo carretero. A partir de las herramientas del modelo de transporte, se generaron submatrices de paso en cada una de las estaciones de control, donde se realizó la calibración de la demanda para cada tipología de camión.

Es importante mencionar que, en este proceso, el volumen de control utilizado para ajustar las submatrices de camiones de transporte de carga doméstica correspondió al diferencial entre el aforo total y los volúmenes de camiones de carga de comercio exterior (Comex), la carga de generación en las ZPP y los tránsitos en vacío.

Se implementó un proceso de ajuste general de la matriz vehicular sobre todos los volúmenes de control en la red de transporte, teniendo en cuenta que un mismo par origen-destino podía encontrarse en varios puntos de control. Este procesamiento, que fue iterativo, alcanzó su punto de parada cuando los volúmenes totales en los puntos de calibración se representaron con un nivel de aproximación adecuado.

En el estado de ajuste, cada par origen-destino definió un nuevo volumen de camiones. Mediante la aplicación de los mismos factores de ocupación vehicular definidos desde la base de carga consolidada, se determinaron nuevos volúmenes de carga transportada por cada categoría vehicular, de cada uno de los segmentos de demanda de carga doméstica.

Posteriormente, se agregaron los volúmenes de carga transportada por cada tipología vehicular, por segmento de carga, a nivel de cada par origen-destino.

Sobre el nuevo estado de la base de datos de carga consolidada, se revisaron los ajustes asociados a los segmentos de carga que se transportaban por los modos férreo y fluvial en los tramos para los cuales se contaba con información de volúmenes de carga.

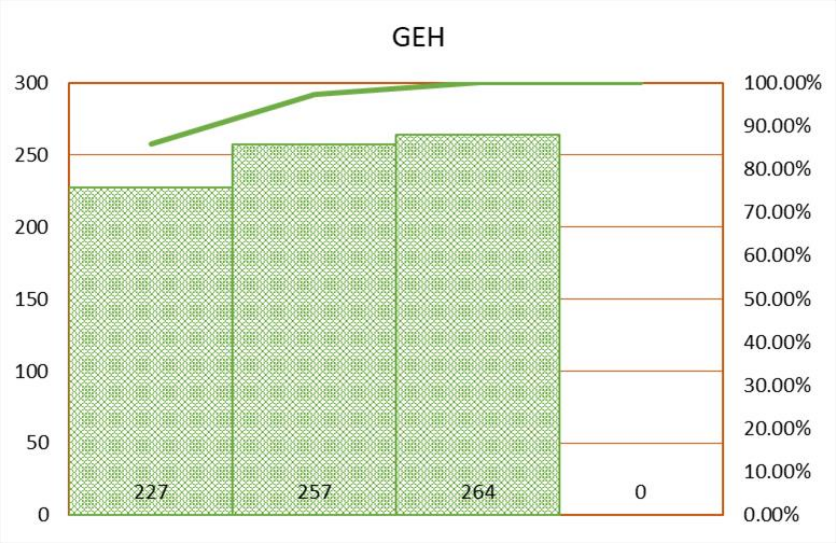
Luego de completar este procedimiento sobre la base consolidada, se definieron nuevas subbases de datos, tanto a nivel de segmento de carga doméstica como de cada una de las tipologías vehiculares de los camiones que la transportaban.

Es importante destacar que, al final del proceso de calibración, se mantuvo la demanda generada en las zonas de potencial productivo (ZPP). Los datos de demanda correspondieron a los obtenidos previamente durante el proceso de entrevistas con los generadores de carga.

A continuación, se muestran la tabla de validación de la calibración, el diagrama dispersión de los volúmenes y la asignación para cada una de las tipologías vehiculares.

Camión pequeño de 2 ejes

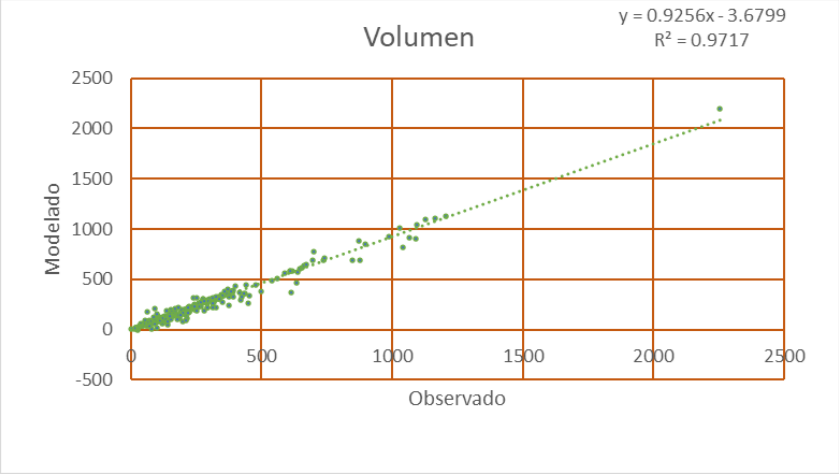
Figura 103. Indicador de GEH para C2P



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	227	85.98%
<10	257	97.35%
<12	264	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 104. Dispersión en los puntos de control C2P

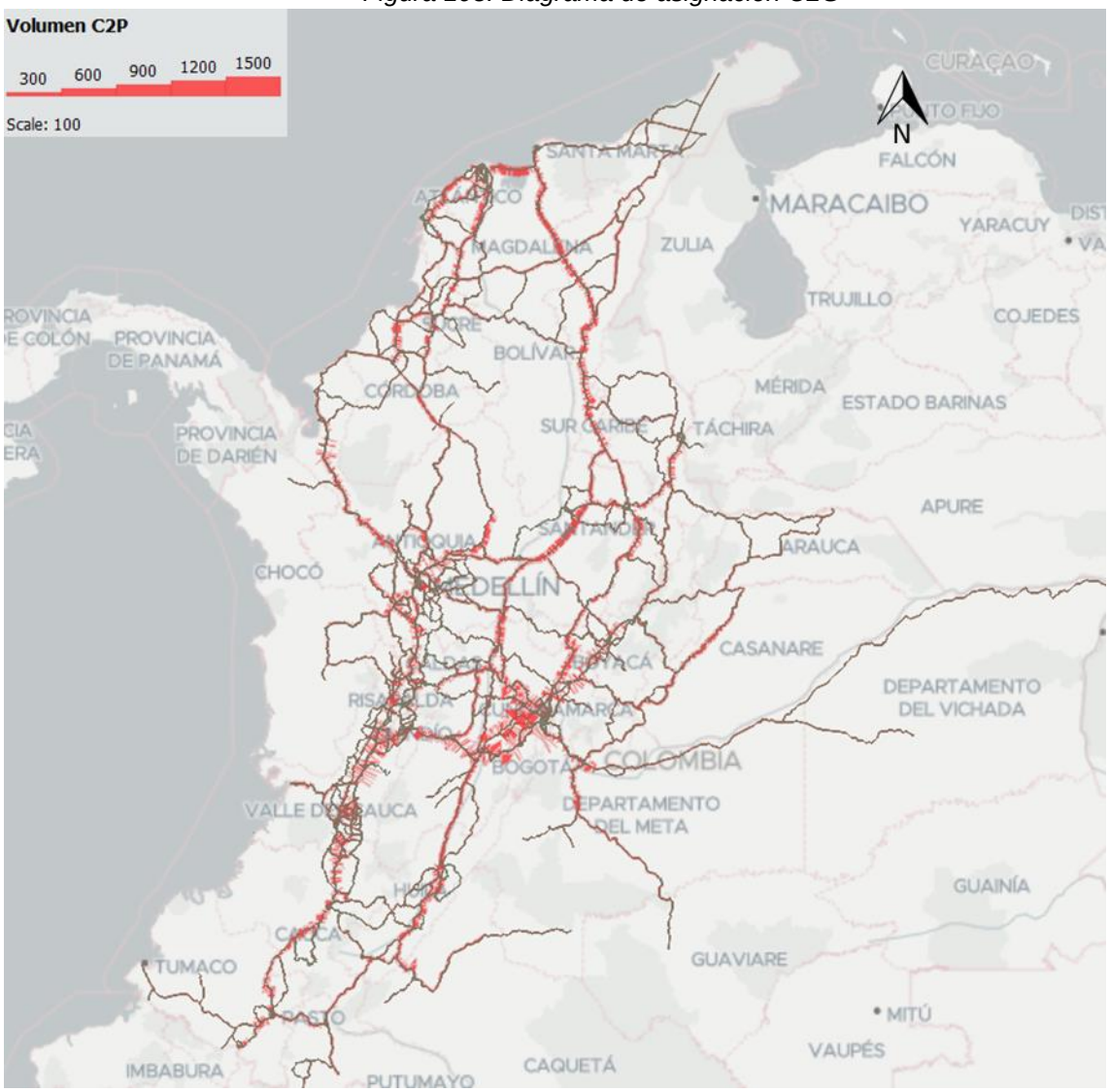


Fuente: Elaboración propia

Para los camiones de 2 ejes se evaluaron 264 puntos, de los cuales el 85.98% presentan un GEH menor a 5, el 97.35% que corresponde a 257puntos presentan un valor menor a 10 y el 100% de los puntos presentan un GEH menor a 12. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9717, valor cercano a uno lo que representa que los datos modelados se ajustan a los datos observados, de igual manera, se obtiene un

valor de pendiente cercano a 1. A continuación, se presenta el diagrama de asignación para los vehículos de dos ejes.

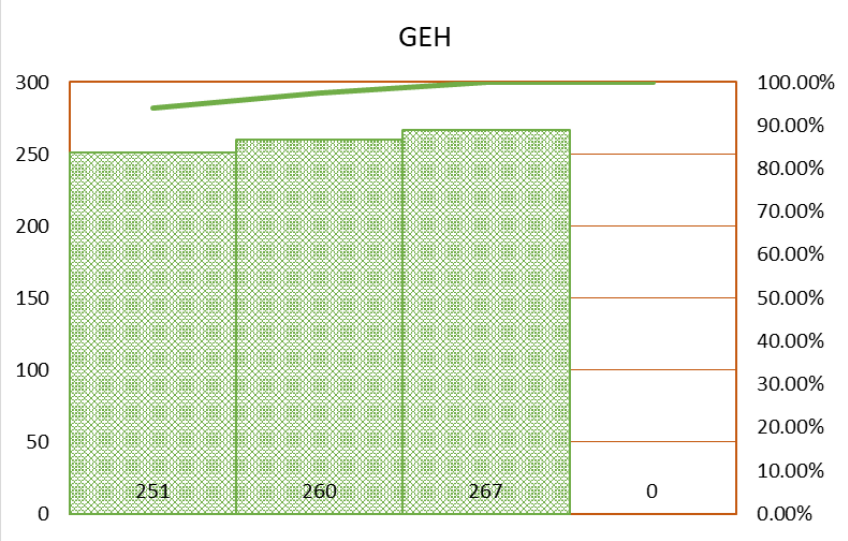
Figura 105. Diagrama de asignación C2G



Fuente: Elaboración propia

Camión grande de 2 ejes

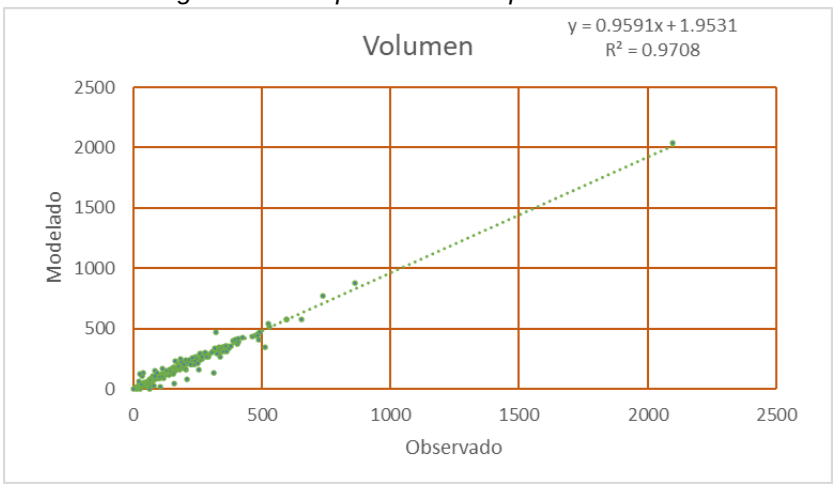
Figura 106. Indicador de GEH para C2G



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	251	94.01%
<10	260	97.38%
<12	267	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 107. Dispersión en los puntos de control C2G

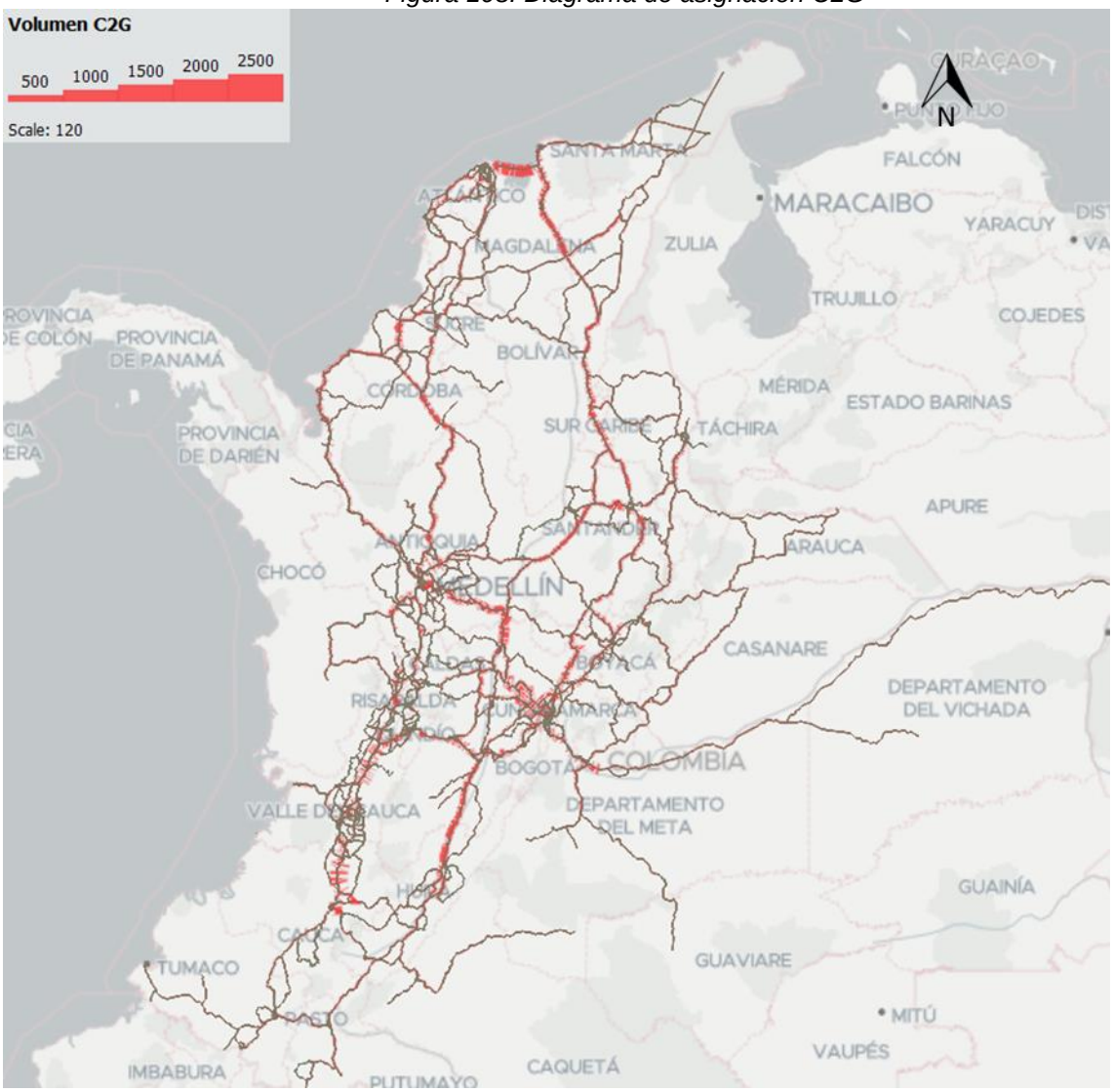


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología C2G se evaluaron 267 puntos de control, de los cuales el 94.01% son menores a 5, el 97.38% son menores a 10 y el 100% son menores a 12. En cuanto al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9708 y una pendiente de 0.9591

los cuales representan valores cercanos a 1, por tanto, los datos modelados se ajustan con los datos observados. A continuación, se presenta el diagrama de asignación para la tipología C2G.

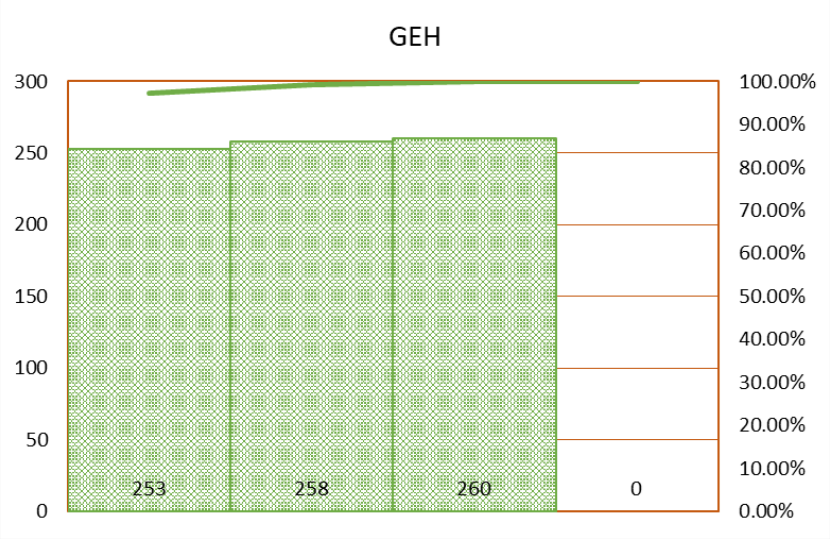
Figura 108. Diagrama de asignación C2G



Fuente: Elaboración propia

Camión de 3 y 4 ejes

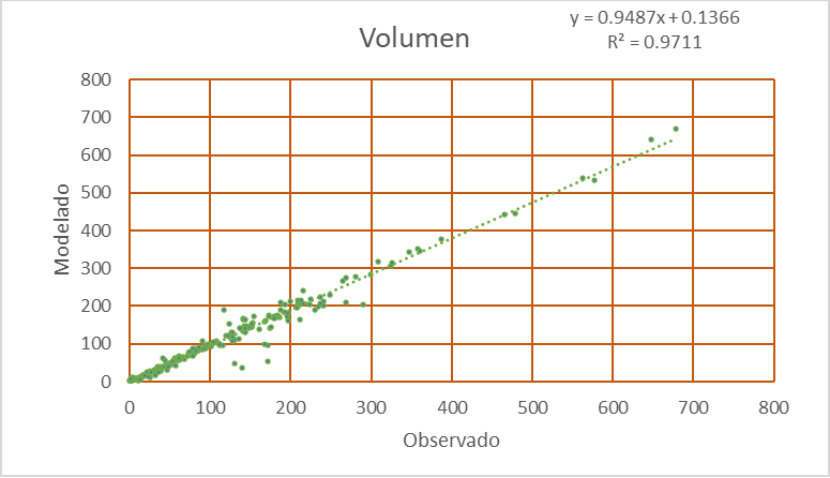
Figura 109. Indicador de GEH para C34



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	253	97.31%
<10	258	99.23%
<12	260	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 110. Dispersión en los puntos de control C34

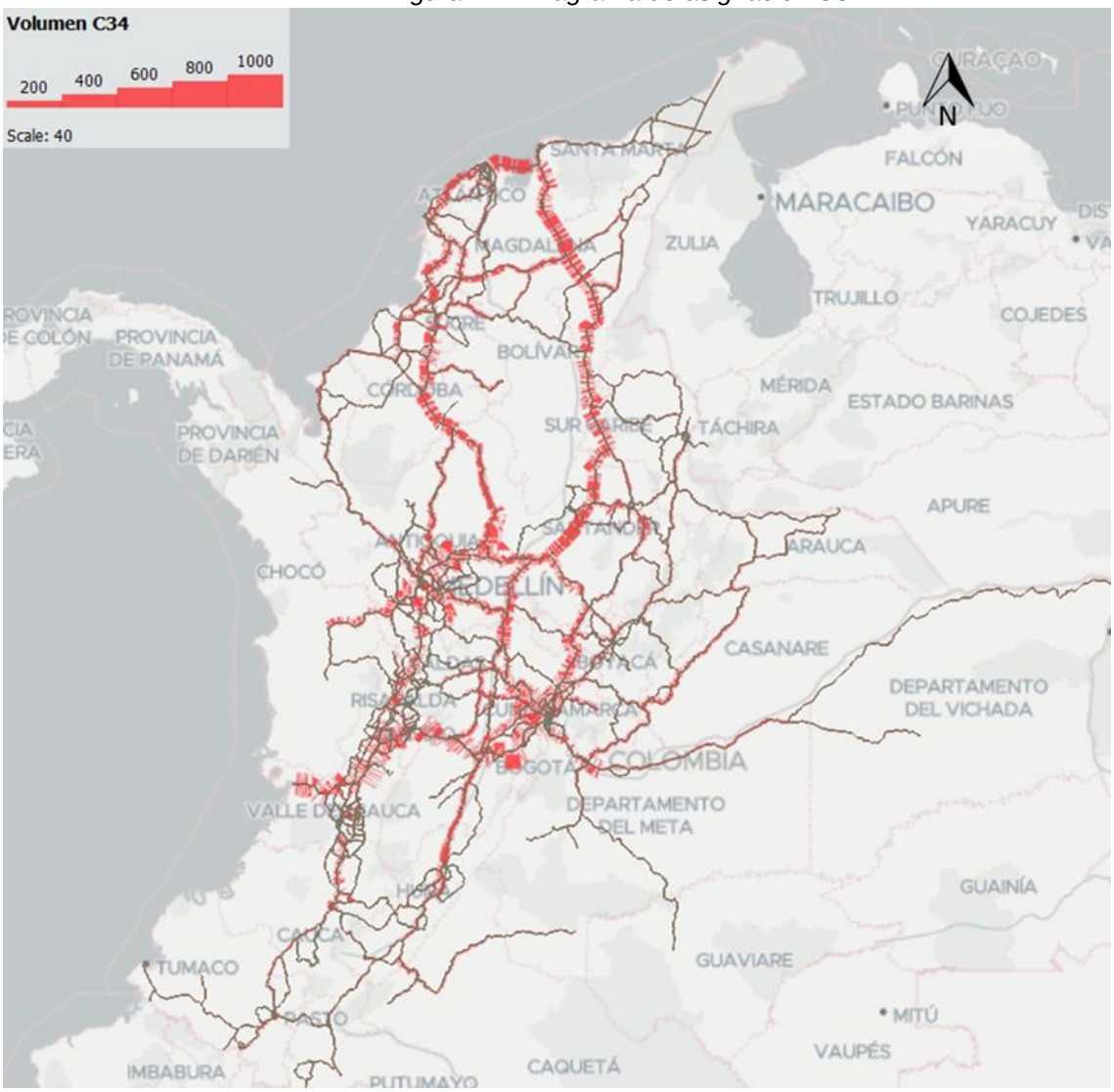


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología C34 se evaluaron 260 puntos, de los cuales el 97.31% que representa 253 puntos presentan un GEH menor a 5, 99.23% presenta un GEH menor a 10 y el 100% presenta un GEH menor a 12. En cuanto al coeficiente de determinación se obtuvo un valor

de 0.9711, este valor es cercano a 1, es decir, que los volúmenes modelados se ajustan a los volúmenes observados. A continuación, se presenta el diagrama de asignación para esta tipología donde se puede apreciar los corredores por donde mayormente transitan estos vehículos.

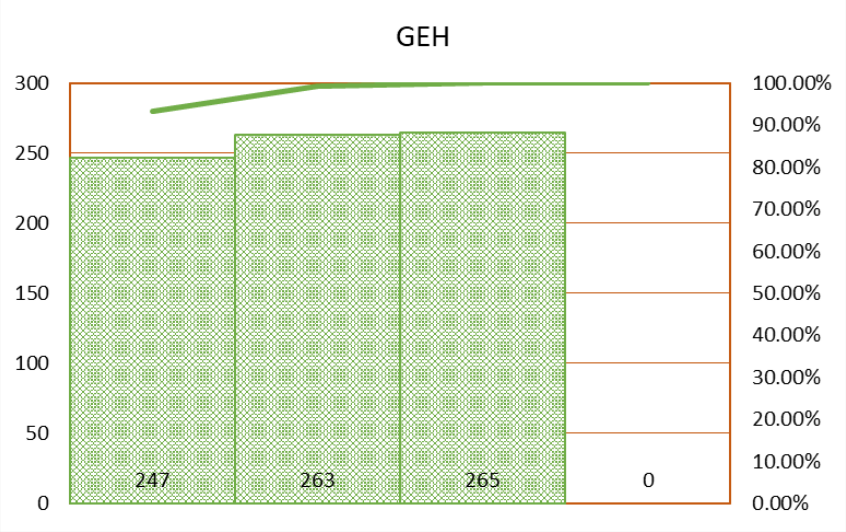
Figura 111. Diagrama de asignación C34



Fuente: Elaboración propia

Camión de 5 ejes

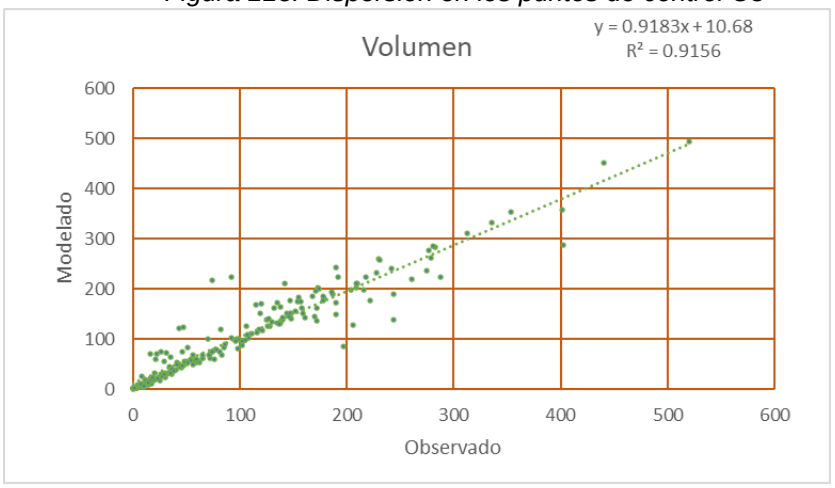
Figura 112. Indicador de GEH para C5



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	247	93.21%
<10	263	99.25%
<12	265	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 113. Dispersión en los puntos de control C5

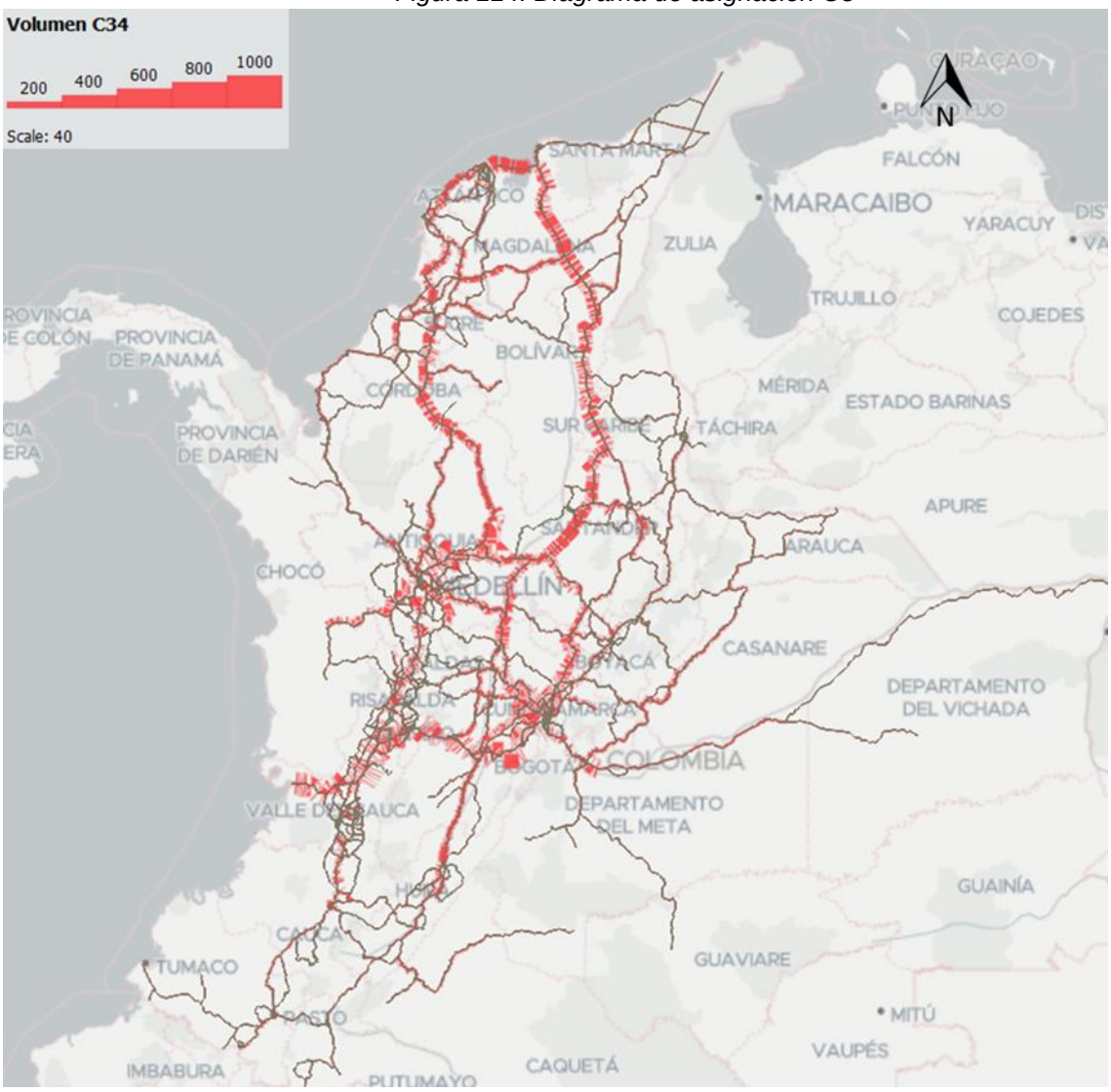


Fuente: Elaboración propia

Para el camión de 5 ejes se evaluaron 265 puntos de los cuales el 93.21% presentan valores de GEH menores a 5, el 99.25 % que representa 263 puntos presentan valores de GEH menores a 10 y el 100% de los puntos presenta un GEH menor al 12. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9156, lo cual representa que el

91.56% de los datos modelados se ajustan a los datos observados. A continuación se presenta el diagrama de asignación para esta tipología.

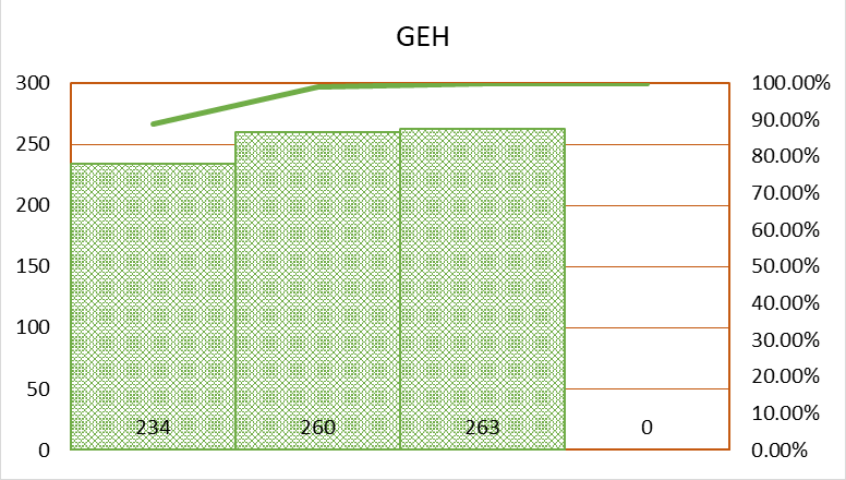
Figura 114. Diagrama de asignación C5



Fuente: Elaboración propia

Camión de 6 ejes y más

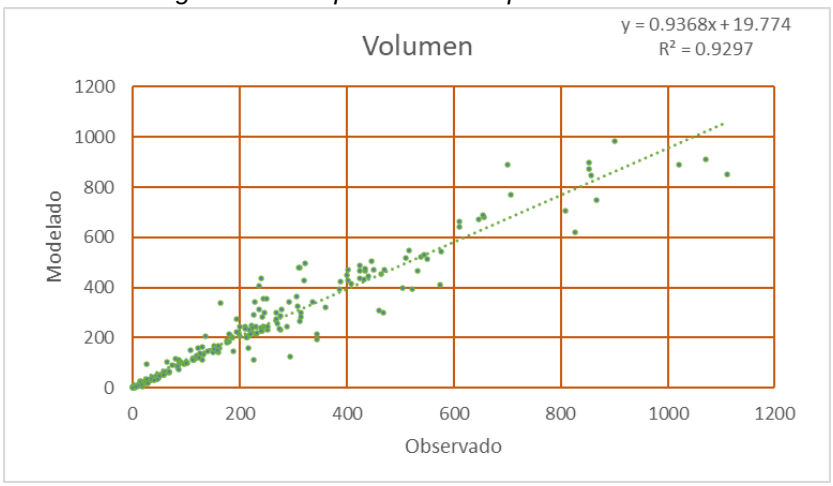
Figura 115. Indicador de GEH para C6M



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	234	88.97%
<10	260	98.86%
<12	263	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 116. Dispersión en los puntos de control C6M

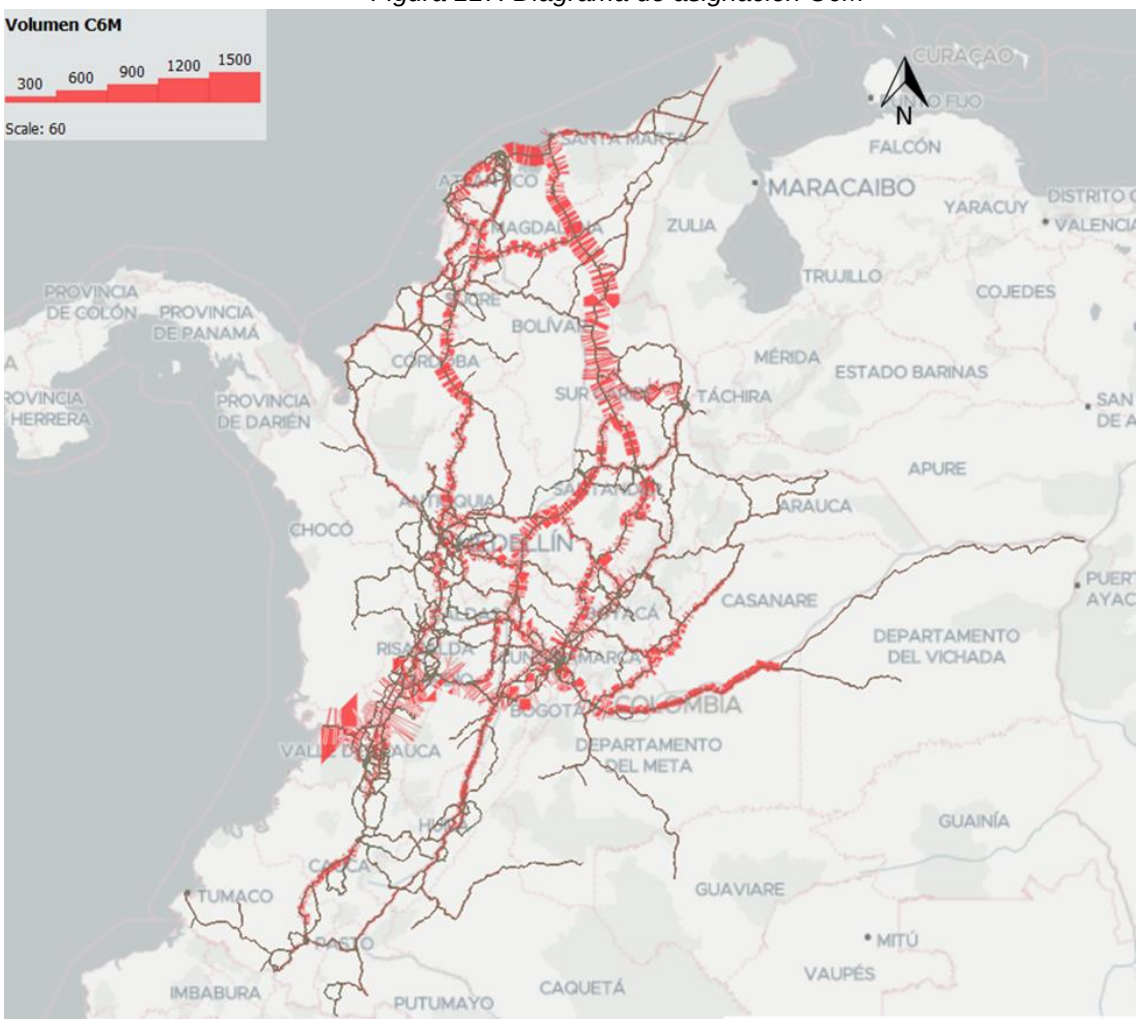


Fuente: Elaboración propia

Para los camiones de 6 ejes o más se evaluaron 263 puntos de los cuales el 88.97% presentan un GEH menor al 5, el 98.86% que representa 260 puntos tiene un GEH menor al 10 y el 100% de los puntos presenta un GEH menor al 12. Por otra parte, en lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9297, este valor es cercano a 1

lo que indica que los volúmenes modelados se ajustan con los volúmenes observados. A continuación, se presenta el diagrama de asignación para esta tipología.

Figura 117. Diagrama de asignación C6M



Fuente: Elaboración propia

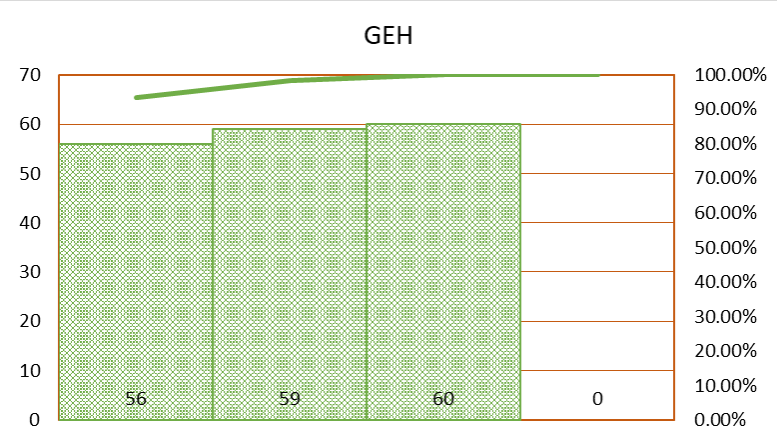
En la calibración del ámbito doméstico se aprecia en primera instancia que dentro de la calibración de los vehículos tipo camión destaca el hecho de que en todos los casos se obtuvieron GEH menores a 5 en la gran mayoría de puntos / sentido de control, el porcentaje de puntos más bajo con GEH menores de 5 corresponde a la tipología vehicular de C2P con el 85.98% de los datos, en el resto de las tipologías de camión siempre se obtuvieron valores superiores. En términos generales no se obtuvieron GEH superior a 12 en ningún tipo de vehículo camión lo que corrobora la adecuada representación de los volúmenes en el modelo.

7.5.3. Representación en el modelo de los volúmenes de control de camiones en ZPP

En este apartado se presentan los diagramas del indicador GEH y de dispersión para los puntos de control en las ZPP. Al realizar este análisis se garantiza que se cumplan con los estándares de calibración en un nivel de detalle mayor.

Camión pequeño de 2 ejes en ZPP

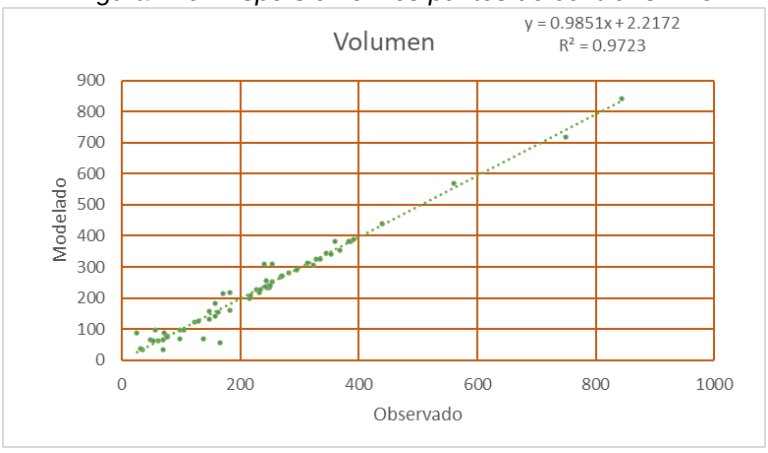
Figura 118. Indicador de GEH para C2P en ZPP



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	56	93.33%
<10	59	98.33%
<12	60	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 119. Dispersión en los puntos de control C2P en ZPP

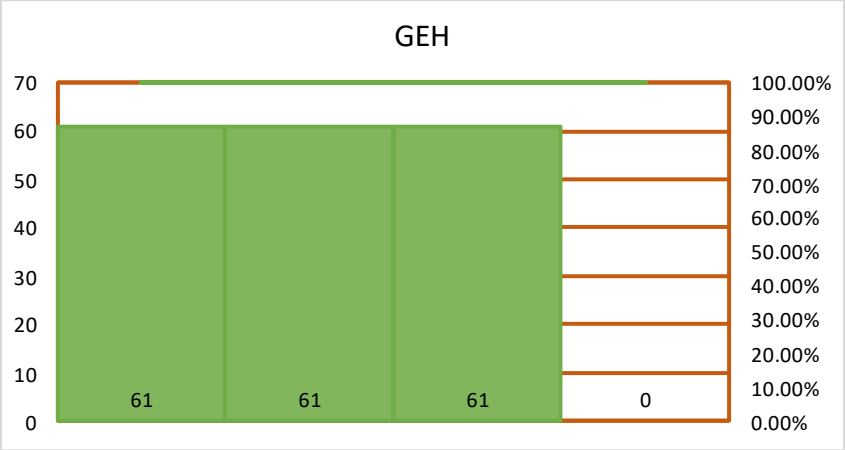


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología C2P se consideraron 60 puntos ubicados en las ZPP, de estos el 93.33% presentan valores de GEH menor a 5, el 98.33% es decir 59 puntos presentan un GEH menor a 10 y el 100% de los puntos presenta GEH menor a 12. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9723 lo cual representa que el 97.23% de los datos modelados se ajustan a los datos observados. Lo anterior indica que a nivel de ZPP el modelo se encuentra calibrado.

Camión grande de 2 ejes en ZPP

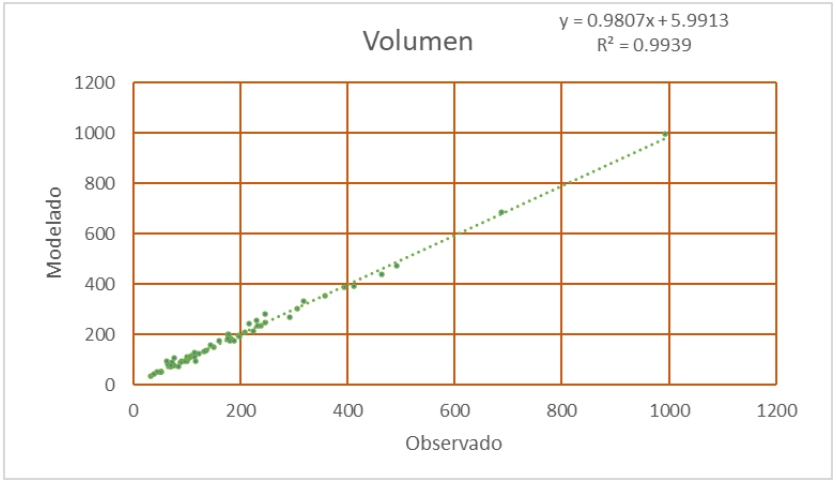
Figura 120. Indicador de GEH para C2G en ZPP



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	61	100.00%
<10	61	100.00%
<12	61	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 121. Dispersión en los puntos de control C2G en ZPP

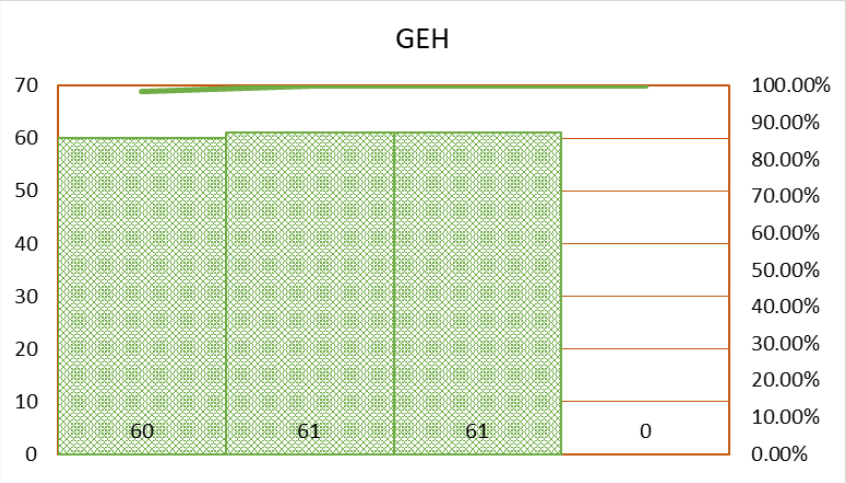


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología C2G se evaluaron 61 puntos ubicados en ZPP, de los cuales el 100% presentan valores menores a 5. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9939 lo cual indica que la mayor parte de los datos modelados se ajustan a los datos observados.

Camión de 3 y 4 ejes en ZPP

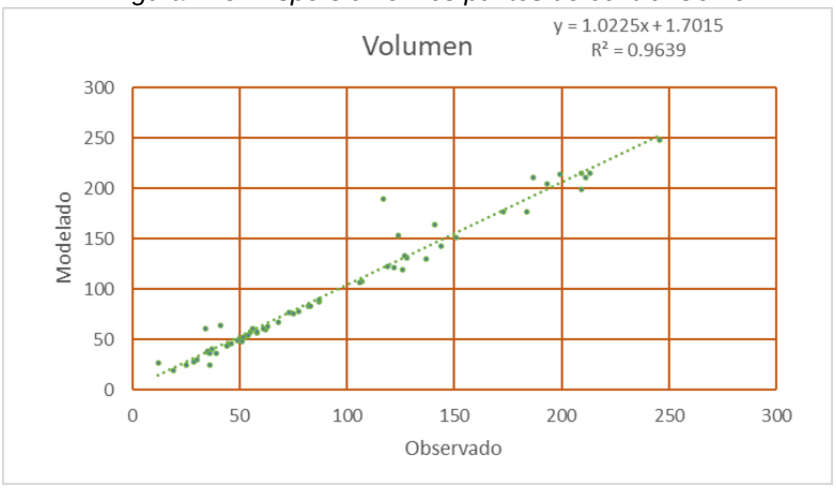
Figura 122. Indicador de GEH para C34 en ZPP



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	60	98.36%
<10	61	100.00%
<12	61	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 123. Dispersión en los puntos de control C34 en ZPP

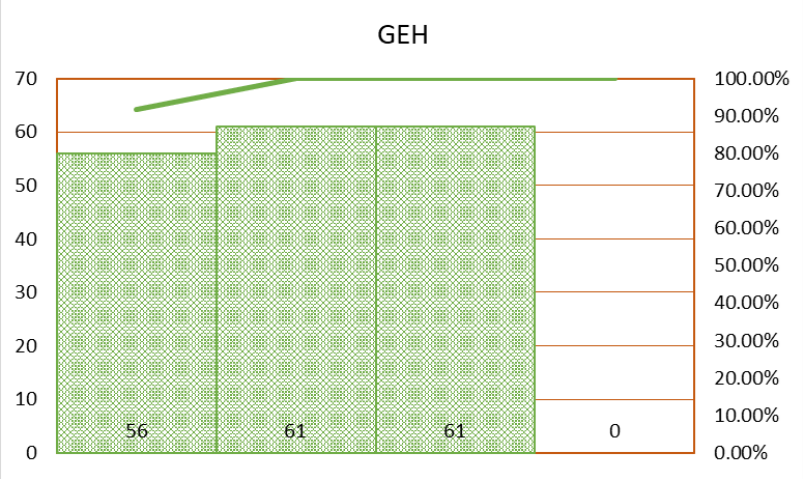


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología de camión de 3 y 4 ejes se evaluaron 61 puntos ubicados en ZPP, de estos el 98.36% presentan valores menores a 5, mientras que el 100% de los datos presentan valores de GEH menores a 10. Por otra parte, el valor obtenido de coeficiente de determinación (r^2) para estos puntos es de 0.9639, es decir que el 96.39% de los datos modelados se ajustan con los datos observados.

Camión de 5 ejes en ZPP

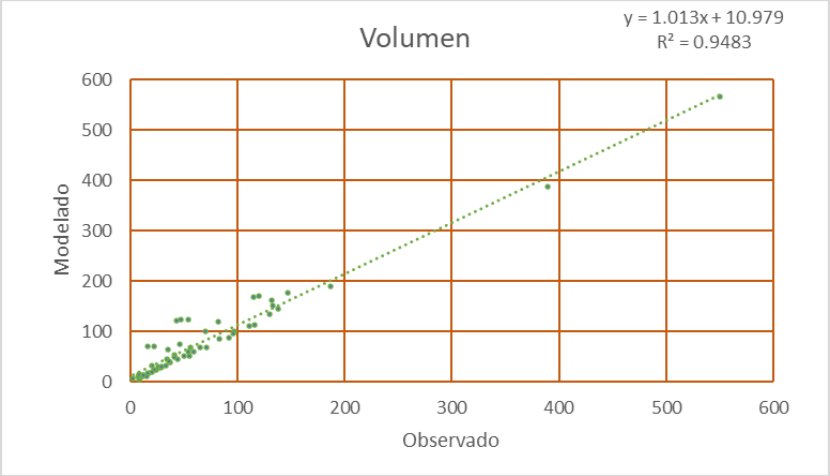
Figura 124. Indicador de GEH para C5 en ZPP



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	56	91.80%
<10	61	100.00%
<12	61	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 125. Dispersión en los puntos de control C5 en ZPP

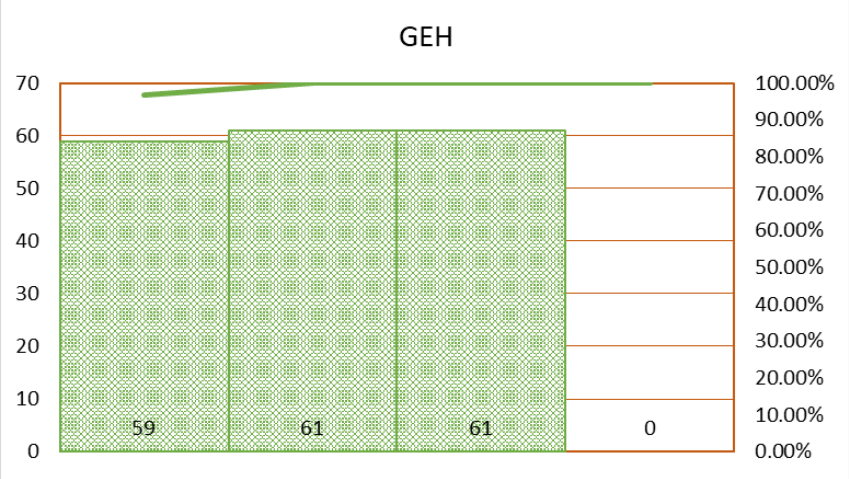


Fuente: Elaboración propia

Para la tipología de camiones de 5 ejes se evaluaron 61puntos ubicados en ZPP. De estos el 91.80% de los datos presentan un GEH menor a 5 y el 100% de los datos presentan un GEH menor al 10, es decir que ningún valor presenta un GEH mayor a 10. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9483, lo cual indica que la mayor parte de los datos modelados (94.83%) se ajustan con los datos observados en campo.

Camión de 6 ejes y más en ZPP

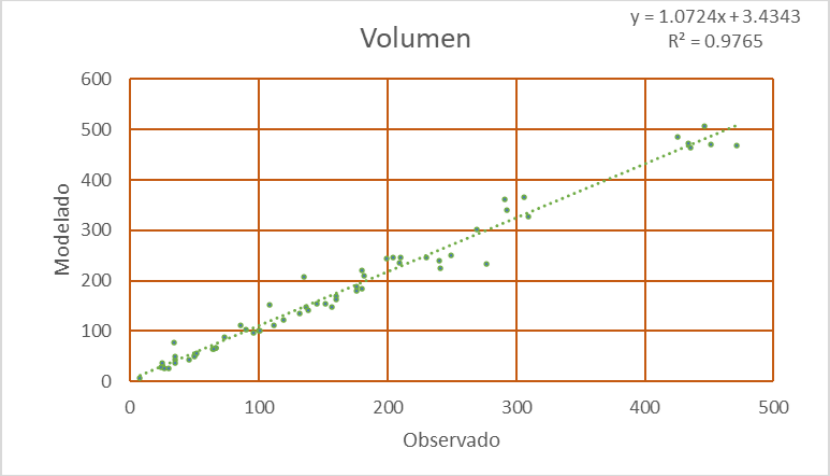
Figura 126. Indicador de GEH para C6M en ZPP



GEH	Cantidad	Porcentaje
<5	59	96.72%
<10	61	100.00%
<12	61	100.00%
>12	0	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Figura 127. Dispersión en los puntos de control C6M en ZPP



Fuente: Elaboración propia

Para la tipología de camiones de 6 ejes y más se evaluaron 61 puntos de los cuales el 96.72% que representa 59 puntos presentan valores de GEH menores a 5, mientras que el 100% de los datos presenta valores menores a 10. En lo referente al coeficiente de determinación (r^2) se obtuvo un valor de 0.9765, lo cual indica que los datos modelados se ajustan a los datos observados al ser este valor cercano a 1.

Desde el ámbito de las ZPP cuando se efectuó la selección de los puntos de control localizados dentro de estas, se generaron los estadísticos para esta porción de los datos en los que se aprecia que como mínimo el 91% de los controles en todos los tipos de camión presentan GEH menor que 5, situación fáctica que resulta satisfactoria para la validación de la calibración. Destacando que los mejores niveles de calibración se logran para los camiones C5 y C6M que son a su vez los más representativos del transporte de carga en el país.

7.5.4. Representación en el modelo de los volúmenes de control en modos férreo – fluvial

A continuación, se relacionan los volúmenes de control en los modos férreo y fluvial para cada segmento de demanda doméstico.

Alimentos agro

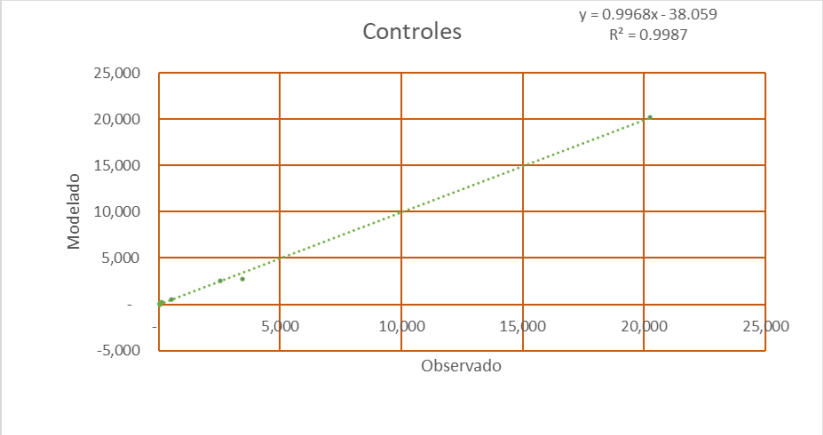
Tabla 120. Calibración fluvial alimentos agro

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	20,248	20,235	74.67%	75.82%	-1.15%
Río Atrato	3,450	2,788	12.72%	10.45%	2.28%
Río Putumayo 1	2,545	2,591	9.38%	9.71%	-0.32%
Río Putumayo 2	541	544	1.99%	2.04%	-0.04%
Río Arauca	58	4	0.21%	0.02%	0.20%
Río Caguán	135	238	0.50%	0.89%	-0.39%
Río Guaviare	55	91	0.20%	0.34%	-0.14%
Río Caquetá	53	164	0.20%	0.62%	-0.42%
Río Amazonas	33	33	0.12%	0.12%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el volumen modelado es similar al volumen observado, asimismo, en la tabla se puede apreciar que la diferencia entre la participación observada y la modelada se encuentra en un rango de -1.15 y 2.28 valores cercanos a 0. A continuación, se presenta el gráfico de dispersión.

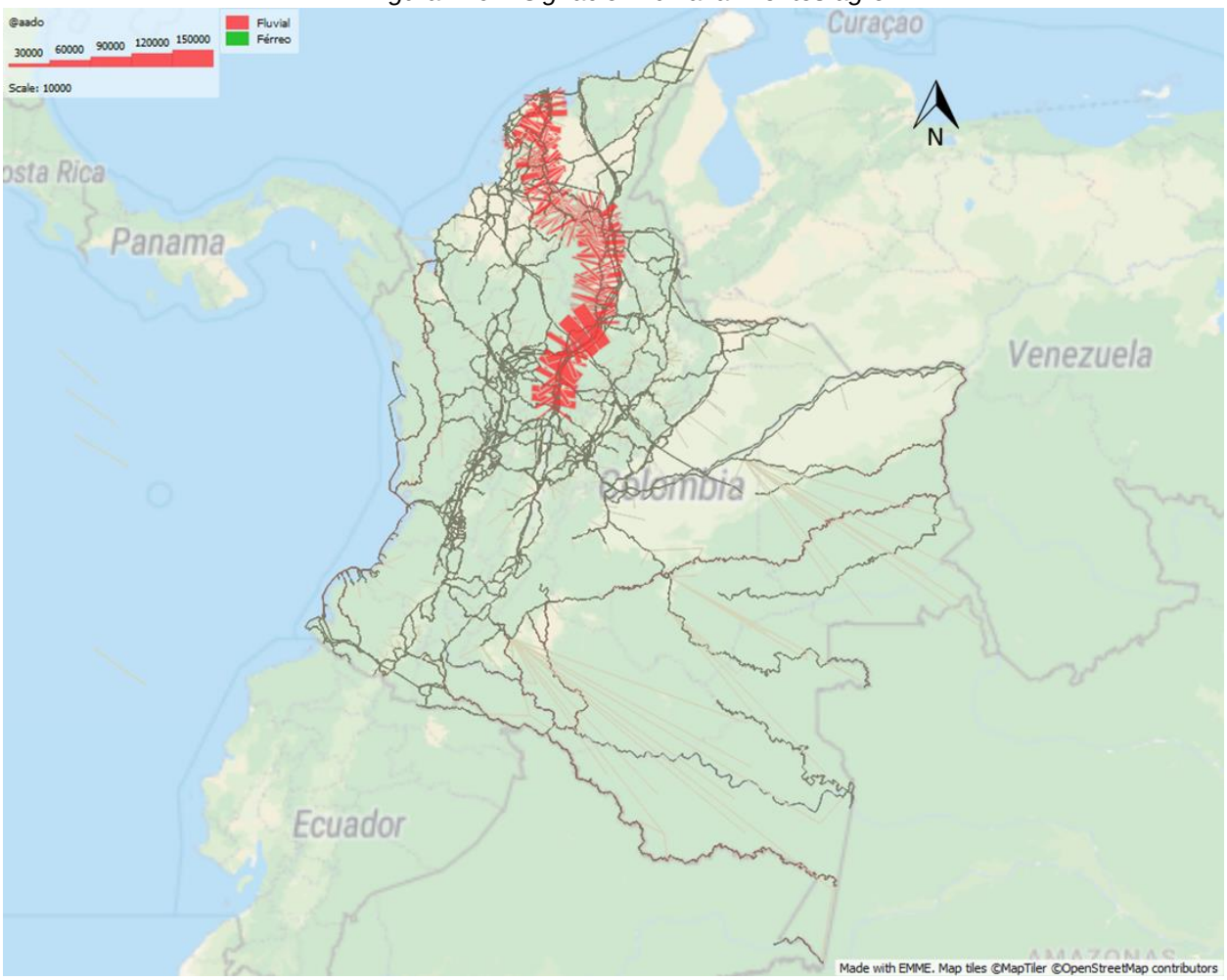
Figura 128. Dispersión en los puntos de control fluvial alimentos agro



Fuente: Elaboración propia

Para el segmento de alimentos agro se obtuvo un valor de r^2 igual a 0.9987 lo cual al ser un valor cercano a 0, indica que los volúmenes modelados se ajustan a los volúmenes observados. En la siguiente figura se presenta la asignación por el modo fluvial del segmento alimentos agro.

Figura 129. Asignación fluvial alimentos agro



Fuente: Elaboración propia

Alimentos procesados

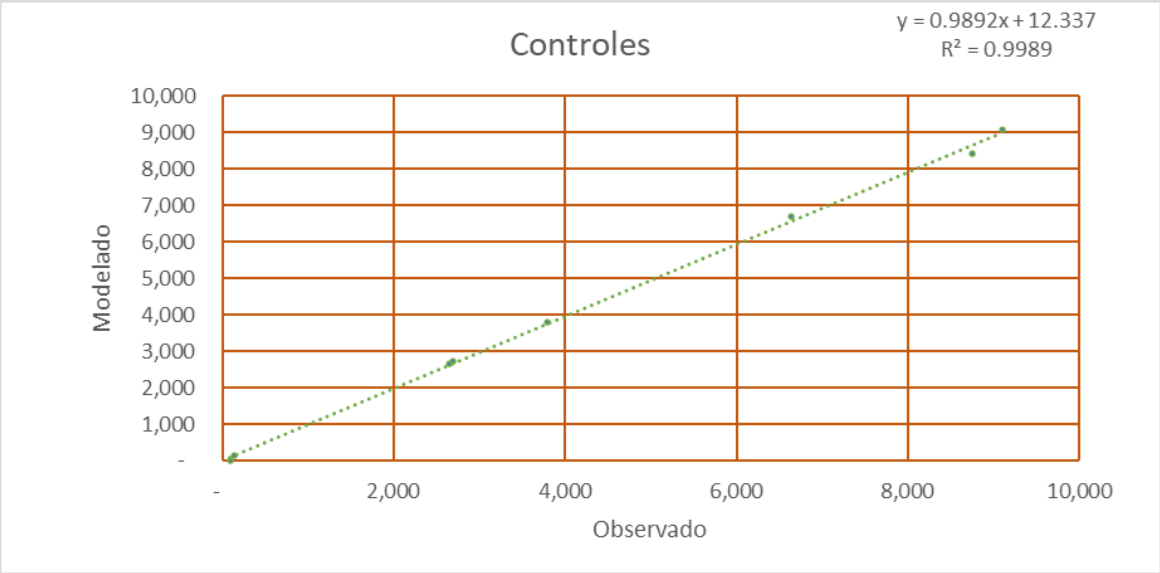
Tabla 121. Calibración fluvial alimentos procesados

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Atrato	8,750	8,436	25.87%	25.14%	0.73%
Río Putumayo	6,637	6,705	19.62%	19.98%	-0.36%
Río Putumayo	3,787	3,812	11.20%	11.36%	-0.16%
Río Arauca	89	0	0.26%	0.00%	0.26%
Río Caguán	135	135	0.40%	0.40%	0.00%
Río Guaviare	9,097	9,097	26.90%	27.11%	-0.21%
Río Caquetá	2,688	2,730	7.95%	8.14%	-0.19%

Fuente: Elaboración propia

Los volúmenes modelados para el segmento alimentos procesados es similar en ordenes de magnitud a los volúmenes observados, de esta manera la participación observada y modelada presentan un comportamiento similar siendo la mayor diferencia entre estos dos valores de 0.73, dato cercano a 0. En la siguiente figura se muestra la dispersión en los puntos de control fluvial, así como el coeficiente de determinación (r^2).

Figura 130. Dispersión en los puntos de control fluvial alimentos procesados



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del segmento alimentos procesados se obtuvo un valor de r^2 de 0.9989 lo cual indica que el 99.89% de los datos modelados presenta un ajuste con los datos observados. Asimismo, se obtuvo un valor de pendiente de 0.9892 valor que al ser cercano a 1 representa una correlación entre el volumen modelado y el observado.

Figura 131. Asignación fluvial alimentos procesados



Fuente: Elaboración propia

Animales vivos

Tabla 122. Calibración fluvial animales vivos

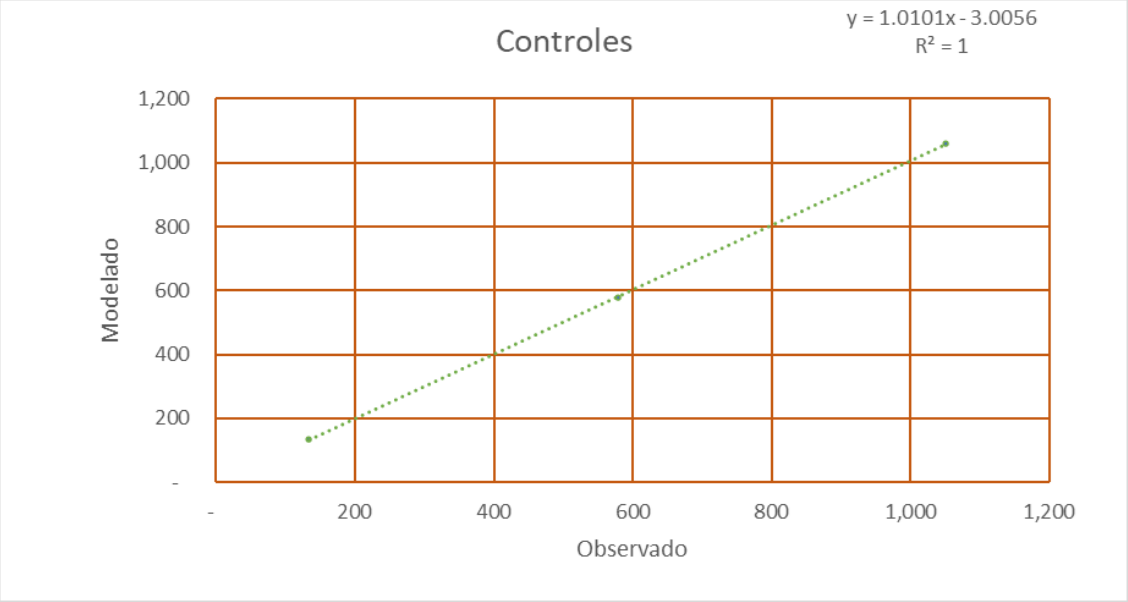
Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Caguán	578	578	32.82%	32.64%	0.18%
Río Guaviare	133	133	7.56%	7.53%	0.04%
Río Caquetá	1,050	1,060	59.61%	59.84%	-0.22%

Fuente: Elaboración propia

Para el segmento animales vivos se obtuvo información para tres ríos los cuales presentan un volumen modelado similar al observado en los mismos ordenes de magnitud de jerarquía, la diferencia entre la participación observada y la modelada está en un rango de

-0.22 y 0.18, estos valores son cercanos a 0. A continuación se presenta el gráfico de dispersión con información del coeficiente de determinación (r^2) y el valor de la pendiente.

Figura 132. Dispersión en los puntos de control fluvial animales vivos



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor del coeficiente de determinación (r^2) de 1, esto indica que los valores modelados de ajustan perfectamente a los volúmenes de control. Asimismo, se obtiene un valor de pendiente de 1.0101 valor cercano a 1. A continuación, se presenta el diagrama de asignación para el segmento de demanda animales vivos para el modo fluvial.

Figura 133. Asignación fluvial animales vivos



Fuente: Elaboración propia

Bebidas con y sin alcohol

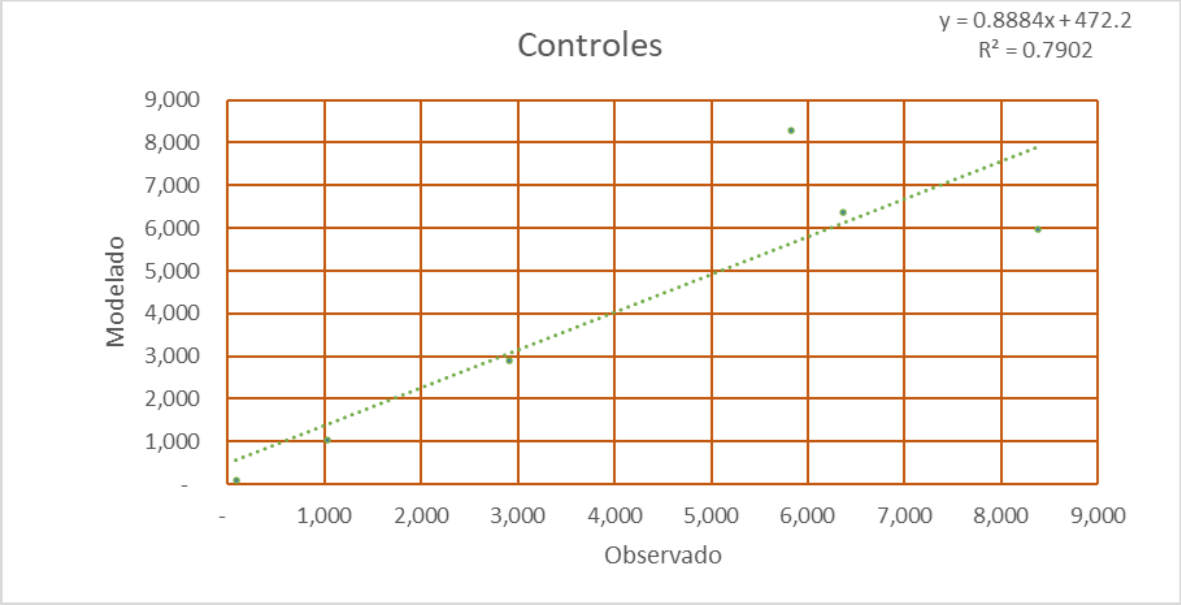
Tabla 123. Calibración fluvial bebidas con y sin alcohol

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Atrato	2,910	2,910	11.83%	11.79%	0.04%
Río Putumayo	8,380	5,987	34.07%	24.25%	9.82%
Río Putumayo	6,369	6,376	25.89%	25.83%	0.06%
Río Caguán	89	89	0.36%	0.36%	0.00%
Río Guaviare	5,825	8,300	23.68%	33.62%	-9.94%
Río Amazonas	1,025	1,025	4.17%	4.15%	0.01%

Fuente: Elaboración propia

Para el segmento bebidas con y sin alcohol se obtuvieron volúmenes de control en 6 puntos en 5 ríos diferentes, se observa que la mayoría de los casos los volúmenes modelados son muy similares a los volúmenes observados. No obstante, en algunos casos el volumen difiere como es en el control del río Guaviare y el primer control del río Putumayo. El rango de diferencia entre la participación modelada y observada se amplía un poco con respecto a los demás segmentos siendo el límite inferior de -9.94 y el límite superior de 9,82, esta diferencia no supera los 10 puntos porcentuales. En la siguiente figura se presenta el diagrama de dispersión con los valores del coeficiente de determinación (r^2) y la pendiente.

Figura 134. Dispersión en los puntos de control fluvial bebidas con y sin alcohol



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de coeficiente de determinación (r^2) de 0.7902 lo que indica que el 79% de los datos modelados se ajustan a los datos observados. En lo referente a la pendiente se obtuvo un valor de 0.8884 lo que indica que los volúmenes modelados tienen una relación con los volúmenes observados, pero no exactamente proporcional. En la siguiente figura se presenta la diagrama de asignación para el segmento bebidas con y sin alcohol por modo fluvial.

Figura 135. Asignación fluvial bebidas con y sin alcohol



Fuente: Elaboración propia

Combustibles

Para el segmento combustibles se obtuvieron 9 puntos de control en el modo fluvial y 1 punto de control para el transporte férreo. En la siguiente tabla se puede observar los valores de volumen modelado y observado, así como la participación.

Tabla 124. Calibración fluvial y férreo combustibles

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	836,721	837,141	62.40%	63.57%	-1.17%
Río Atrato	10,200	10,200	0.76%	0.77%	-0.01%
Río Putumayo	29,027	29,027	2.16%	2.20%	-0.04%
Río Putumayo	22,673	22,447	1.69%	1.70%	-0.01%

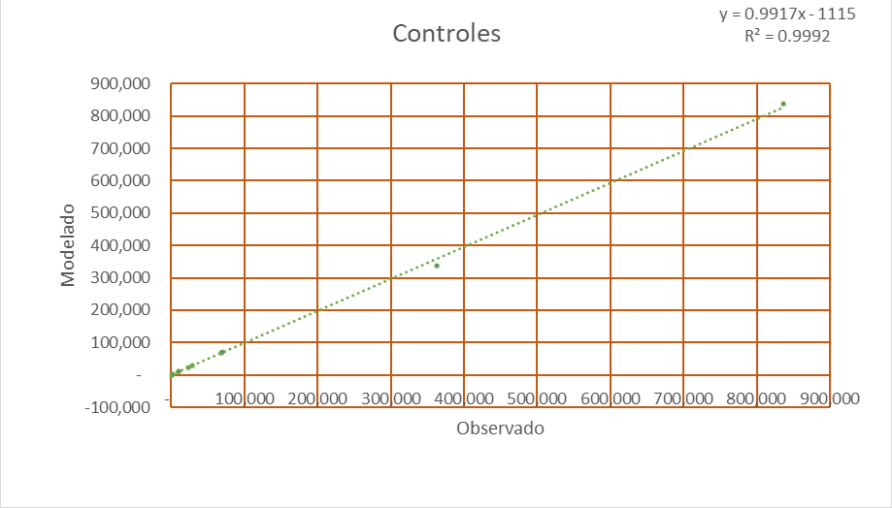
Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Arauca	147	1	0.01%	0.00%	0.01%
Río Caguán	68,096	68,885	5.08%	5.23%	-0.15%
Río Guaviare	9,937	9,938	0.74%	0.75%	-0.01%
Río Caquetá	362,481	337,564	27.03%	25.64%	1.40%
Río Amazonas	1,590	1,590	0.12%	0.12%	0.00%

Corredor Férreo	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO
Dorada - Chiriguaná	70,197	71,453

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes modelados y observados se identifica que estos son muy similares en magnitud, dado que en los ríos de mayor volumen observado en el modelo también se presenta este comportamiento. Al observar la diferencia entre la participación observada y modelada se tiene un rango de -1.17 a 1.40 , estos valores son cercanos a 0. A continuación se presenta el gráfico de dispersión.

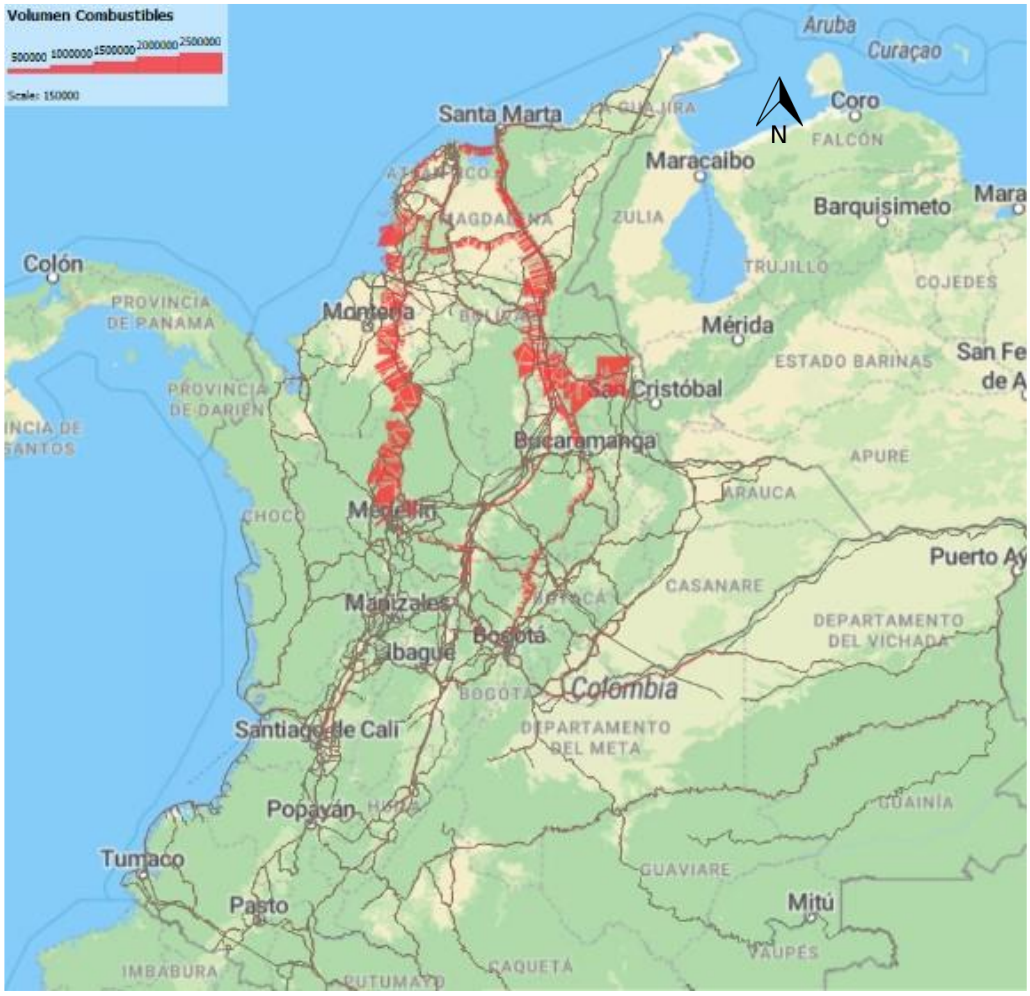
Figura 136. Dispersión en los puntos de control fluvial y férreo combustibles



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9992, es decir, que el 99.92% de los datos modelados se ajustan con los datos observados. En lo referente a la pendiente se obtuvo un valor de 0.9917 es decir que existe una correlación entre los datos modelados y los observados. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento combustibles para los modos fluvial y férreo.

Figura 137. Asignación fluvial y férreo combustibles



Fuente: Elaboración propia

Grasas y aceites

Para el segmento de grasa y aceites se obtuvo información en dos puntos control, uno en el río Putumayo y otro en el Río Amazonas. En la siguiente tabla se relaciona la información de volumen observado y modelado, así como la participación.

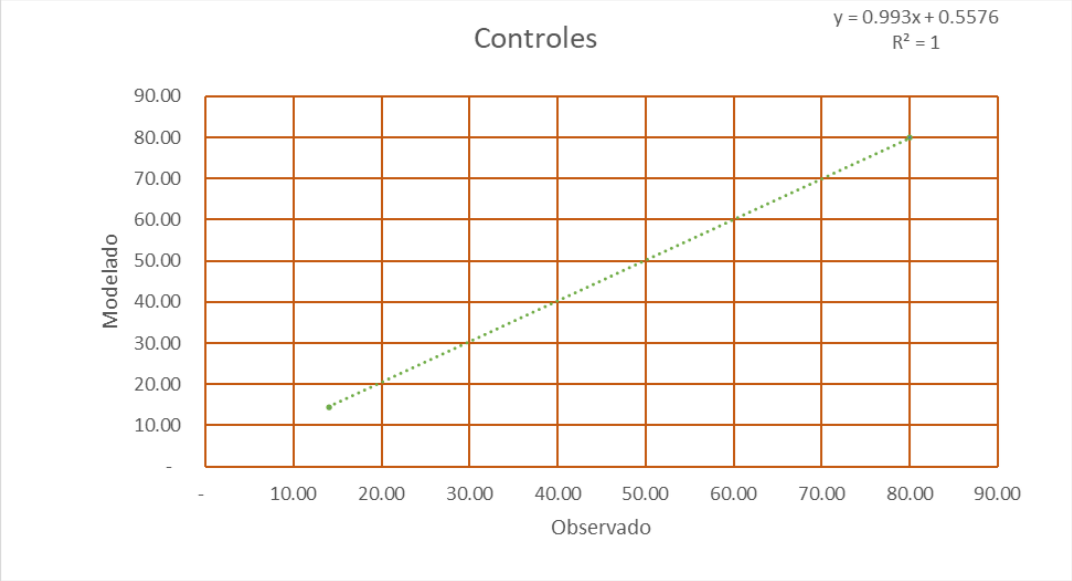
Tabla 125. Calibración fluvial grasas y aceites

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Putumayo	14	14	14.89%	15.31%	-0.41%
Río Amazonas	80	80	85.11%	84.69%	0.41%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los datos de volumen observado y modelados se observa una similitud entre estos, de igual manera al analizar la participación observada y modelada se obtuvo márgenes de diferencia cercanos a 0. A continuación se presenta el gráfico de dispersión.

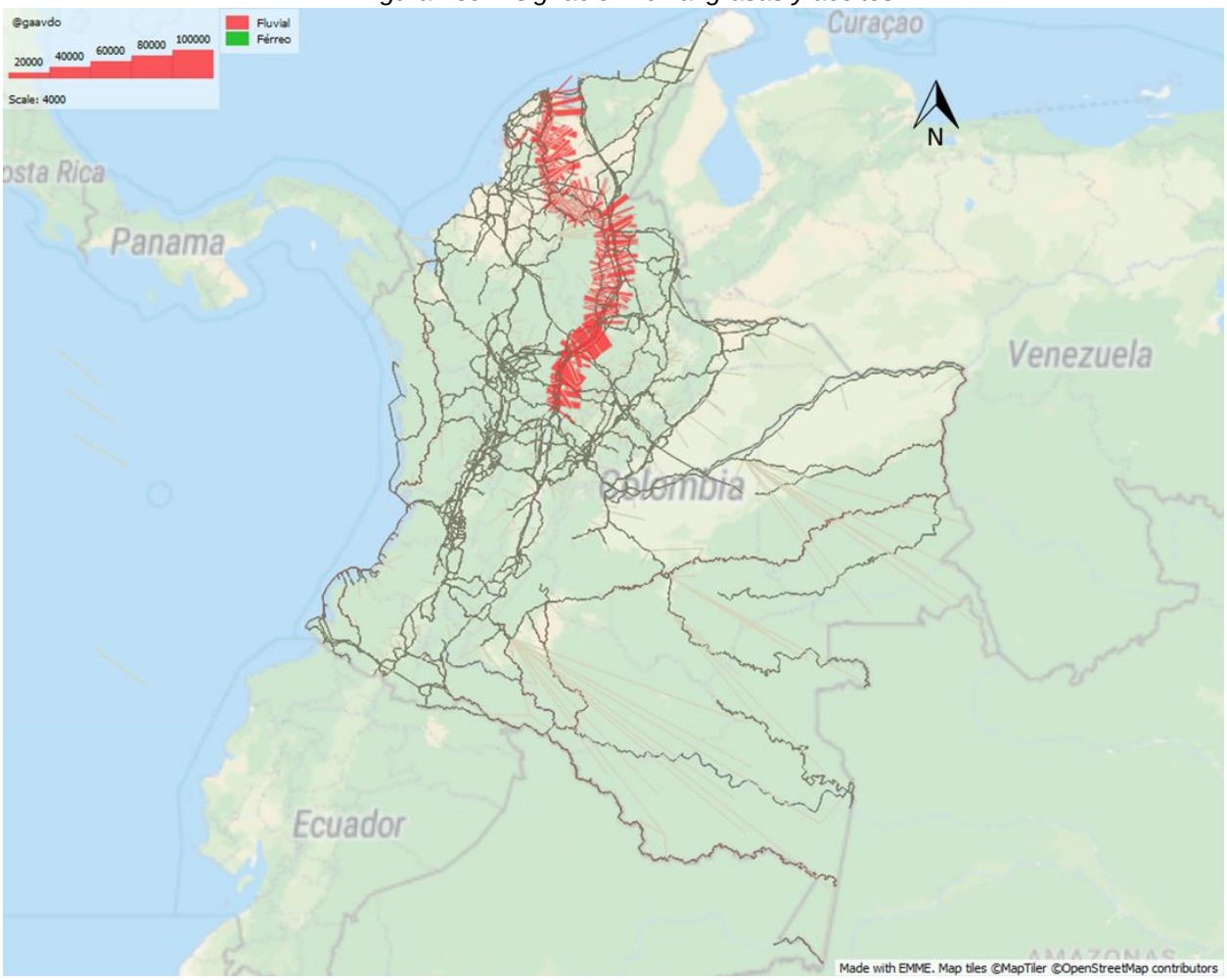
Figura 138. Dispersión en los puntos de control fluvial grasas y aceites



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) de 1, lo cual indica que los valores modelados se ajustan perfectamente a los volúmenes observados. En la siguiente figura se muestra el diagrama de asignación para el segmento de grasas y aceites para el modo fluvial.

Figura 139. Asignación fluvial grasas y aceites



Fuente: Elaboración propia

Hidrocarburos

Para el segmento de hidrocarburos se obtuvieron volúmenes de control en 8 puntos en 7 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

Tabla 126. Calibración fluvial hidrocarburos

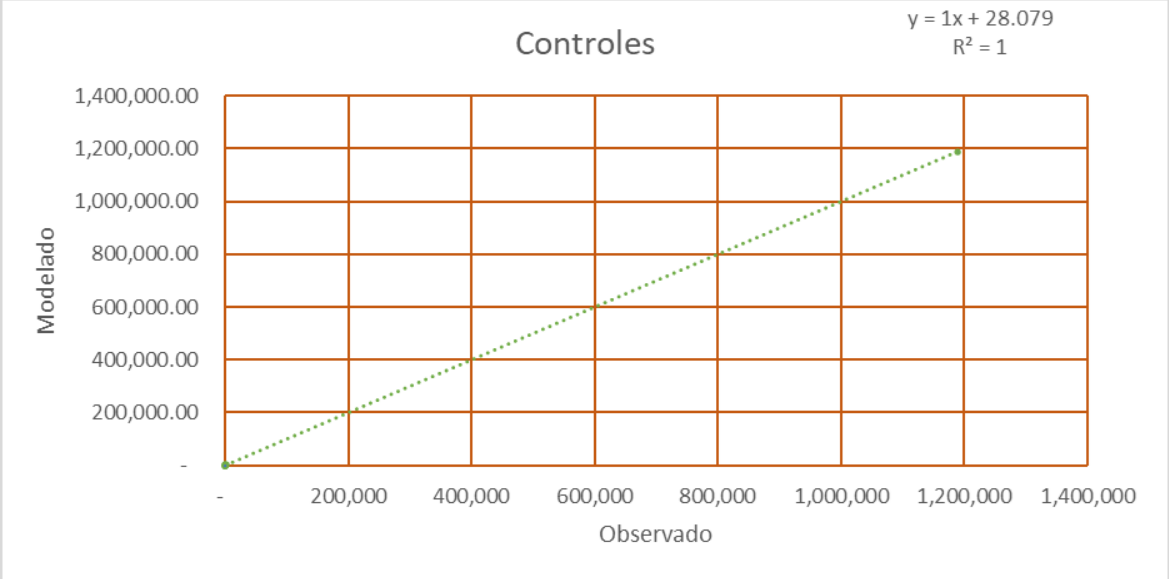
Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	1,190,155	1,190,145	99.75%	99.74%	0.02%
Río Atrato	600	600	0.05%	0.05%	0.00%
Río Putumayo	649	658	0.05%	0.06%	0.00%
Río Putumayo	260	294	0.02%	0.02%	0.00%
Río Arauca	0	154	0.00%	0.01%	-0.01%
Río Caguán	181	181	0.02%	0.02%	0.00%
Río Guaviare	1,211	1,211	0.10%	0.10%	0.00%

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Amazonas	42	42	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes modelado con los observados se identifica que en la mayoría de los casos corresponde al mismo valor, a excepción del volumen modelado en el río Arauca. No obstante, al analizar los datos de participación se observa que la diferencia es de -0.01 para ese caso, dado que para los demás es 0. A continuación se presenta el gráfico de dispersión.

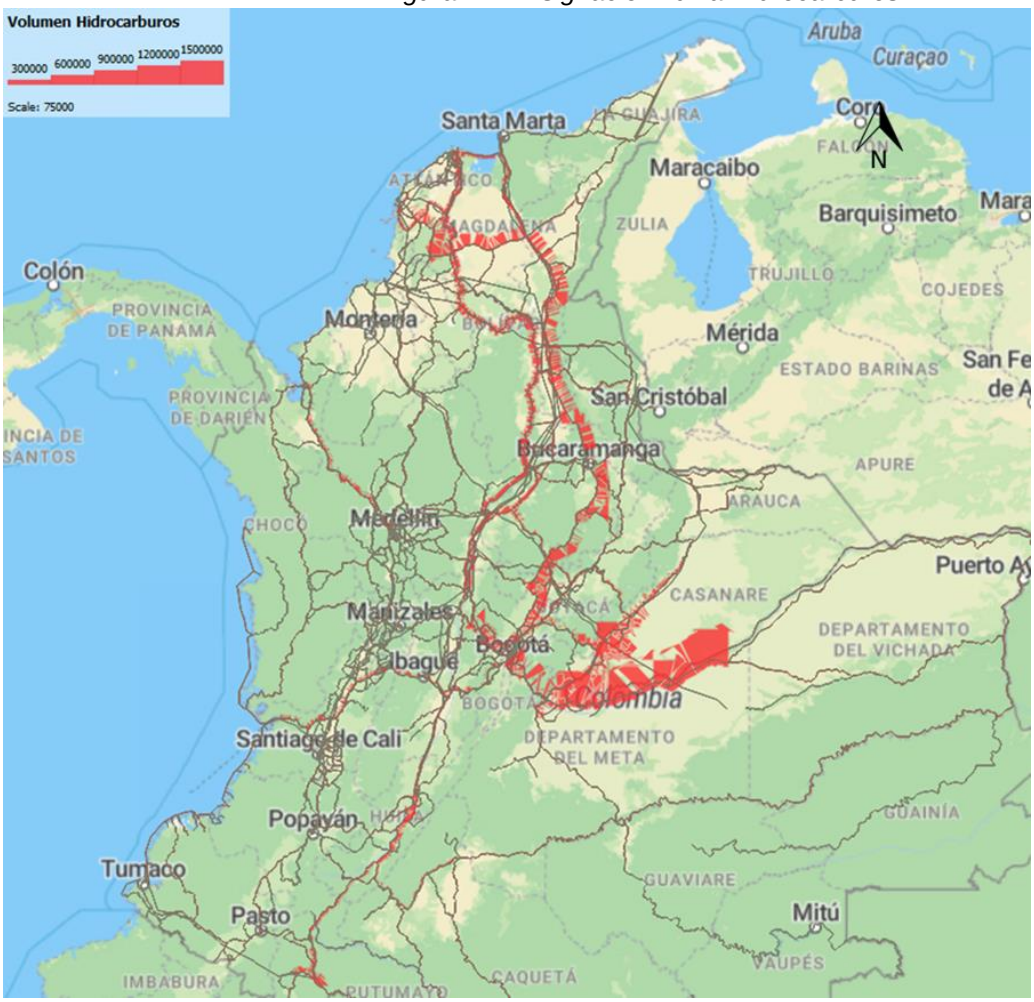
Figura 140. Dispersión en los puntos de control fluvial hidrocarburos



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación (r^2) y un valor de pendiente igual a 1, estos valores indican que existe un ajuste perfecto entre los valores modelados y los volúmenes observados. En la siguiente figura se muestra el diagrama de asignación para el segmento de hidrocarburos por el modo fluvial.

Figura 141. Asignación fluvial hidrocarburos



Fuente: Elaboración propia

Maderas

Para el segmento maderas se obtuvieron volúmenes de control en 6 puntos en 5 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

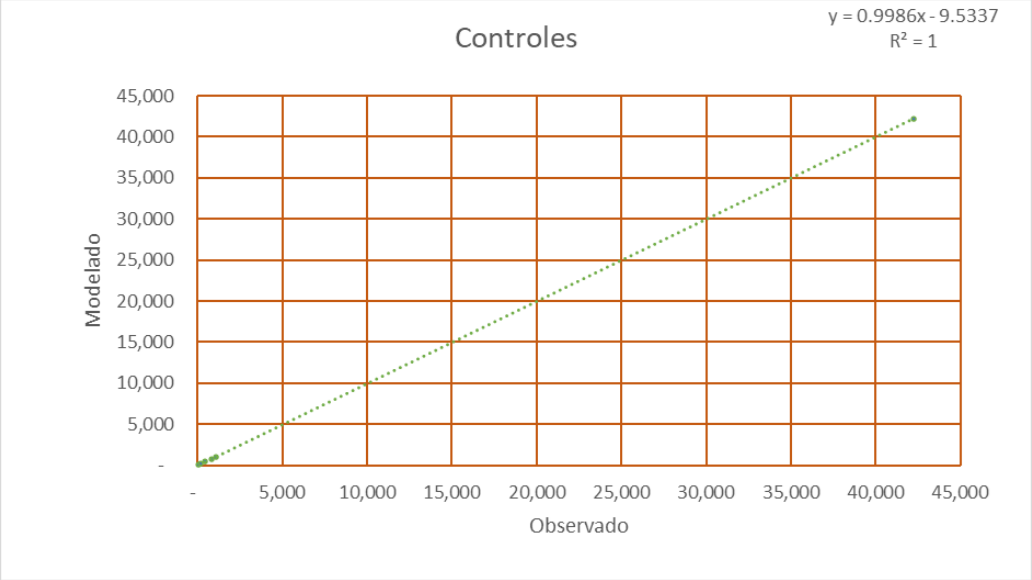
Tabla 127. Calibración fluvial maderas

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Atrato	42,270	42,201	94.37%	94.47%	-0.10%
Río Putumayo	801	801	1.79%	1.79%	0.00%
Río Putumayo	442	445	0.99%	1.00%	-0.01%
Río Caguán	46	46	0.10%	0.10%	0.00%
Río Caquetá	1,078	1,023	2.41%	2.29%	0.12%
Río Amazonas	157	157	0.35%	0.35%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes de modelados con los observados tiene ordenes de magnitud similares, donde los ríos con mayores volúmenes de carga observado en el modelo presentan de igual manera mayores volúmenes. En lo referente a la participación se obtiene diferencias muy cercanas a 0. A continuación, se presenta el gráfico de dispersión.

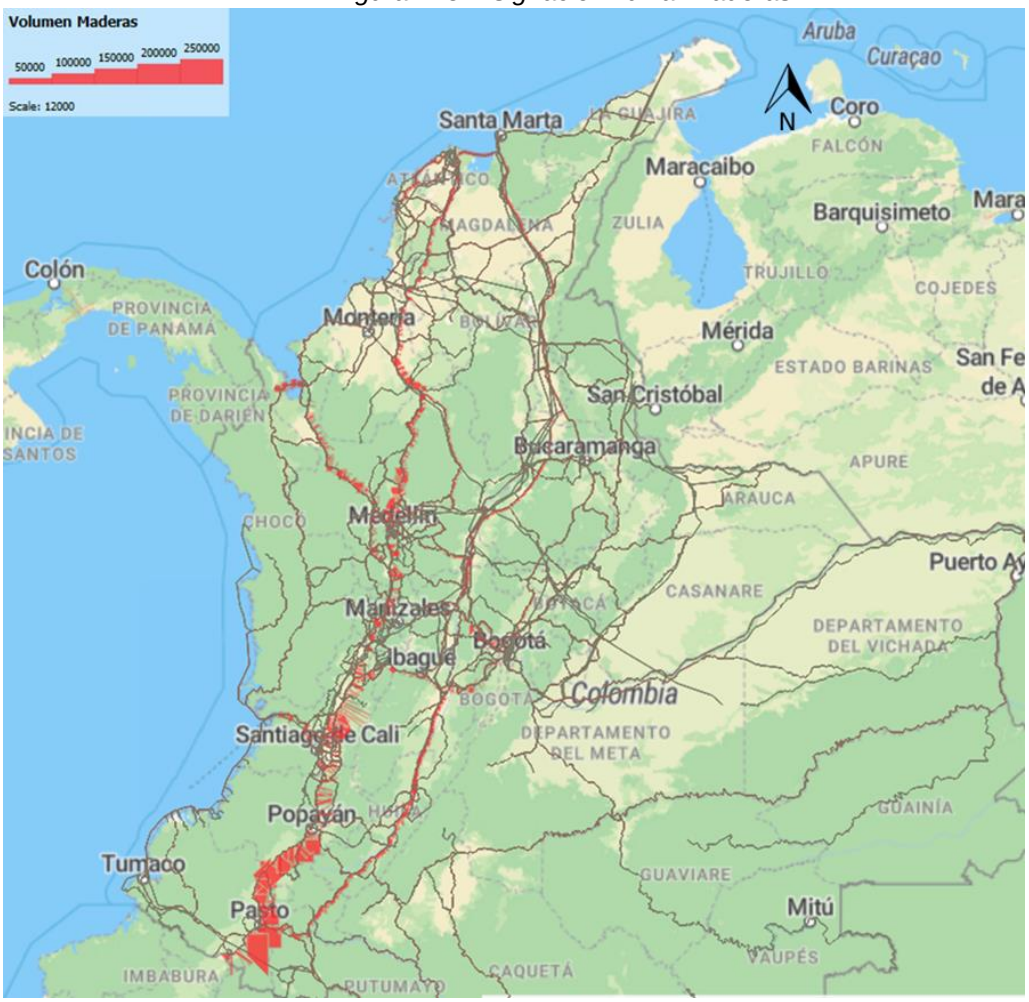
Figura 142. Dispersión en los puntos de control fluvial maderas



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación de 1 y un valor de pendiente de 0.9986 valor cercano a 1, estos valores indican que los volúmenes modelados se ajustan perfectamente con los datos observados. En la siguiente figura se presenta el diagrama de asignación para el segmento maderas por el modo fluvial.

Figura 143. Asignación fluvial maderas



Fuente: Elaboración propia

Minerales

Para el segmento minerales se obtuvieron volúmenes de control en 5 puntos en 4 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

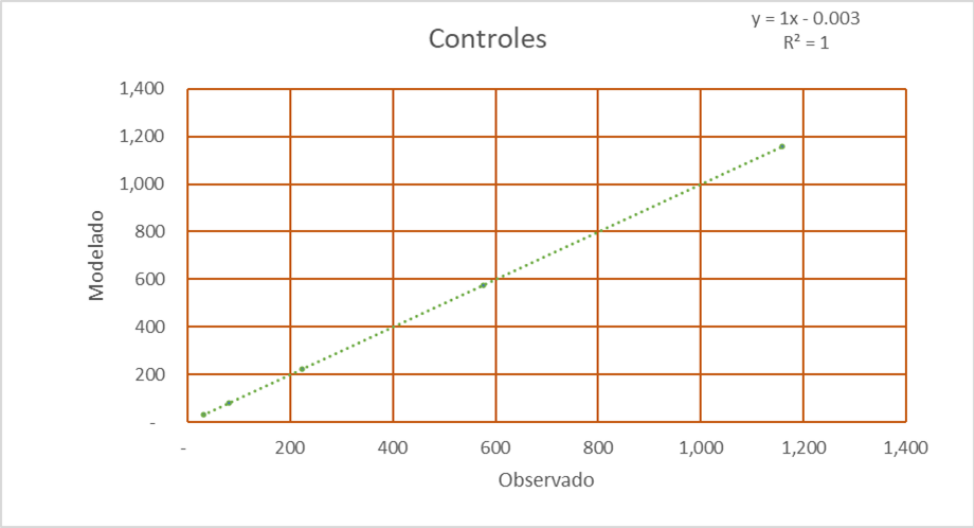
Tabla 128. Calibración fluvial minerales

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	1,158	1,158	55.97%	55.97%	0.00%
Río Putumayo	577	577	27.89%	27.89%	0.00%
Río Putumayo	31	31	1.50%	1.50%	0.00%
Río Guaviare	223	223	10.78%	10.78%	0.00%
Río Amazonas	80	80	3.87%	3.87%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes modelados con los observados se obtienen los mismos valores por consiguiente la diferencia entre la participación observada y modelada es 0. En la siguiente figura se presenta el gráfico de dispersión donde se obtienen valores de r^2 y de pendiente igual a 1, lo cual indica que los volúmenes modelados se ajustan perfectamente a los observados.

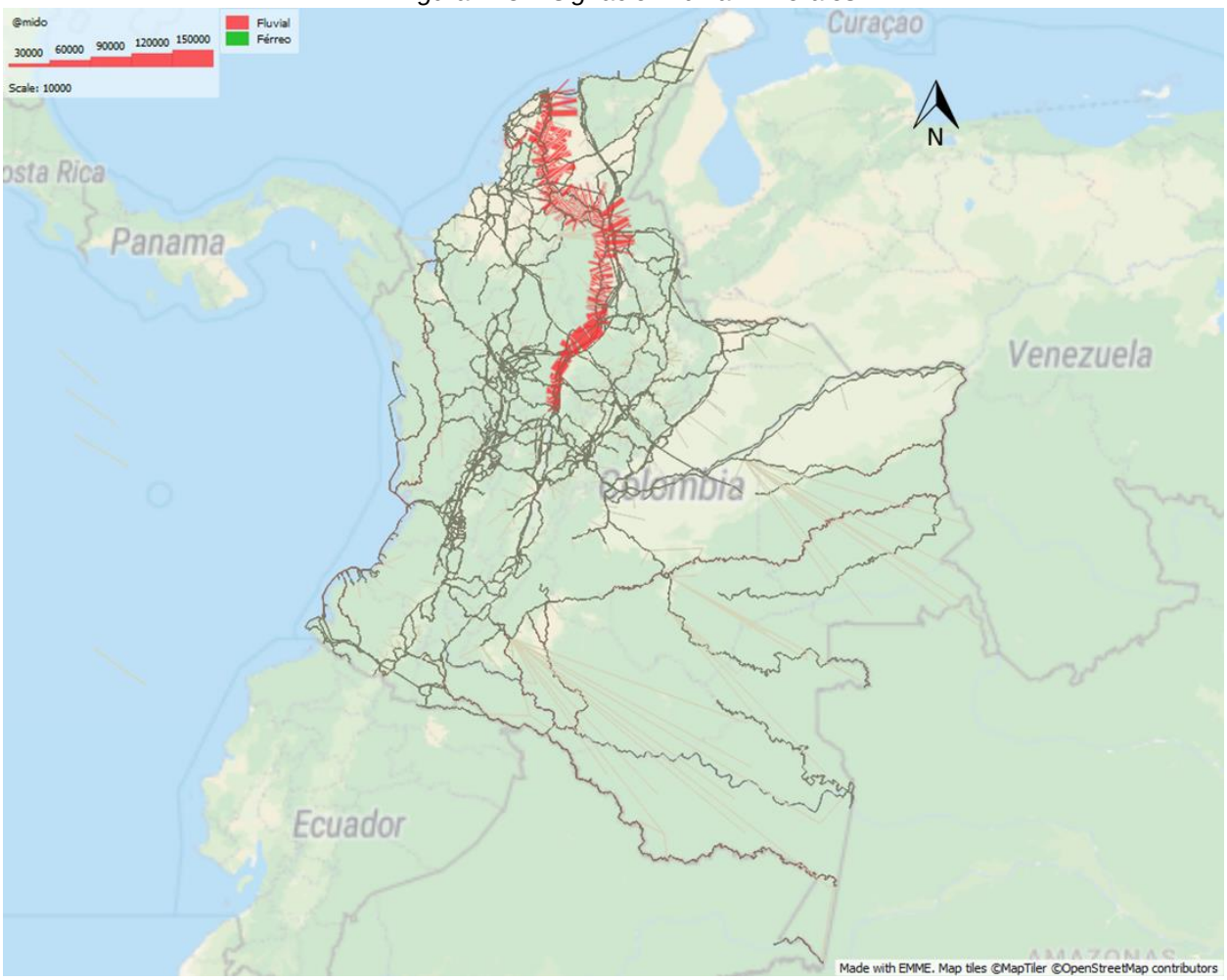
Figura 144. Dispersión en los puntos de control fluvial minerales



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presenta el diagrama de asignación para el segmento minerales para el modo fluvial.

Figura 145. Asignación fluvial minerales



Fuente: Elaboración propia

Otros

Para el segmento otros se obtuvieron volúmenes de control en 7 puntos en 6 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

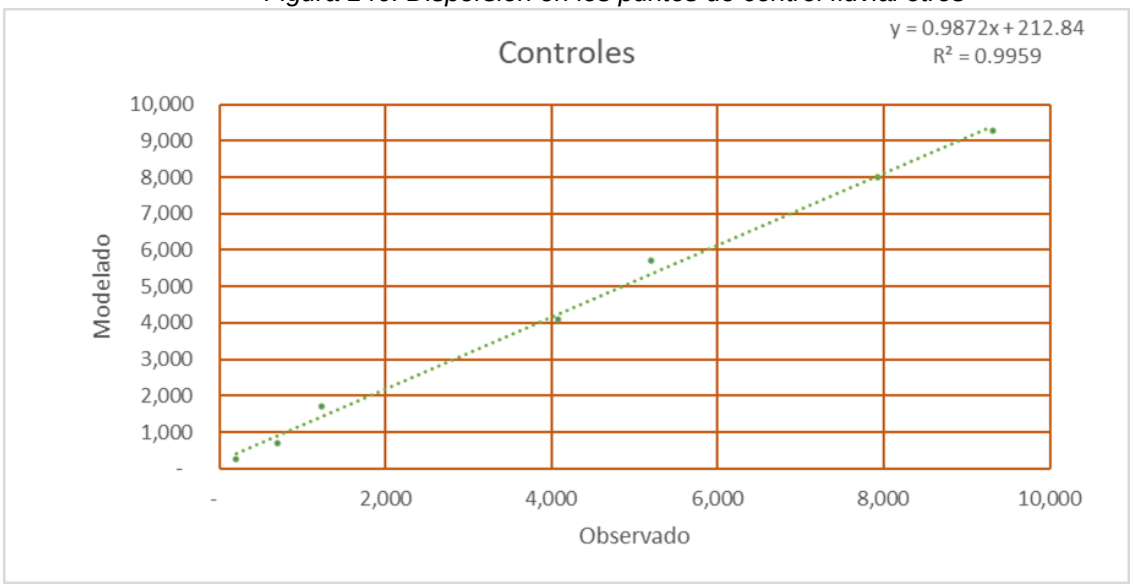
Tabla 129. Calibración fluvial otros

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	9,313	9,262	32.52%	31.12%	1.40%
Río Atrato	1,224	1,701	4.27%	5.72%	-1.44%
Río Putumayo	7,924	8,009	27.67%	26.92%	0.76%
Río Putumayo	5,202	5,718	18.17%	19.22%	-1.05%
Río Caguán	203	271	0.71%	0.91%	-0.20%
Río Guaviare	4,075	4,102	14.23%	13.79%	0.44%
Río Amazonas	693	693	2.42%	2.33%	0.09%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la participación observada y modelada se obtuvo una diferencia cerca de 0 en un rango de -1.44 y 1.40, esto indica que los valores modelados son muy similares a los volúmenes observados. A continuación, se presenta el gráfico de dispersión.

Figura 146. Dispersión en los puntos de control fluvial otros



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9959 valor muy cercano a 1, lo indica que la mayor parte de los datos (99.59%) se ajustan a los volúmenes observados. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento otro para el modo fluvial.

Figura 147. Asignación fluvial otros



Fuente: Elaboración propia

Papel y cartón

Para el segmento papel y cartón se obtuvieron volúmenes de control en 4 puntos en 3 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

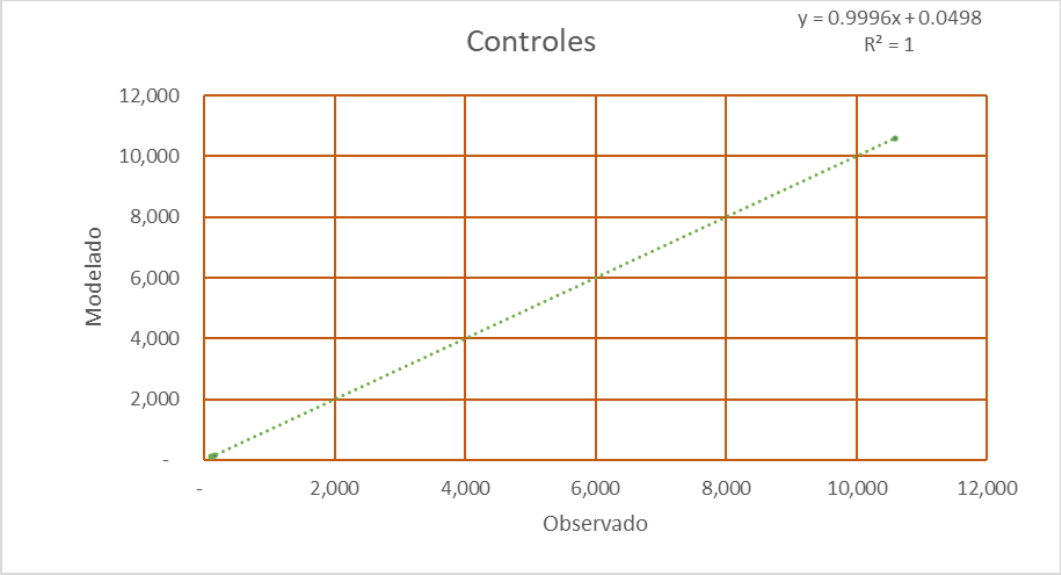
Tabla 130. Calibración fluvial papel y cartón

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	10,597	10,593	96.64%	96.63%	0.00%
Río Putumayo	100	100	0.91%	0.91%	0.00%
Río Putumayo	113	113	1.03%	1.03%	0.00%
Río Amazonas	156	156	1.42%	1.42%	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los volúmenes modelados con los observado se encontraron los mismos valores, por consiguiente, la diferencia entre la participación observada y modelada es de 0. A continuación se presenta el gráfico de dispersión de los datos.

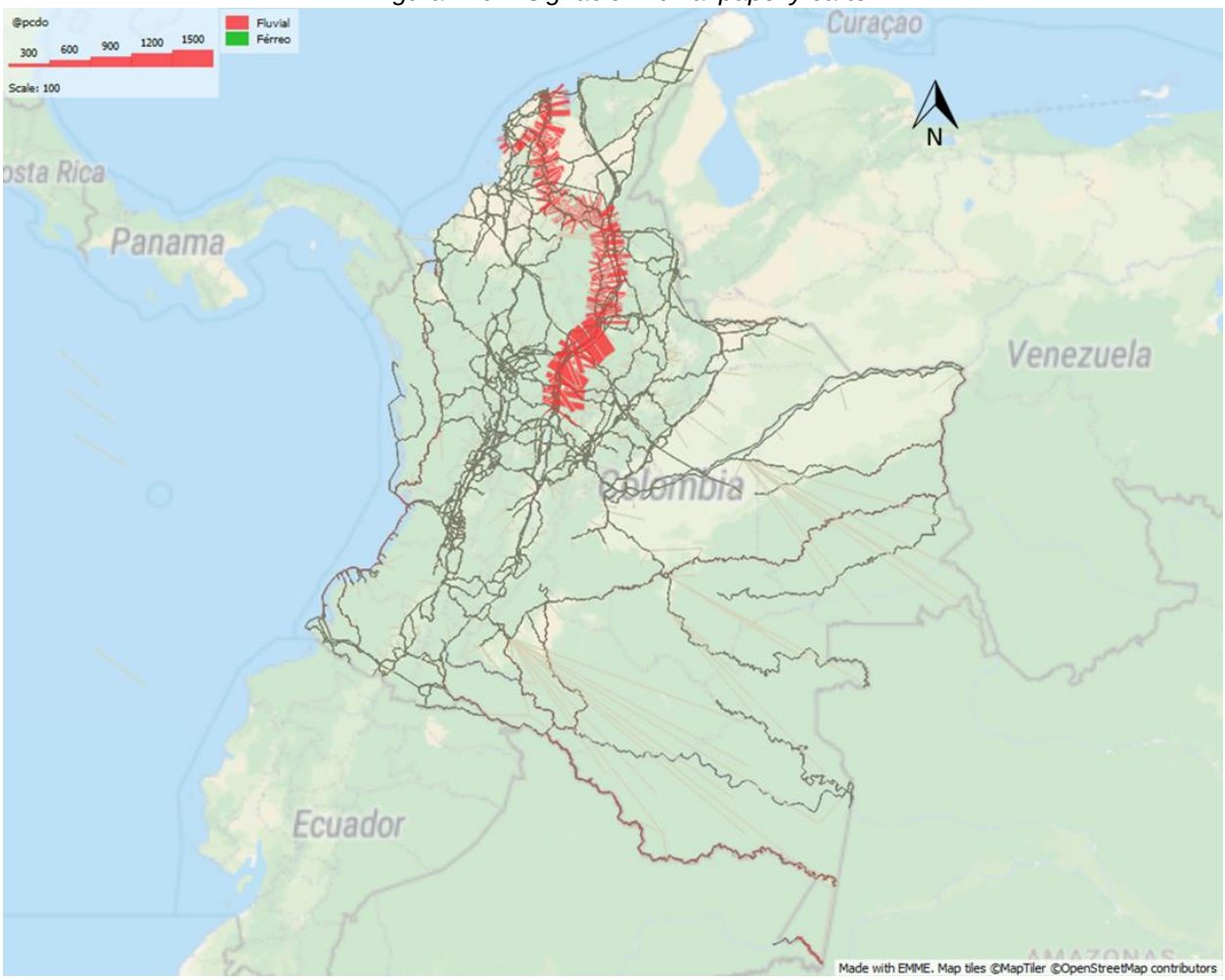
Figura 148. Dispersión en los puntos de control fluvial papel y cartón



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de coeficiente de determinación igual a 1, es decir, que el 100% de los datos se ajustan a los volúmenes observados. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento papel y cartón para el modo fluvial.

Figura 149. Asignación fluvial papel y cartón



Fuente: Elaboración propia

Producción industrial

Para el segmento producción industrial se obtuvieron volúmenes de control en 5 puntos en 4 ríos diferentes, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

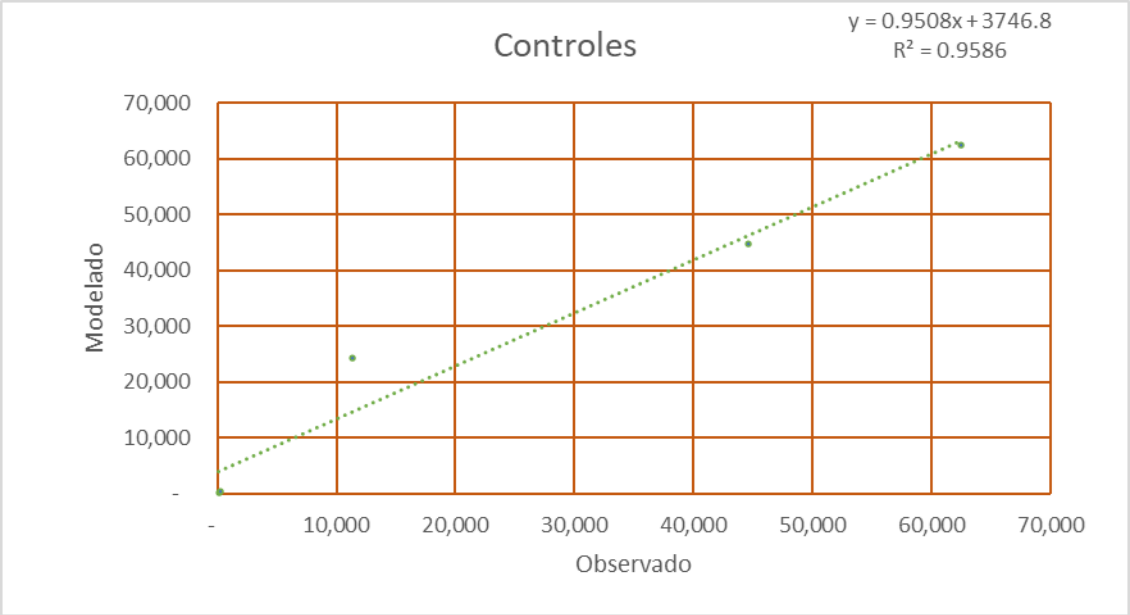
Tabla 131. Calibración fluvial producción industrial

Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Magdalena	11,295	24,184	9.51%	18.36%	-8.86%
Río Putumayo	62,504	62,505	52.61%	47.46%	5.15%
Río Putumayo	44,632	44,702	37.57%	33.94%	3.62%
Río Guaviare	111	42	0.09%	0.03%	0.06%
Río Amazonas	265	265	0.22%	0.20%	0.02%

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los datos de volumen se observan algunas diferencias entre el valor modelo y el observado, no obstante, al analizar los órdenes de magnitud de las diferencias de participación esas diferencias no superan los 10 puntos. En la siguiente figura se muestra el diagrama de dispersión para los datos.

Figura 150. Dispersión en los puntos de control fluvial producción industrial



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9586, es decir que el 95,86% de los datos modelados se ajustan a los datos observados. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento producción industrial para el modo fluvial.

Figura 151. Asignación fluvial producción industrial



Fuente: Elaboración propia

Materiales de construcción

Para el segmento materiales de construcción se obtuvieron volúmenes de control en 7 puntos en 6 ríos diferentes y un punto de control en el corredor férreo Bogotá - Belencito, en la siguiente tabla se relaciona los volúmenes modelados y observados, así como la participación.

Tabla 132. Calibración fluvial y férreo materiales de construcción

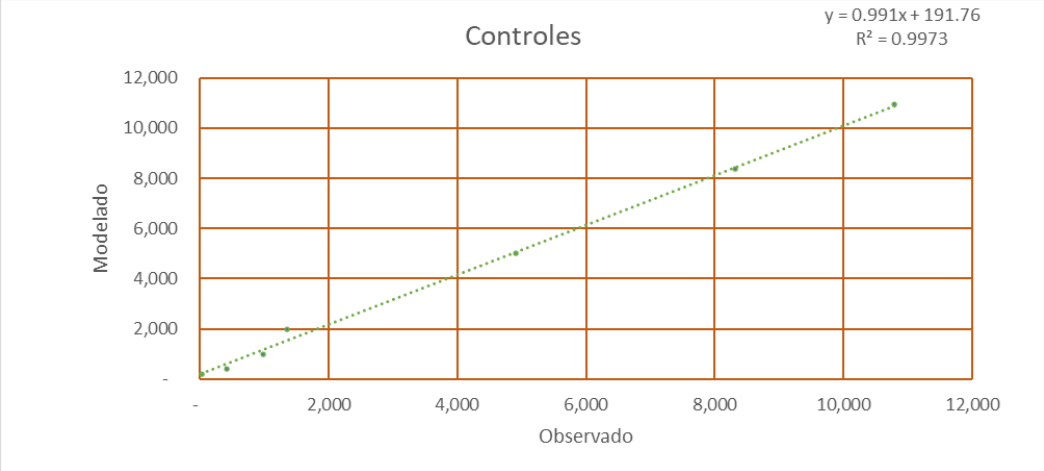
Río	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO	PARTICIPACIÓN OBSERVADA	PARTICIPACIÓN MODELADA	DIF
Río Atrato	1,350	1,988	5.04%	7.13%	-2.09%
Río Putumayo	8,313	8,366	31.03%	30.00%	1.03%
Río Putumayo	4,912	5,008	18.33%	17.95%	0.38%
Río Caguán	414	410	1.55%	1.47%	0.08%
Río Guaviare	10,797	10,931	40.30%	39.19%	1.11%
Río Caquetá	18	202	0.07%	0.72%	-0.66%
Río Amazonas	986	986	3.68%	3.54%	0.15%

Corredor Férreo	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN MODELADO
Bogotá - Belencito	31,094	31,258

Fuente: Elaboración propia

Al comparar la participación de los volúmenes observados y modelados se obtuvieron diferencias en un rango de -2.09 y 1.11, es valores son cercanos a 0 lo cual indica que los volúmenes modelados son muy similares a los volúmenes observados. En la siguiente figura se presenta el gráfico de dispersión de los datos.

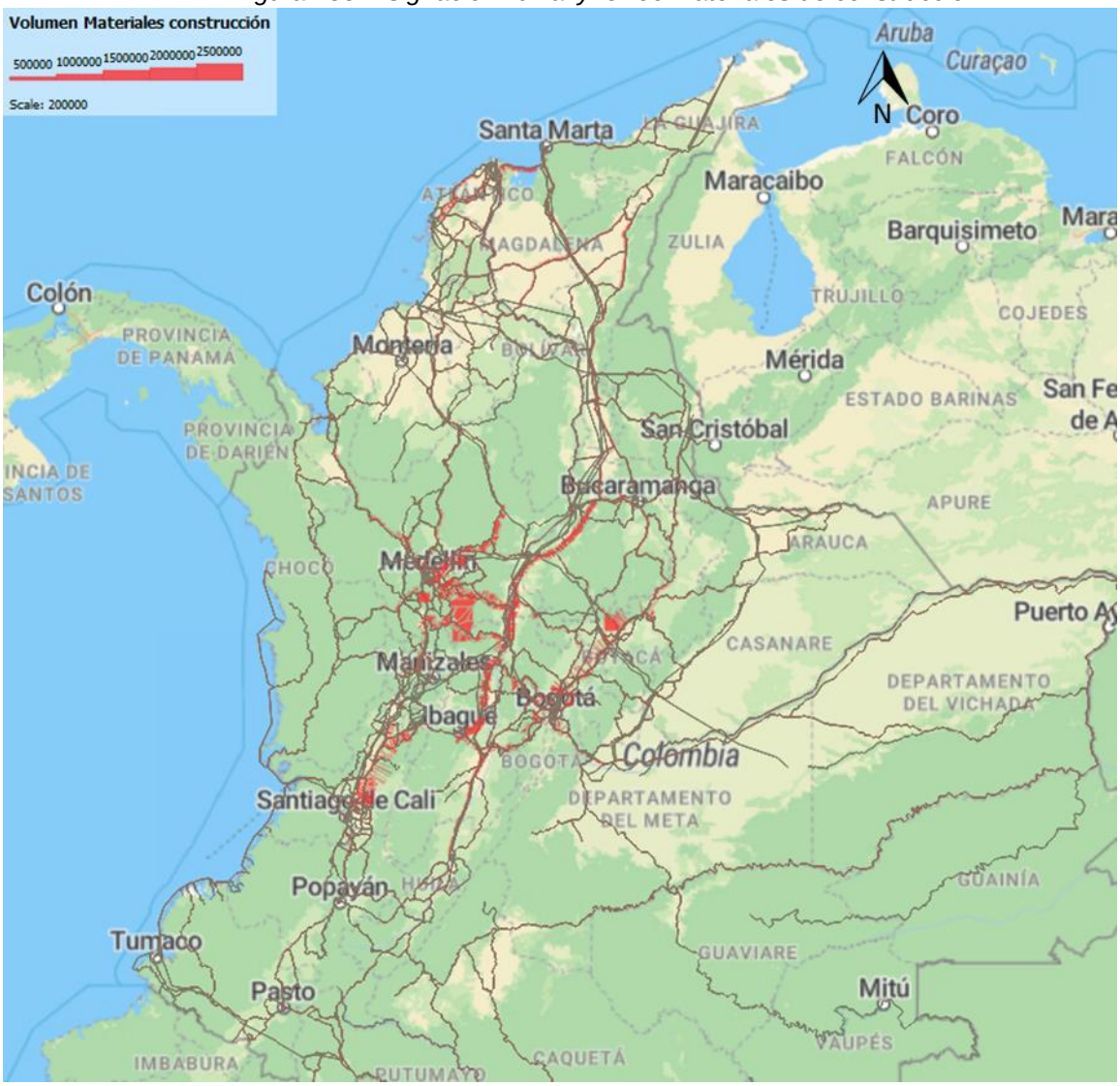
Figura 152. Dispersión en los puntos de control fluvial y férreo materiales de construcción



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de coeficiente de determinación de 0.9973 lo cual indica que la mayor parte de los volúmenes modelados se ajustan a los volúmenes observados. En la siguiente figura se presenta la asignación del segmento materiales de construcción para los modos fluvial y férreo.

Figura 153. Asignación fluvial y férreo materiales de construcción



Fuente: Elaboración propia

Con relación a la calibración realizada para el modo de transporte fluvial, se ha logrado asegurar como lo muestran los resultados que la representación de los volúmenes en el modelo sea adecuada respecto de las estadísticas fluviales reportadas en las fuentes oficiales que se han referenciado a lo largo del presente informe, tanto para ríos principales como secundarios y en los ámbitos nacionales y de ZPP.

Por su parte para la calibración de la carga del modo férreo, se aprecia una adecuada representación de los volúmenes del modelo para los segmentos de carga correspondientes a materiales de construcción y combustibles en los corredores férreos de Bogotá – Belencito y Dorada Chiriguaná.

7.6. Comparación matrices semilla con matrices calibradas

Se realizó un análisis comparativo entre el valor total de las matrices semilla por segmento de carga doméstica y comercio exterior con los valores de carga totales derivados de la calibración con el fin de determinar la diferencia porcentual.

Tabla 133. Comparación total matrices semilla vs calibradas

Segmento Carga	Semilla	Calibración	DIF
Alimento agro	37,603,440	37,819,271	0.57%
Alimento para animales	5,114,668	5,178,517	1.25%
Alimentos procesados	19,260,819	19,171,667	-0.46%
Animales vivos	1,597,109	1,611,642	0.91%
Bebidas con y sin alcohol	21,196,955	21,145,745	-0.24%
Combustibles	17,852,119	17,691,233	-0.90%
Grasas y aceites animales o vegetale	8,034,458	7,829,537	-2.55%
Hidrocarburos	8,573,416	8,785,547	2.47%
Maderas	1,481,461	1,472,318	-0.62%
Materiales de construcción	38,160,796	37,987,017	-0.46%
Minerales	20,049,804	19,700,362	-1.74%
Papel y cartón	6,784,453	6,833,086	0.72%
Producción Industrial	78,502,509	78,128,828	-0.48%
Otros	46,653,552	47,258,057	1.30%
TOTAL	**310,865,559**	**310,612,826**	-0.08%

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se realizó el análisis para las submatrices de demanda de carga doméstica para las ZPP, encontrando diferencias bajas entre la matriz semilla y la matriz calibrada.

Tabla 134. Comparación total matrices semilla vs calibradas para las ZPP

Segmento Carga	Semilla			Calibración			
	Doméstico	Fluvial	Total	Doméstico	Fluvial	Total	DIF
Alimento agro	3,109,080	9,385	3,118,465	3,109,080	9,385	3,118,465	0.00%
Alimento para animales	195,249	0	195,249	195,249	0	195,249	0.00%
Alimentos procesados	799,493	36,883	836,376	799,493	36,664	836,157	-0.03%
Animales vivos	71,761	3,966	75,727	71,761	3,966	75,727	0.00%
Bebidas con y sin alcohol	261,713	216,782	478,495	261,713	216,782	478,495	0.00%
Combustibles	2,331,231	216,684	2,547,914	2,331,231	216,684	2,547,914	0.00%
Grasas y aceites animales o vegetales	990,883	108	990,991	990,883	108	990,991	0.00%
Hidrocarburos	6,773,630	4,175	6,777,804	6,773,618	4,175	6,777,793	0.00%
Maderas	172,485	49,893	222,378	172,485	49,893	222,378	0.00%
Materiales de construcción	967,850	56,952	1,024,802	967,850	56,952	1,024,802	0.00%
Minerales	2,225,117	1,698	2,226,815	2,225,117	1,698	2,226,815	0.00%
Papel y cartón	482,612	542	483,154	482,612	542	483,154	0.00%
Producción Industrial	2,532,154	4,705	2,536,859	2,532,154	4,705	2,536,859	0.00%
Otros	1,525,622	35,866	1,561,488	1,525,609	29,873	1,555,482	-0.38%
TOTAL	**22,438,879**	**637,639**	**23,076,518**	**22,438,855**	**631,427**	**23,070,281**	**-0.03%**

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se relaciona los valores de la matriz semilla de comercio exterior para cada uno de los segmentos y los valores obtenidos de la calibración, se puede observar que la matriz para este tipo de comercio no presenta variaciones dado que la calibración se realizó en términos de la constante o en error asociada a la combinación zona portuaria y modo.

Tabla 135. Comparación total matrices semilla vs calibradas para comercio exterior

Segmento Carga	Semilla	Calibración	DIF
Contenedor no refrigerado	18,984,651	18,984,651	0.00%
Contenedor refrigerado	1,589,699	1,589,699	0.00%
Granel solido distinto de carbón	15,606,467	15,606,467	0.00%
Granel liquido distinto de hidrocarburos	2,969,655	2,969,655	0.00%
Carga general	4,790,300	4,790,300	0.00%
Carbon termico	74,847,083	74,847,083	0.00%
Carbon metalurgico y coque	2,881,834	2,881,834	0.00%
Hidrocarburos crudos	33,543,633	33,543,633	0.00%
Hidrocarburos refinados	12,854,651	12,854,651	0.00%
TOTAL	**168,067,973**	**168,067,973**	**0.00%**

Fuente: Elaboración propia