

**ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE PLATAFORMAS
LOGÍSTICAS ESPECIALIZADAS AL INTERIOR DE COLOMBIA**

**JOSÉ LUIS ARANA HOLGUÍN
CAMILO JHAIR NICOLÁS DELGADO SALGADO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2014**

**ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE PLATAFORMAS
LOGÍSTICAS ESPECIALIZADAS AL INTERIOR DE COLOMBIA**

**JOSÉ LUIS ARANA HOLGUÍN
CAMILO JHAIR NICOLÁS DELGADO SALGADO**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director

**Ciro Jaramillo Molina
Ingeniero Civil, Ph.D.**

Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías - GITTV

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI**

2014

Nota de aceptación

Director

Jurado

Jurado

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1 MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 LAS PLATAFORMAS LOGÍSTICAS	11
1.2 INDICADORES DE ACCESIBILIDAD.....	13
1.3 NIVELES DE ACCESIBILIDAD.....	18
1.3.1 Accesibilidad Relativa (a_{ij})	18
1.3.2 Accesibilidad Integral (A_i)	19
1.3.3 Accesibilidad Global (A)	19
1.4 MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD SELECCIONADAS	20
1.4.1 Medidas Topológicas.....	20
1.4.2 Medidas Agregadas.....	21
2 METODOLOGÍA.....	26
2.1 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO Y MODOS DE TRANSPORTE	26
2.1.1 Escenario	26
2.1.2 Modos de transporte.....	29
2.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	33
2.3 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE ACCESIBILIDAD.....	36
2.3.1 Factor de Ruta, r_{ij} - Factor de Ruta Integral, R_i	36
2.3.2 Indicador de gravedad.....	41

2.3.3	Indicador de gravedad utilizado en el Plan Director de Infraestructura – PDI	49
2.3.4	Indicador de Accesibilidad de Sohn.....	52
2.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
2.5	CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SPLE	62
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Importaciones y exportaciones para Colombia. Tomado de “Boletines de Prensa - Comercio Exterior - Importaciones y Exportaciones”, 2006 a 2013.	8
Tabla 2 Plataformas Logísticas. Tomado de CONPES 3547 "Política Nacional Logística", 2008	27
Tabla 3 Registro de movimiento de pasajeros por modo aéreo. Tomado de Ministerio de Transporte, “TRANSPORTE EN CIFRAS”, 2012.....	31
Tabla 4 Resultados Factor de Ruta Integral.....	37
Tabla 5 Resultados Indicador de Gravedad.....	42
Tabla 6 Accesibilidad para diferentes valores de impedancia.....	44
Tabla 7. Resultados Indicador de Gravedad Utilizado en el Plan Director de Infraestructura.....	49
Tabla 8 Resultados Condiciones de Accesibilidad Indicador de Sohn.....	53
Tabla 9. Análisis estadístico.....	57
Tabla 10 Resultados Coeficiente de Correlación de Spearman entre los indicadores utilizados con un nivel de significancia del 5%	60
Tabla 11 Posición que ocupa cada elemento del SPLE al interior de Colombia por indicador	62
Tabla 12 Jerarquización de mayor a menor nivel de accesibilidad para cada elemento del SPLE al interior de Colombia.....	63
Tabla 13 Propuesta de Sistema de Plataformas Logísticas según ALG (2008).	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de grafo.....	18
Figura 2 Esquema de accesibilidad relativa	18
Figura 3 Esquema de accesibilidad integral.....	19
Figura 4 Clasificación de Plataformas Logísticas Según su Uso	28
Figura 5 Clasificación de Plataformas Logísticas Según su Uso	29
Figura 6 Curvas de Isoaccesibilidad - Factor de Ruta Integral.....	40
Figura 7 Variación de los niveles de accesibilidad para diferentes impedancias según el indicador de gravedad	44
Figura 8 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.1$	46
Figura 9 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.15$	47
Figura 10 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.2$	48
Figura 11 Curvas de Isoaccesibilidad - Indicador de gravedad PDI.....	51
Figura 12 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Sohn	56

RESUMEN

En años recientes, el creciente impulso económico de los países en desarrollo ha conllevado a un incremento en la competitividad de la región. Tal premisa reafirma el papel fundamental de la infraestructura de transporte como eje articulador entre distintas zonas, permitiendo la movilización de insumos. Debido a las grandes cargas transportadas es necesario implementar sitios donde se desarrollen actividades logísticas y de agregación de valor. Técnicamente estas áreas son llamadas “plataformas logísticas” y desde la perspectiva de la ingeniería de transporte, deben localizarse en puntos con niveles óptimos de accesibilidad permitiendo su conexión con sitios de interés mediante una red de infraestructura de transporte.

En consecuencia, el Consejo Nacional de Políticas Económicas publica en 2008 el CONPES 3547 “Política Nacional Logística”, donde justifica desde un punto de vista estratégico y económico la implementación de un Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas (SPLE) compuesto de veinte puntos distribuidos a lo largo del territorio colombiano.

Dada una primera aproximación con los puertos en investigaciones anteriores, este documento se centra en evaluar la accesibilidad de los elementos que componen éste sistema y que están localizados al interior del país, a través de la red vial nacional, ya que es el modo que ofrece la conectividad entre tales puntos y es aquel que posee mayor participación en el movimiento de mercancías. Para ello se utilizan medidas de accesibilidad topológicas y agregadas como el factor de ruta integral, indicador de accesibilidad de Sohn e indicadores de gravedad, apoyándose en un modelo digitalizado y georeferenciado que permite almacenar y procesar la información geográfica. Los resultados se representan gráficamente en curvas de isoaccesibilidad y en diámetros relativos para facilitar su visualización e interpretación.

La ejecución de los criterios planteados para el análisis de accesibilidad del SPLE manifiesta que los nodos con características notables de industrialización presentan mejores condiciones de accesibilidad, y es de resaltar que la localización geográfica tiene relevancia en la determinación de dichas condiciones.

INTRODUCCIÓN

En Colombia en años recientes ha venido sucediendo una transformación de las políticas y actividades económicas que han suscitado un empuje en los sectores de industria, comercio e infraestructura.

Para empezar, se tiene que a partir de la apertura de economías, la globalización, la proyección de la economía nacional y su buen posicionamiento en mercados foráneos, se ha logrado un movimiento económico positivo tanto a nivel local como en el extranjero con respecto a años anteriores, registrando un crecimiento del 5,1% en el tercer trimestre del 2013¹ con respecto al mismo periodo del año 2012, y superando a países como Canadá y Estados Unidos. Sumado a esto, los gobiernos recientes han logrado recuperar territorios, afianzar la confianza inversionista, y garantizar la seguridad en las carreteras nacionales permitiendo que los vehículos de transporte puedan desplazarse sin contratiempos. Finalmente, con la ejecución de los Planes Nacionales de Desarrollo, políticas y convenios en temas de comercio exterior (Tratados de Libre Comercio, preferencias arancelarias en la Región Andina, etc.) ha hecho que en la última década se hayan registrado avances en inversión extranjera directa en Colombia ascendiendo a US \$13.251 millones² en septiembre de 2013, lo cual representó un incremento del 13,1% en referencia al mismo periodo del año anterior y es el más alto que se tiene en los últimos cuatro (4) años. En cuanto a importaciones y exportaciones, a pesar de que el último año se tuvo resultados tímidos (+0,5%) para el primero y adverso para el segundo (-2,2%)³ comparándose con 2012, si se observan los registros de los últimos ocho (8) años anteriores se tienen que para ambos casos las magnitudes

¹ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, *Dinámica de la Economía Mundial y Comportamiento en Colombia, IV trimestre de 2013*, febrero de 2014.

² Ibid.

³ DANE, *Boletines de Prensa Comercio Exterior, Importaciones y Exportaciones, 2006-2013*.

recientes duplican a las registradas en el año 2006, con lo que se infiere una tendencia al alza en un mediano plazo (ver tabla No.1)

Tabla 1 Importaciones y exportaciones para Colombia. Tomado de “Boletines de Prensa - Comercio Exterior - Importaciones y Exportaciones”, 2006 a 2013.

IMPORTACIONES			EXPORTACIONES		
AÑO	US\$ MILLONES CIF	% VARIAC.	AÑO	US\$ MILLONES FOB	% VARIAC.
2006	\$ 26,162.4	23.4%	2006	\$ 24,391.0	15.1%
2007	\$ 32,897.0	25.7%	2007	\$ 29,991.3	23.0%
2008	\$ 39,668.8	20.6%	2008	\$ 37,625.9	25.5%
2009	\$ 32,897.7	-17.7%	2009	\$ 32,853.0	-12.7%
2010	\$ 40,682.7	23.7%	2010	\$ 39,819.5	21.2%
2011	\$ 54,674.8	34.4%	2011	\$ 56,953.5	43.0%
2012	\$ 59,111.4	8.1%	2012	\$ 60,666.5	5.7%
2013	\$ 59,397.0	0.5%	2013	\$ 59,453.2	-2.2%

FUENTE: DANE, BOLETINES DE PRENSA, 2006 - 2013

En este orden de ideas, lo anterior se traduce en mayores movimientos de cargas a través de toda la red de transporte nacional, por lo cual dichas mercancías necesitan de una logística con planes de gestión y control para el aseguramiento de la calidad, la disponibilidad, y el posicionamiento de los productos en los mercados nacionales e internacionales. Para ello se debe disponer de un Sistema de Plataformas Logísticas Especializada (SPLE); áreas específicas cuidadosamente localizadas y articuladas entre sí que facilitan el desarrollo de las actividades mencionadas. Estas plataformas responden a una necesidad clara y contundente: ser espacios intermediadores o de paso obligado en las cadenas de distribución y abastecimiento donde se desarrollen actividades logísticas (distribución, control de rutas, volúmenes, picking, packing, etc.) y de agregación de valor (ALG, 2008).

La idea de implementar estos puntos estratégicos en Colombia nace en el año 2008 con la aprobación y divulgación del documento CONPES 3547 “Política Nacional Logística” por parte del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Consejo Nacional de Políticas Económicas y Sociales. En ella se identifican

los problemas centrales que demuestran el atraso tecnológico y competitivo en el que se encuentra la Nación en términos logísticos con respecto a los países latinoamericanos y, a partir de ello, plantea la ubicación, construcción, y operación de veinte (20) plataformas logísticas especiales que en su conjunto forman el SPLE. Éste sistema tendría la misión de incrementar el valor agregado de los productos que circulan dentro del territorio nacional y balancear la demanda productiva del país.

Este documento desarrollará la problemática desde un enfoque de la planeación y gestión del transporte que surge tras la consecución de dicho proyecto, su justificación, y la metodología planteada que se sustenta en un marco teórico claro.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la accesibilidad de los elementos que conforman el Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas localizadas al interior de Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el escenario y los modos de transporte que han de tenerse en cuenta en la modelación.
- Establecer los indicadores apropiados para determinar los niveles de accesibilidad de los elementos del sistema de plataformas logísticas especializadas de acuerdo con las condiciones del escenario.
- Construir el modelo informático de los elementos de estudio del Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas.
- Analizar los niveles de accesibilidad planteados para los elementos del Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas.
- Clasificar los elementos del Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas de acuerdo con los niveles de accesibilidad que presenten en términos de viabilidad.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 LAS PLATAFORMAS LOGÍSTICAS

En términos generales una plataforma logística se define como áreas o sitios donde puede o no haber ruptura en las cadenas de transporte (cambios de modo) o logística (puntos de quiebre de las cadenas de abastecimiento, almacenamiento, etc.) en las que se concentran actividades, funciones técnicas y de valor añadido, y pueden ser especializadas en un sector productivo o no. Específicamente (ORJUELA J. et al.,2005), basado en la definición técnica dada por la Asociación Europea de Plataformas Logísticas EUROPLATFORMS define una plataforma logística de la siguiente manera: *“Es una zona delimitada al interior de la cual se ejercen las actividades relativas al transporte, empaque y distribución, para tránsito nacional y/o internacional de mercancías de uno o varios operadores. Así, debe tener un régimen de libre competencia para todas las empresas interesadas en ejecutar las actividades anunciadas, también necesarios para el funcionamiento de las actividades logísticas; contar con servicios comunes para personas y vehículos usuarios; asimismo, puede ser administrada por una entidad única, pública, privada”*. Las actividades de logística hechas en estos espacios son ejercidos por operadores logísticos, es decir, empresas dedicadas exclusivamente a la gestión y control de la logística y de la cadena de abastecimiento de otras empresas no especializadas en el tema. Estas plataformas deben estar dotadas de todos los equipos colectivos”. Las plataformas logísticas pueden clasificarse según los modos de transporte que involucran cada una de ellas (ALG, 2008):

- Plataformas Monomodales: Involucran un solo modo de transporte que generalmente es el carretero. Aquí se incluirían centrales de abastos, centros de transporte terrestre (truck centers) y áreas logísticas de distribución.
- Plataformas de intercambio modal: estas se localizan en puntos obligados de ruptura de la cadena por cambio de modo de transporte, aprovechando esta situación para ejercer actividades logísticas y de agregación de valor. Ejemplo de estas son los puertos secos, los centros de carga aérea y las zonas de actividad logística (ZAL) de los puertos.
- Plataformas multimodales: ofrecen servicios para diferentes modos de transporte sin localizarse estrictamente en nodos de ruptura de la cadena, con el fin de ofrecer servicios más variados para sus clientes.

El sistema de plataformas logísticas especializadas de Colombia estará integrado por las siguientes unidades que, para una mejor contextualización, es preciso definir las:

- ✓ Puerto seco: se localizan en proximidades al puerto marítimo y de los grandes centros de producción/consumo y se especializan en la recepción y despacho de mercancías que se dirigen y provienen del puerto marítimo. Deben de estar articulados a la red vial y ferroviaria, dándole mayor uso a este último.
- ✓ Área logística de distribución urbana: están equipadas para ejercer actividades de almacenamiento de las mercancías y distribución hacia una urbe específica. Con esta infraestructura logística se evita el ingreso de grandes camiones a las vías urbanas.
- ✓ Área logística de apoyo en frontera: aprovechando el punto de ruptura de carga en la cadena de abastecimiento por cuestiones de aduana, esta plataforma se encarga de las labores logísticas y de agregación de valor a las mercancías tanto exportadas como importadas.

- ✓ Área logística de consolidación de cargas: principalmente ejerce funciones de almacenamiento e inventariado de las mercancías que llegan a sus instalaciones en pro de que sean adecuadas y exportadas en las condiciones que se exijan.
- ✓ Centro de carga aérea: plataforma de intercambio modal donde se vinculan las mercancías entre el modo aéreo con el carretero. Además de su infraestructura, cuenta con personal de aduana y comercio exterior.
- ✓ Zona de Actividad Logística Portuaria: aprovechando el intercambio modal que ocurre en los puertos marítimos se crean las ZAL, donde se llevan a cabo actividades de transporte, almacenamiento, distribución y de adición de valor a mercancías antes de que se presenten al mercado.

1.2 INDICADORES DE ACCESIBILIDAD

El ejercicio de la ingeniería del transporte implica el uso de las teorías fundamentales basadas en los conocimientos científicos que se sustentan en las ciencias básicas, del uso intensivo de tecnologías de la información y comunicación (TIC) y del criterio y decisión de los profesionales interdisciplinarios dedicados a esta área. La planificación del transporte por ende, implica un proceso complejo que relaciona los efectos de proyectos de movilidad en un territorio, pudiéndose ajustar prácticamente a cualquier medio de transporte. No obstante, la anterior premisa no supone una decisión definitiva, sino una herramienta complementaria que permite observar desde otros puntos de vista un proyecto de infraestructura, de tal forma que junto con los demás estudios se tome la mejor decisión en aras de buscar el bien común.

Ahora, la accesibilidad es una definición usada masivamente en varias temáticas de la ingeniería civil y de transportes, dentro de las cuales la encontramos en textos académicos y estudios acerca de usos del suelo,

planificación urbana y del transporte, y estudios geográficos. Este concepto puede medirse tanto cualitativamente como cuantitativamente y la elección de las medidas de accesibilidad adecuadas depende en sí de la naturaleza del proyecto, los objetivos, el alcance y las personas a las que se está destinando los resultados de la investigación. Como lo expresa Geurs y Van Wee (2004), en el significado y aplicabilidad de la accesibilidad, se identifican cuatro (4) componentes:

- ✓ **Uso del suelo**, donde este aspecto se conforma de (a) cantidad y distribución espacial de las oportunidades en cada destino (puestos de trabajo, comercios, salud, etc.), (b) demanda de dichas oportunidades en los puntos de origen de los viajes y (c) la confrontación entre la oferta y la demanda.
- ✓ **Transporte**, donde se centra específicamente en el medio elegido entre las distintas alternativas, que permite que un individuo cubra una necesidad de viaje entre un origen y un destino determinado, donde se incluye la cantidad de tiempo empleado, ruta escogida, costos y esfuerzo. En este punto también se confronta la oferta de transporte contra su demanda.
- ✓ El componente **temporal** refleja las restricciones temporales, es decir, la disponibilidad de oportunidades en diferentes horas del día, y el tiempo disponible para que los individuos participen en ciertas actividades (por ejemplo, trabajo, recreación, etc.).
- ✓ El componente **individual** aborda las necesidades (según edad, ingresos, nivel educativo, etc.), habilidades (según condición física, disponibilidad de viajar, etc.) y las oportunidades de los individuos, pues esto influye en su nivel de accesibilidad a los modos de transporte, y a las oportunidades espacialmente distribuidas, variando así la accesibilidad agregada.

La relación entre cada uno de estos componentes se esclarece al revisar, por ejemplo, que el componente uso del suelo (distribución de actividades) es un factor importante que determina la demanda de viajes (componente transporte) y puede también introducir restricciones de tiempo (componente temporal) e influir en las oportunidades de las personas (componente individual). El componente individual interactúa con todos los demás componentes: las necesidades y habilidades de una persona que influyen en el tiempo, costo y el esfuerzo de movilizarse, los tipos de actividades pertinentes y los tiempos en los que uno se involucra en actividades específicas.

Una medida de accesibilidad idealmente debe tomar en cuenta todos los anteriores componentes; sin embargo en la práctica se encuentra que dichas medidas, dependiendo de la perspectiva tomada, se focalizan en algunos de los componentes ya expuestos. Bajo esta idea y en base también en Geurs y Van Wee (2004), se identifican cuatro (4) perspectivas básicas de las medidas de accesibilidad:

1. **Medidas de accesibilidad basada en la infraestructura:** A través de la observación y la simulación analiza el desempeño del nivel de servicio de una infraestructura de transporte, tal como por ejemplo el nivel de congestión y la velocidad promedio de viaje en una red del sistema. Esta medida es típicamente usada en planeamientos y formulaciones de la ingeniería de transporte.
2. **Medidas basadas en la localización:** Analiza la accesibilidad referida a localizaciones o puntos específicos típicamente ubicados en un macro nivel. Estas medidas describen el nivel de accesibilidad hacia actividades espacialmente distribuidas, como por ejemplo “el número de trabajos dentro de un viaje de 30 minutos desde orígenes localizados”. Estas medidas son típicamente usadas en estudios e investigaciones en planeamiento urbano y en estudios geográficos.

3. **Medidas basadas en la persona:** Analiza la accesibilidad a niveles individuales, como por ejemplo “las actividades en la cual un individuo año de 1970 mide limitaciones en la libertad individual de acciones en el entorno, como por ejemplo, la localización y duración de actividades obligatorias, los presupuestos de tiempo para los viajes de actividades varias y la velocidad permitida por el sistema de transporte.
4. **Medidas basadas en la utilidad:** Analiza los beneficios (ya sean económicos, en tiempos, etc.) que las personas derivan al acceder a actividades espacialmente distribuidas. Esta medida tiene sus orígenes en estudios económicos.

Cada una de las anteriores posee ventajas y desventajas cuando son usadas; sin embargo es complejo definir cuál o cuáles de los anteriores enfoques son los más recomendados pues esto depende la naturaleza misma del proyecto y su alcance. De estas, las medidas basadas en la infraestructura y en la localización son las más comunes de encontrar en las investigaciones siendo sus razones muy diversas. Las medidas utilizadas en esta investigación precisamente están basadas en estos dos enfoques y por tanto se complementan más detalles de las mismas.

Para empezar, aquellas basadas en la infraestructura juegan un papel importante en políticas de transporte de muchos países ya que enmarcan muy precisamente el funcionamiento de sistemas de transporte. Además, los datos necesarios para la construcción de los modelos son usualmente fáciles de adquirir y los resultados obtenidos son fácilmente interpretables por los autores y por aquellas personas encargadas de la toma de decisiones en estos asuntos. Por otro lado, aquellas basadas en la localización a pesar de ser muy sensibles a cambios en los resultados de accesibilidad si se varían los puntos de estudio,

también tienen ventajas en cuanto a criterios de facilidad de obtención de datos, operación de los modelos e interpretación de los resultados.

Es así como la accesibilidad, una herramienta de la ingeniería de Transporte, se perfila para analizar las relaciones existentes entre nodos dentro de un territorio que se entrelazan entre sí con una infraestructura de transporte a su servicio. Sin embargo, hay que aclarar que una mayor presencia y disposición de infraestructura en un punto dado no necesariamente implica mayores niveles de accesibilidad; se debe atender zonas donde dichos índices son bajos para lograr un equilibrio en todo el territorio. Como se expone en MURILLO J, (2007), el análisis de la accesibilidad se basa en la teoría de los grafos (Figura 1), donde por medio de esta se evalúa morfométricamente la estructura completa de la red, se revisa qué potencial de desarrollo posee, y se identifican los problemas geográficos existentes en ciertos puntos específicos. La ventaja de este planteamiento es que los objetos geográficos reales pueden ajustarse fácilmente con los elementos de la teoría en mención, así los puntos de origen y destino (ciudades, puertos, aeropuertos, centros de zona o centroides) pueden idealizarse como los nodos o vértices de la red, y los arcos que unen dichos puntos como la infraestructura de transporte que los conecta. Ahora, estos estudios de redes son de dos tipos: estáticos y dinámicos. Los primeros se basan solamente en índices de forma y conexiones, y los segundos evalúan la calidad de la red con variables reales asociadas a la operación del sistema (distancias, costos de viaje, volúmenes de tránsito, etc.) o a características de los nodos (PIB, número de establecimientos industriales, etc.). Ver Figura 1.

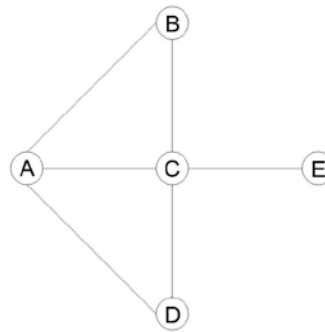


Figura 1 Esquema de grafo

1.3 NIVELES DE ACCESIBILIDAD⁴

Se identifican tres niveles:

1.3.1 Accesibilidad Relativa (a_{ij})

Encargada de medir la calidad de la conexión entre dos puntos localizados en un mismo territorio. Ver Figura 2.

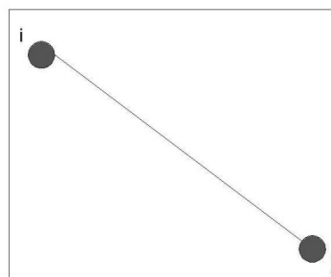


Figura 2 Esquema de accesibilidad relativa

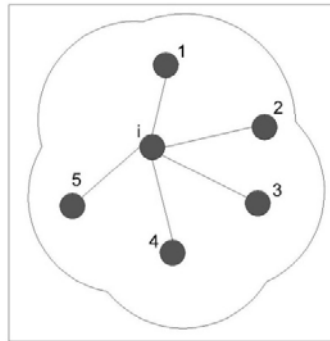
⁴ Izquierdo, R., et al. (1991). Transportes un Enfoque Integral. España, y aplicado por Murillo, J. (2007). "Análisis de Accesibilidad Vial para el departamento del Valle del Cauca"

1.3.2 Accesibilidad Integral (A_i)

Mide el grado de interconexión de un nodo con respecto otros dentro de una misma región. Ver Figura 3.

$$A_i = \sum_j a_{ij}$$

Ecuación 1



Dónde: a_{ij} Accesibilidad entre un origen i y un destino j
 A_i Accesibilidad integral

Figura 3 Esquema de accesibilidad integral

1.3.3 Accesibilidad Global (A)

Es la suma de todas las accesibilidades integrales de todos los nodos de la región de estudio, así:

$$A = \sum_i A_i$$

Ecuación 2

Dónde: A_i Accesibilidad integral
 A Accesibilidad Global

Tanto la accesibilidad relativa como la integral se utilizan para establecer y concluir puntos dentro del área de estudio. Sin embargo no pueden establecerse comparaciones entre accesibilidades globales de una región y otra pues esto depende del número de nodos de cada una, su posición relativa y las variables relacionadas.

1.4 MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD SELECCIONADAS

Es claro que la accesibilidad, entendida desde la perspectiva de la Ingeniería de Transporte, puede evaluarse cuantitativamente mediante amplios criterios. Sin embargo, aunque estas metodologías se basan en idealizaciones, siempre existirá un margen de error ya sea por la interpolación de datos indispensables ante la ausencia de los mismos o por el mismo planteamiento teórico. Todos estos indicadores se elaboran y se facilitan gracias a software y tecnologías informáticas como los sistemas de información geográfica (SIG). Por ello, luego de una revisión bibliográfica, se presentan los planteamientos teóricos de los indicadores de accesibilidad que entrarán a evaluar la accesibilidad de cada uno de los puntos que conforma el Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas (SPLE) al interior de Colombia.

1.4.1 Medidas Topológicas

Sólo consideran la red de transporte. De ellas, se plantean las siguientes:

Factor de Ruta Relativo r_{ij} , y Factor de Ruta Integral R_i

Este indicador tiene por objeto evaluar la calidad del trazado al medir la aproximación que posea con respecto a la línea recta, y también si las condiciones del trazado permiten un viaje en tiempos y condiciones adecuadas. Para su cálculo se debe disponer de dos matrices: una para las distancias entre nodos a través de la red, y otra con las distancias entre nodos pero en línea recta. Así entonces se define el factor de ruta r_{ij} :

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_{ij}^0}$$

Ecuación 3

Donde d_{ij} es la mínima distancia entre los nodos i y j a través de la red, y d_{ij}^0 es la distancia geográfica o en línea recta de i a j .

Ahora, quien establece la accesibilidad es el Factor de Ruta Integral R_i para un número de nodos n se define como:

$$R_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{d_{ij}}{d_{ij}^0}$$

Ecuación 4

Valores mayores a 1,5 significan bajos niveles de accesibilidad ya sea por ausencia de infraestructura o condiciones topográficas extremas. Los puntos con valores muy cercanos a la unidad (1) son aquellos que tienen mejores condiciones de accesibilidad.

1.4.2 Medidas Agregadas

Estas medidas proporcionan una información global de un grupo de nodos de la red de infraestructura y su relación con otros. Además se usan variables no convencionales que no se limitan solamente a la localización como por ejemplo

número de empresas, población, número de viajes, etc. Se presentan las siguientes:

1.4.2.1 Indicador de Gravedad

Este indicador relaciona la accesibilidad con una variable de tipo socioeconómico la cual, por la naturaleza de la investigación, se trabajará con número de establecimientos industriales. Sus niveles se restringen con un valor de impedancia β que se define como la dificultad que hay de desplazarse del nodo i a j . A mayor impedancia, menor accesibilidad integral y global de los nodos. La accesibilidad entre dos puntos: origen i y destino j , está definida de la siguiente manera

$$a_{ij} = \frac{E_j}{e^{\beta d_{ij}}}, \forall i \neq j$$

Ecuación 5

Donde E_j es el número de establecimientos industriales del nodo destino j , β es la impedancia y d_{ij} es la distancia a través de la red entre los nodos i y j en kilómetros.

Ahora, la accesibilidad integral A_i de un nodo con respecto a los demás puntos dentro de una misma región de estudio estará definida como la suma aritmética de todas sus accesibilidades

$$A_i = \sum_j a_{ij}$$

Ecuación 6

Los puntos con mayores resultados numéricos serán aquellos cuyas accesibilidades serán más altas.

1.4.2.2 Indicador de Gravedad utilizado en el Plan Director de Infraestructura – PDI

Inicialmente usado por MONZÓN DE CÁCERES, A., et al, (1994) en un estudio en el marco del Plan Director de Infraestructura (PDI), éste indicador pretendía evaluar las condiciones de accesibilidad hacia unos centros de actividades económicas definidas en España antes y después de la aplicación del mencionado plan. Con este criterio se intenta calcular el promedio de las

impedancias que separan entre sí cada nodo de estudio dentro de la macro región de estudio a través de una red de transporte escogida, considerando variables socioeconómicas como factor de ponderación. Originalmente el autor trabaja con la renta o ingresos de dichos puntos; en éste documento se trabajará con el número de personal ocupado en el nodo destino, así:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n (IR_{ij} * PO_j)}{\sum_{j=1}^n PO_j}, \forall i \neq j$$

Ecuación 7

Donde IR_{ij} es la impedancia real entre los nodos i-j, es decir, la distancia más corta en miles de kilómetros a través de la red y PO_j es el número de personal ocupado en establecimientos industriales del nodo destino.

Los nodos con condiciones favorables de accesibilidad serán aquellos cuyos resultados son numéricamente menores.

1.4.2.3 Indicador de Accesibilidad de Sohn

Planteado inicialmente por SOHN, J., (2005), este indicador fue usado para evaluar las variaciones en términos de accesibilidad de un grupo de condados en Maryland (EE.UU.) cuando las redes e infraestructura de sus sistemas de transporte eran afectadas por inundaciones severas, comparando el escenario, las condiciones y consecuencias que se presentan en las mismas antes y después del hipotético evento. El indicador original se ajusta a la naturaleza de la actual investigación, trabajándose de la siguiente manera:

$$A_i = 17 * \left[\alpha \frac{E_i}{\sum_{j=1}^n E_j} \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{E_j}{\sum_{j=1}^n E_j} \frac{d_{ij}^{-\beta}}{\sum_{j=1}^n d_{ij}^{-\beta}} \right) + (1 - \alpha) \frac{E_i}{\sum_{j=1}^n E_j} \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{E_j}{\sum_{j=1}^n E_j} \frac{t_{ij}}{\sum_{j=1}^n t_{ij}} \right) \right] \quad (i \neq j)$$

Ecuación 8

Dónde:

A_i Accesibilidad del nodo i

α factor de ponderación (varía de 0 a 1)

$E_{i(j)}$ número de establecimientos industriales del nodo i (j)

d_{ij} distancia más corta a través de la red entre los nodos i y j

$\beta = 1$

$t_{ij} = \sum_{m=1}^n \frac{AADT_m d_m}{d_{ij}}$, refiriéndose al tráfico promedio ente i y j en la ruta

$AADT_m$ tráfico promedio diario anual sobre la ruta de enlace m ,
 d_m distancia de la ruta de enlace m

La ecuación (7) muestra un indicador de accesibilidad compuesto por dos factores: distancia y volúmenes de tránsito, que relacionan las características entre un origen i y un destino j a través de determinada red de transporte de estudio. El factor de ponderación α funciona para que el investigador, a criterio, decida la importancia que le desee otorgar a las partes que componen el indicador de accesibilidad (distancia y tráfico). El parámetro β generalmente varía entre 0 y 2, y el autor lo obtiene para su caso de estudio a partir de regresiones logarítmicas con los datos que dispone, sin embargo, NUZZOLO, A., et al, (2012), en su investigación sobre modelos de transporte de

mercancías y de atracción de carga también realiza calibraciones de sus modelos con parámetros β estimándolos mediante Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS por sus siglas en inglés) y evaluando la transferibilidad de éste método a otras área de estudio. Éste autor sostiene que las encuestas realizadas en las áreas de estudio son fundamentales y constituyen la base para la calibración de los modelos y para la replicación de los métodos. Finalmente el factor multiplicador 17 se incluye para re-escalar los rangos de valores que arroja el indicador, dándoles valores entre 0 y 1.

Los puntos con mayores resultados numéricos serán aquellos cuyos niveles de accesibilidad serán más altos.

2 METODOLOGÍA

A continuación se explica cada paso que se sigue en el desarrollo de la investigación para determinar la accesibilidad de cada elemento del Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas (SPLE) al interior de Colombia

2.1 DEFINICIÓN DEL ESCENARIO Y MODOS DE TRANSPORTE

2.1.1 Escenario

Se realiza una identificación clara de las características principales que poseen cada uno de los elementos que entrarán en juego en el modelo.

Para empezar, el escenario global se enmarca en Colombia, una nación en vía de desarrollo con aproximadamente 41.468.384 habitantes (DANE, 2005), constituido por 32 departamentos interconectados y un potencial económico interesante por su estratégica localización, contando con costas en los dos océanos más importantes del planeta. A pesar de los inconvenientes de orden público y las malas decisiones políticas del pasado, en la última década han surgido cambios trascendentales en su economía: los acuerdos de preferencias arancelarias y tratados de libre comercio han permitido un crecimiento destacable en todos los sectores de la economía, en exportaciones e importaciones. Como se espera, tal reto en materia logística y de movimiento de mercancías será asumido por todo el Sistema de Plataformas Logísticas Especializadas, conformado por veinte (20) puntos distribuidos a nivel nacional que se listan en la Tabla No. 2 y que se presentan en un mapa en el *Anexo Digital No. 1*.

Tabla 2 Plataformas Logísticas. Tomado de CONPES 3547 "Política Nacional Logística", 2008

PLATAFORMAS LOGÍSTICAS
Área logística de distribución urbana de Bogotá
Área logística de distribución urbana de Medellín
Área logística de distribución urbana de Cali
Área logística de distribución urbana de Bucaramanga
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales
Área logística de apoyo en frontera de Maicao
Área logística de consolidación de cargas de Manizales
Área logística de consolidación de cargas de Montería
Centro de carga aérea de Bogotá
Centro de carga aérea de Medellín
Centro de carga aérea de Barranquilla
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja
Plataforma Multimodal de Puerto Berrio
Puerto seco de Buga
Zona de Actividad Logística Portuaria de Barranquilla
Zona de Actividad Logística Portuaria de Buenaventura
Zona de Actividad Logística Portuaria de Cartagena
Zona de Actividad Logística Portuaria de Santa Marta
Zona de Actividad Logística Portuaria de Turbo

Una primera aproximación en el análisis de accesibilidad de éste SPLE es la que expone GARCÍA (2011) en su investigación titulada "Análisis de Accesibilidad para los puertos marítimos de Colombia" en la que a través de datos recolectados de fuentes oficiales e investigaciones anteriores, y basados en unos indicadores, evalúa la accesibilidad desde el interior del país hacia dichos puertos a través de la red de infraestructura terrestre y férrea. En ella se encontró que la mayoría de aquellas ubicadas sobre la costa Atlántica (con Santa Marta a la cabeza) arrojaban los mejores resultados comparados con aquellas ubicadas en el litoral pacífico, siendo el puerto de Tumaco, Buenaventura y Turbo los que arrojaron los resultados más desfavorables. Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que el alcance de la presente investigación se centrará a aquellos puntos que se localizan al interior de Colombia, es decir, no se tendrá en cuenta aquellas plataformas que se

propone localizar sobre las costas colombianas (Zonas de Actividades Logísticas, ZAL), con lo que se tienen quince (15) puntos que entran a protagonizar éste análisis.

A continuación, en las Figuras 4 y 5 se presenta en resumen cada una de las clases de plataformas logísticas que harán parte de ésta investigación (ALG, 2008):

CLASIFICACIÓN PLATAFORMAS LOGÍSTICAS		
	Áreas Logísticas de Distribución Urbana y Consolidación de Cargas	Cetros de Carga Aérea
BOGOTÁ	La capital naturalmente es el punto donde más movimiento de mercancías y volúmenes de mercado se maneja. Esta plataforma se encargaría de atender la distribución de productos de consumo masivo que lleguen a la ciudad, coordinar la salida de aquellos insumos producidos en ella y atenuar la proliferación de centros logísticos creados sin ninguna planificación.	Esta capital junto con su renovado aeropuerto representan la principal plataforma del modo aéreo para la movilización de mercancías. Se pretende entonces que dicha plataforma sea el espacio ideal para el control logístico y rápido despacho de mercancías hacia destinos internacionales.
MEDELLÍN	En proporciones menores, la segunda ciudad colombiana más importante también reúne las características para pensar en implementar un centro de distribución, especializándose en manejo de cargas contenerizadas, distribución y control de productos de consumo masivo importado y exportado.	Siendo su aeropuerto el segundo polo movilizador de carga aérea se busca que este centro sirva de punto de apoyo al bogotano, atienda la creciente demanda logística de la zona y potencialice la exportación de productos y mercancías tradicionales de esta región hacia otros países.
B/MANGA	Aunque la capital Santandereana representa un nodo intermedio, el desarrollo que ha tenido en los años recientes hace concluir que ésta será un polo atractivo de mercancías. Por ello un área logística de distribución urbana y consolidación de cargas en un mediano a largo plazo representaría una gran ventaja en términos competitivos para mantener y seguir impulsando el avance de su economía e industria.	
B/QUILLA		A pesar de que este terminal aéreo es de menor escala, desde un punto de vista logístico reúne las condiciones de macro localización adecuada que justifica implementar una plataforma logística especializada en cargas aéreas que sería un polo estratégico en las rutas hacia Norteamérica y con potencial de ser un hub del caribe sur.
Áreas Logísticas de Apoyo en Frontera		
CÚCUTA	El principal paso fronterizo de mercancías desde Colombia hacia Venezuela necesita, en primer orden, un área logística de apoyo en frontera. Además de ser un punto de control y operación logística, resuelve problemas de exportación terrestre y afianza el intercambio mercantil con el vecino país.	
IPIALES	Esta ciudad al sur de Colombia es paso obligado para aquellas mercancías que vienen y se dirigen hacia Ecuador. Al ser un punto que canaliza la totalidad del comercio exterior terrestre entre los dos países, es importante subrayar su potencial de desarrollo y para mantenerlo, se necesita de una área logística de apoyo en frontera.	
MAICAO	A pesar de que esta ciudad localizada en la Guajira actualmente no representa un paso fronterizo con movimiento de cargas importante, con la implementación de un área logística de apoyo en frontera se busca que con la puesta en marcha de éste se favorecería la consolidación de mercancías para las exportaciones hacia Venezuela de aquellos insumos que proceden de la región norte colombiana, descongestionando el paso fronterizo en Cúcuta.	

Figura 4 Clasificación de Plataformas Logísticas Según su Uso

Áreas Logísticas de Consolidación de Cargas Regionales	
MONTERÍA	La capital cordobesa es un punto importante en exportaciones cárnicas para Colombia. Por ende, la plataforma logística especializada en este punto se enfocaría en organizar las exportaciones cárnicas de la región hacia Venezuela y potenciar el desarrollo marítimo en el sector de Turbo.
MIZALES	Con la implementación de esta plataforma logística en la principal urbe del llamado triángulo cafetero, se busca consolidar internacionalmente este sector pues en este se concentra el producto estrella de exportación nacional: el café, lo que permitiría entonces ejercer un control logístico eficaz a dicha mercancía.
Plataformas Multimodales	
B/MEJA	Ésta plataforma logística resulta especial pues involucra una integración de los modos férreo, carretero y fluvial (con el río Magdalena), y a la vez respondería a una ausencia de oferta de infraestructura para gestión y control logístico en una región donde el movimiento de mercancías es alto, más aun contando con la presencia de refinerías petroleras.
PUERTO BERRÍO	Como un punto multimodal alternativo a Barrancabermeja, esta ciudad, desde un punto de vista logístico, también reúne condiciones para merecer localizarla pues se enfocaría a fortalecer el corredor del Magdalena, apoyo en actividades logísticas y complementar su conexión con la región antioqueña.
Puerto Secos	
BUGA	Dadas las ventajas en cuanto a posición privilegiada en la malla vial, su proximidad al terminal logístico portuario de Buenaventura y a Cali, y la posibilidad de combinar distintos modos de transporte (vial-férreo), para esta ciudad intermedia del Valle del Cauca se plantea la puesta en funcionamiento de un puerto seco que se encargue de funcionar como puerto complementario del mismo, de almacenaje, de despachar cargas de exportación y nacionalizar cargas de importación.

Figura 5 Clasificación de Plataformas Logísticas Según su Uso

2.1.2 Modos de transporte

En Colombia fundamentalmente existen los modos fluvial, aéreo, ferroviario y carretero. Cada uno de ellos tiene a disposición una red de infraestructuras que juegan un papel trascendental en las actividades del transporte de pasajeros y de mercancías. A continuación se describe brevemente cada uno:

- El transporte fluvial es administrado por el INVIAS y por la Corporación del Río Grande de la Magdalena, que cuentan con 55 puertos fluviales de interés local y 32 de interés nacional, apoyados con una red primaria de 8.423 Km y una red secundaria de 8.454 Km de ríos, sumando un gran total de 16.877 Km de franjas navegables los cuales 1.486 Km los

administra CORMAGDALENA y 15.391 el INVIAS, distribuidos en las cuencas de los ríos Magdalena, Orinoquía, Amazonas, Atrato, entre otros⁵ (ver mapa en *Anexo Digital No. 2*). A pesar de que los costos de movilizar carga por éste modo son atractivos, su cobertura con los polos nacionales generadores de mercancías no está muy afianzada, cuenta con poca infraestructura para atender altos volúmenes de carga movilizada y su uso es más desarrollado entre las zonas ubicadas sobre dichos corredores.

- El modo aéreo cuenta, según el Ministerio de Transporte, con 590 aeropuertos y campos de aterrizaje de los cuales 74 son de propiedad de la Aerocivil, 14 departamentales, 94 municipales, 9 militares, 185 para fumigaciones y 214 de propiedad privada⁶. Sobre este modo se es claro que el uso más frecuente es para el transporte de pasajeros, reportando según último reporte estadístico, un total de 21.535.897 pasajeros movilizadas en viajes nacionales e internacionales de ida y regreso en 2011. El uso de transporte de carga en el modo aéreo es muy reducido: 124 miles de toneladas de insumos fueron movilizadas en 2011, representando apenas el 0,046% del total con respecto a otros modos [5]. La razón de ello se debe a los altos costos de los fletes, y por ende sólo es utilizada para aquella carga que debe ser entregada en el menor tiempo posible. Todo sintetizado en la Tabla 3 mostrada a continuación:

⁵ INVIAS – Instituto Nacional de Vías, *Plan Estratégico Institucional 2007-2010, “INFRAESTRUCTURA PARA LA COMPETITIVIDAD, INTEGRACIÓN Y DESARROLLO DE COLOMBIA”, 2007.*

⁶ Tomado de página web institucional del Ministerio de Transporte, *Preguntas frecuentes– Aéreo–Aeropuertos.*
<http://www.mintransporte.gov.co/loader.php?IServicio=FAQ&IFuncion=viewPreguntas&id=67#a473>

Tabla 3 Registro de movimiento de pasajeros por modo aéreo. Tomado de ministerio de transporte, "TRANSPORTE EN CIFRAS", 2012.

AÑO	PASAJEROS NACIONALES		
	AÉREO		
	Aerotaxis y Regional	Empresas Regulares	TOTAL
1994	581,541	7,420,065	8,001,606
1995	559,672	8,062,765	8,622,437
1996	696,725	8,294,040	8,990,765
1997	680,212	8,077,000	8,757,212
1998	625,365	7,950,308	8,575,673
1999	605,423	7,613,231	8,218,654
2000	648,719	7,466,331	8,115,050
2001	646,167	7,559,898	8,206,065
2002	630,243	7,731,586	8,361,829
2003	547,842	7,439,107	7,986,949
2004	483,467	7,690,762	8,174,229
2005	533,883	7,756,875	8,290,758
2006	537,124	8,342,928	8,880,052
2007	536,144	8,771,998	9,308,142
2008	574,975	8,984,165	9,559,140
2009	523,877	10,156,884	10,680,761
2010	725,938	13,235,146	13,961,084
2011	821,079	13,807,682	14,628,761

- El modo férreo es aquel que mayor potencial posee en el país para transporte de mercancías. Actualmente su infraestructura está compuesta por 1194 Km de líneas en operación (ver mapa en *Anexo Digital No. 2*) por donde se han movilizad 204 miles de toneladas de mercancías, 74.350 miles de toneladas de carbón y 227.075 pasajeros [5]. A pesar de que en el pasado los ferrocarriles constituían la mejor manera de transportar mercancías y de que los precios de los fletes son atractivos con respecto a otros modos, los distintos gobiernos pasados de Colombia abandonaron las políticas en éstos temas, y en la actualidad, éste sistema no está totalmente articulado entre sí y presenta

discontinuidades entre los centros de mayor producción de carga y los puertos, representando una desventaja competitiva nacional.

- El transporte por carretera es el modo predominante en Colombia. Durante el año 2011 se movilizaron por esta vía 191.701 miles de Toneladas de carga, representando el 71% del total con respecto a los otros modos. Adicionalmente, el modo carretero ha transportado 184.958.703 pasajeros, representando aproximadamente el 90% del total comparándolos con los restantes modos. Ahora, sobre a la infraestructura disponible, la red de carreteras Nacionales está conformada por 214.433 Km de los cuales el 8,06% corresponde a la red primaria administrada en su mayoría por INVIAS, el 20% lo conforma la red secundaria a cargo de los departamentos, el 66,2% es la red terciaria mantenida también por municipios y el 5,7% restante son vías privadas (TRANSPORTE EN CIFRAS, 2012). Como comenta el CONPES 3261 (Programa de infraestructura vial y desarrollo regional), ésta distribución obedece a la Ley 105 de 1993 que dictamina la descentralización de las actividades de construcción y mantenimiento, donde la Nación se responsabiliza por la Red Primaria, y los departamentos y municipios se hacen cargo de los caminos que por sus características serían secundarias o terciarias respectivamente.

Enfocándose en las carreteras de la Red Primaria o Nacional, estas se concentran principalmente en atender la demanda de transporte de insumos que se presentan en las grandes urbes alrededor del territorio. Así, éstas están conformadas por rutas troncales y transversales que empiezan su recorrido en las fronteras internacionales y terminan ya sea en puertos de comercio exterior o en otras fronteras internacionales. Las principales troncales que atraviesan el país de sur a norte son las rutas 25 y 45 y se caracterizan por ser paralelas en la mayor parte del recorrido, a los ríos Cauca y Magdalena; y de las rutas transversales se

destacan la 90, 62, 50 y 40 que aunque su longitud es menor, son esenciales para comunicar ejes troncales entre sí principalmente (GARCÍA, 2011). Un mapa detallado de la red primaria nacional se presenta en el *Anexo Digital No. 2*.

Al conocer las características de cada modo se concluye que el papel que juega el transporte por carretera en la movilización de mercancías y pasajeros es ampliamente mayor y notoriamente trascendental en contraste con los restantes modos de transporte, contando con un mayor número de carga y pasajeros movilizadas, mayor infraestructura a su disposición que puede atender grandes volúmenes de masas y una elevada destinación de recursos de regalías enfocadas a expandir y potenciar dicho modo. Adicionalmente, un punto igual de importante es que cada uno de los elementos que conforman el Sistema de Plataformas Logísticas se comunican entre sí por carretera, a diferencia de, por ejemplo, el modo férreo que a pesar de tener un potencial interesante, su red no es continúa en todos estos puntos,

Por lo tanto en este documento se abordará la evaluación de la accesibilidad de las plataformas logísticas mencionadas a través del modo vial.

2.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Dentro de una investigación, la información que se obtiene para su desarrollo es de dos tipos: directa o indirecta. La directa comprende aquellas mediciones, informaciones, datos, registros y estadísticas que se recolectan a través de salidas de campo ejecutadas en las áreas de estudio. Sin embargo, la indirecta es aquella que se obtiene por medio de publicaciones de fuentes fidedignas y de una detallada revisión bibliográfica. Dada la magnitud del escenario de estudio, la información necesaria para establecer la evaluación de accesibilidad para el SPLE se obtuvo de manera indirecta basándose en fuentes oficiales

como el Ministerio de Transporte, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Departamento de Planeación Nacional (DNP), y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS); y también de fuentes complementarias como referencias bibliográficas, anuarios estadísticos e investigaciones previas.

En general, para la construcción de las redes de transporte según el modo escogido, es imprescindible conocer información acerca de sus tramos de conexión como la longitud y el tránsito que lo recorre. Naturalmente los nodos que entran en juego son los quince (15) puntos que conforman el SPLE y que están localizados al interior de Colombia, por lo que la zona de estudio se trabajará en su totalidad y no se dividirá en pequeñas sub-zonas.

Específicamente los datos recolectados para el modo vial es la siguiente:

- La longitud de los tramos fue recolectada por cartografía digital obtenida de investigaciones anteriores, del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), y de los volúmenes de tránsito para los años 2006-2011 publicado recientemente por el INVIAS. Ésta información se selecciona y se presenta en el *Anexo Digital No. 3*
- El total de camiones que circulan por cada tramo dentro de la red principal fue obtenido también a través de los volúmenes de tránsito del INVIAS de los años 2006-2011. De todos estos datos se decide tomar como base el año 2010 ya que es aquel donde la información está completa para todos los departamentos del país. Los datos obtenidos y seleccionados se pueden observar en el *Anexo Digital No. 3*

Los datos adquiridos para cada uno de los puntos de análisis fueron:

- Número de establecimientos industriales⁷, los cuales es reportado cada año por el DANE en su Encuesta Anual Manufacturera (EAM). Se toman los registros para el año 2011.
- Personal ocupado⁸, al igual que el anterior, es obtenido por el DANE en los mismos informes estadísticos del sector industrial (EAM). Se trabaja con los datos para el año 2011.
- La información anterior se depura y se presenta en el *Anexo Digital No. 4*
- Se indaga información adicional como la población, la cual es también obtenida por el DANE en el Censo Nacional realizado en el año 2005 [3].

Todos estos datos fueron organizados en hojas electrónicas de cálculo utilizando el programa Microsoft Excel® 2010, el cual facilita la presentación y el cambio de formato como base de datos para generar las relaciones entre las entidades y los atributos en los Sistemas de Información Geográfica. Para ésta investigación se utilizará el software ArcGIS versión 9.3, el cual tiene herramientas adecuadas que facilitan el desarrollo del modelo.

⁷ El DANE define “Número de establecimientos industriales” como aquellos que tienen diez (10) o más personas ocupadas o más de \$137,7 millones de producción en el año

⁸ Para el DANE, éste personal ocupado es aquel que realiza sus labores en los establecimientos industriales mencionados

2.3 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE ACCESIBILIDAD

Para conocer los niveles de accesibilidad de los elementos que conforman el SPLE al interior de Colombia se procede a desarrollar los cálculos respectivos para cada indicador identificado y seleccionado en el Marco Teórico. Dichos índices están basados en (2) de las (4) perspectivas básicas de las medidas de accesibilidad: aquellas basadas en la localización y aquellas basadas en la infraestructura. Y además pertenecen a dos (2) de los tres (3) grupos de medidas de accesibilidad: topológicas y agregadas

Los indicadores que se usan son:

- Factor de ruta integral (topológica)
- Indicador de Gravedad (agregada)
- Indicador de Gravedad utilizado en el Plan Director de Infraestructura - PDI (agregada)
- Indicador de accesibilidad de Sohn (agregada)

Todos los indicadores se representan gráficamente por medio de curvas de isoaccesibilidad para facilitar su análisis e interpretación. Como complemento a lo anterior, los índices serán representados también por puntos que se localizan en los nodos de análisis y donde sus diámetros varían según las magnitudes de sus resultados numéricos de accesibilidad. Todas las salidas gráficas se presentan en el *Anexo Digital No. 5*.

2.3.1 Factor de Ruta, r_{ij} - Factor de Ruta Integral, R_i

Éste indicador nos permite determinar la calidad del trazado de los arcos que conectan los diferentes puntos de análisis, donde las condiciones de

accesibilidad mejoran en cuanto los valores obtenidos sean más cercanos a uno (1). En contraste, las magnitudes más alejadas de la unidad muestran condiciones menos favorables de accesibilidad.

Las redes con la cual se trabajó éste indicador es la red vial nacional y los resultados se obtuvieron a partir de dos matrices de distancias: la primera que se refiere a la distancia más corta entre puntos a través de la red y la segunda de distancias en línea recta medida sobre la cartografía digital. Dada la magnitud del área de estudio, los cálculos de éste indicador para cada nodo junto con la información mencionada se presenta en el *Anexo Digital No. 6*.

Los resultados obtenidos para cada uno de los elementos que conforman el SPLE al interior de Colombia lo podemos ver en la Tabla 4:

Tabla 4 Resultados Factor de Ruta Integral

Plataforma Logística	Factor de Ruta Integral Ri
Centro de carga aérea de Barranquilla	1.342
Área logística de distribución Urbana de Cali	1.398
Puerto Seco de Buga	1.409
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	1.456
Área logística de distribución Urbana de Bucaramanga	1.471
Área logística de distribución Urbana de Medellín	1.477
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	1.524
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	1.542
Área logística de distribución Urbana de Bogotá	1.565
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	1.572
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	1.616
Área logística de consolidación de cargas de Montería	1.628
Centro de carga aérea de Medellín (Rionegro)	1.642
Centro de carga aérea de Bogotá (El Dorado)	1.650
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	1.744

Observando los resultados, las plataformas que tienen mejores niveles de accesibilidad son el Centro de carga aérea de Barranquilla, el Área logística de distribución Urbana de Cali y el Puerto Seco de Buga. Dentro de la red definida para el análisis son plataformas que tienen a su disposición una buena oferta en infraestructura vial y además están conectadas por arcos caracterizados por trazados con alineamientos casi rectilíneos y pendientes longitudinales bajas ya que están situadas en la planicie del Valle del Cauca, en el caso de Cali y Buga; y en la llanura del Caribe para Barranquilla. Por otro lado resultan la Plataforma Multimodal de Barrancabermeja, el Centro de carga aérea de Bogotá y Rionegro como las plataformas con niveles de accesibilidad más bajos probablemente debido a las condiciones topográficas adversas que deben asumir los arcos que permiten la conexión de estos puntos con el resto de la red. El caso particular de El Dorado es de especial atención ya que se esperaban resultados parecidos a las de Bogotá por su localización, pero se manifiesta como uno de las plataformas en peor condición de accesibilidad debido a que es un punto aislado a través de la red planteada para el análisis y posee un grado muy bajo de interconexión con el resto de puntos a través de la red.

Tomando valores superiores a 1,5 como resultados de accesibilidad baja, se observa que nueve (9) de los quince (15) puntos analizados, dentro de los cuales está la capital del país, superan éste valor. Lo anterior significa que el 60% de los nodos del SPLE al interior de Colombia, según éste criterio, no se conectan óptimamente con los demás puntos a través del trazado a su disposición. Éste resultado llama la atención ya que contrasta con el hecho de que la malla vial nacional previamente ha tendido a desarrollarse de acuerdo a la posición de los puntos de paso obligado en el proceso de moción de mercancía dentro del país, como las capitales nacionales.

Ahora, se calcula la desviación estandar (ρ) y el promedio de todos éstos valores encontrados. La primera arroja un valor de $\rho = 0,107$ significando resultados poco dispersos con respecto a su promedio, otorgando aires de

confiabilidad para la toma de decisiones y una visión más acorde de los mismos con la realidad. Por el otro lado, en el promedio se obtiene un $Fr = 1.536$, indicando definitivamente condiciones de accesibilidad desfavorables para los nodos que conforma el SPLE al interior de Colombia bajo éste criterio.

Para visualizar mejor los resultados, se realizan representaciones gráficas con puntos y con curvas de isoaccesibilidad para cada nodo. Ver Figura No. 6.

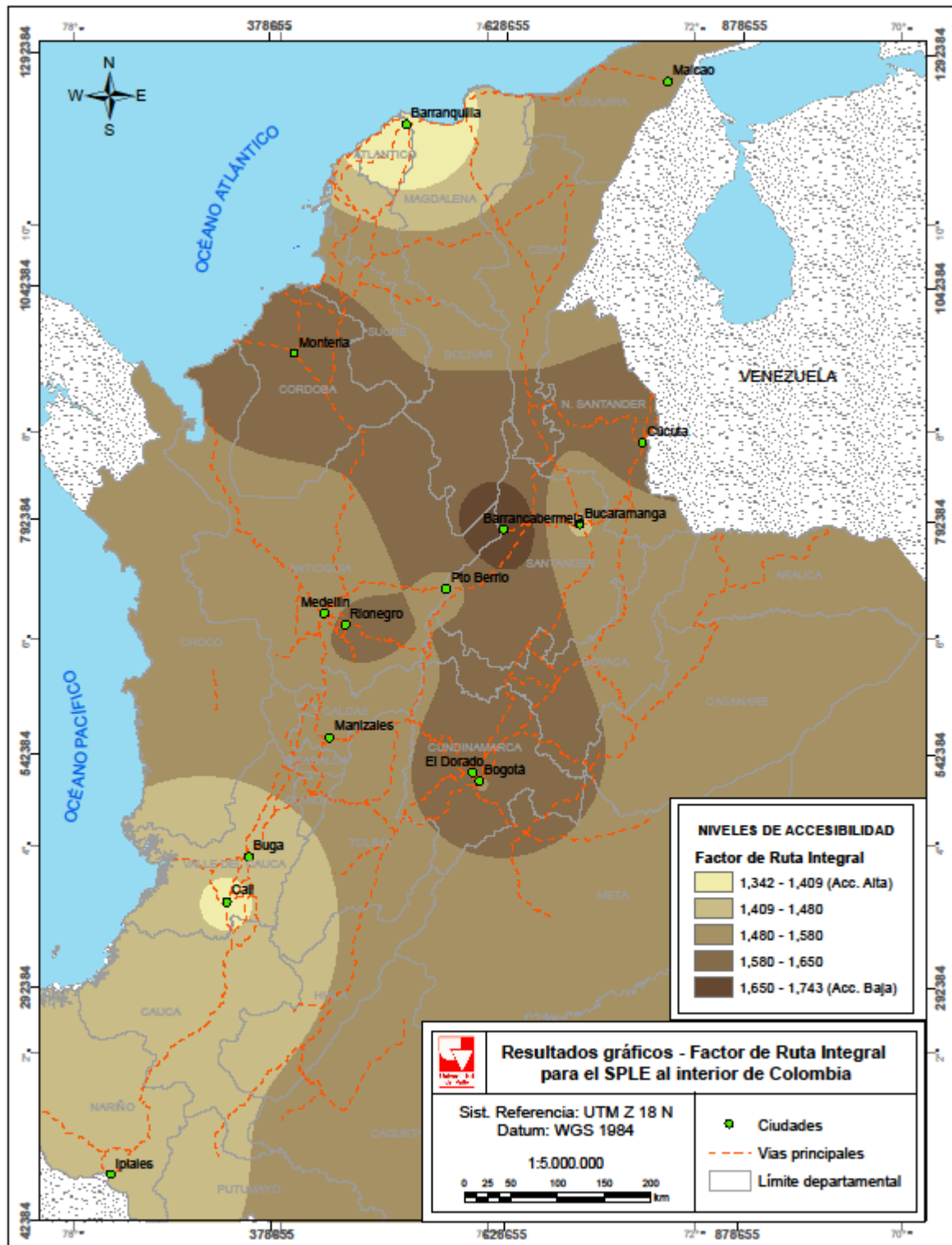


Figura 6 Curvas de Isoaccesibilidad - Factor de Ruta Integral

2.3.2 Indicador de gravedad

Este indicador permite relacionar variables socio-económicas con topológicas. En el caso particular, el número de establecimientos industriales con la distancia y la impedancia respectivamente. El sentido de la gravedad en este indicador debe ser muestra de qué tanta atracción puede llegar a generar un punto en relación a los demás y es ahí donde los establecimientos industriales, como variable socio-económica, tienen vital importancia si se piensa en el transporte de carga.

Como se ha visto a través de los diferentes análisis, la impedancia comprende todos aquellos factores físicos que puedan llegar a dificultar, impedir, demorar u obstaculizar el desplazamiento de un lugar a otro a través de la red. Por lo anterior es fácil pensar que los niveles de accesibilidad son una función inversa de los factores distancia e impedancia y este indicador no es la excepción.

Por practicidad en el análisis, se optó por utilizar valores medios de impedancia debido a que es una variable subjetiva, relativa y de difícil determinación dado que en este trabajo de grado no se realizaron pruebas de campo, sino que se estudió la información disponible. En consecuencia, se usaron valores de impedancia $\beta=0.1$, $\beta=0.15$ y $\beta=0.2$, tomando como referencia lo observado en MURILLO J, (2007) y GARCÍA, (2011), donde se muestra que estos valores son representativos para el caso de estudio. El procedimiento de cálculo se expone en el *Anexo Digital No. 7*. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5 Resultados Indicador de Gravedad

Plataformas Logísticas	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.15$	$\beta = 0.2$
Área logística de distribución Urbana de Bogotá	1.073E+00	5.426E-01	2.744E-01
Centro de carga aérea de Bogotá (El Dorado)	1.073E+00	5.426E-01	2.744E-01
Área logística de distribución Urbana de Medellín	3.393E-02	4.564E-03	6.139E-04
Centro de carga aérea de Medellín (Rionegro)	3.393E-02	4.564E-03	6.139E-04
Puerto Seco de Buga	2.063E-03	8.957E-05	3.889E-06
Área logística de distribución Urbana de Cali	6.411E-05	2.784E-06	1.209E-07
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	4.507E-06	1.545E-08	5.301E-11
Área logística de distribución Urbana de Bucaramanga	4.832E-07	1.654E-09	5.674E-12
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	4.693E-08	7.200E-12	1.143E-15
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	1.081E-08	7.927E-13	5.899E-17
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	2.227E-09	1.698E-13	1.295E-17
Área logística de consolidación de cargas de Montería	6.645E-16	2.764E-23	1.158E-30
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	6.544E-16	2.734E-23	1.142E-30
Centro de carga aérea de Barranquilla	1.405E-17	5.887E-25	2.467E-32
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	4.893E-21	3.272E-31	2.188E-41

Con lo mostrado en la Tabla 5. se evidencia claramente la incidencia de la impedancia sobre los niveles de accesibilidad. A medida que la impedancia se hace más grande, las condiciones de accesibilidad van disminuyendo.

Como era de esperarse las diferentes plataformas obtuvieron valores de accesibilidad bastante dispersos debido a que la escala que tiene el sistema planteado es muy extensa. Ahora bien, lo anterior nos obliga a plantear un factor de ajuste para obtener valores un poco más familiares. Dicho factor de ajuste es 1000 para todos los casos de impedancia.

Ordenando de mayor a menor los resultados obtenidos para los diferentes valores de impedancia se observa que no hay cambio en la posición asignada para cada una de las plataformas. Se puede ver por añadidura un fenómeno común a todos los escenarios y es que las parejas de plataformas “Área logística de distribución Urbana” y “Centro de carga Aérea” de Bogotá y Medellín; lideran la calificación por estar tan cercanamente localizados.

Luego aparecen las plataformas ubicadas en el Valle del Cauca, específicamente el “Puerto Seco” de Buga y el “Área logística de distribución Urbana” de Cali. Sin embargo, sorprende la condición de accesibilidad que presenta Buga, estando aún por encima de Cali; teniendo en cuenta que Cali cuenta con 1094 establecimientos industriales y Buga solo con 34 [19]. No obstante, el extraordinario fenómeno puede explicarse gracias al concepto de gravedad que es implícito de este criterio.

La ciudad de Cali actúa como foco atractivo gracias al número de establecimientos industriales con el que cuenta, por lo que Buga se ve beneficiado por su ubicación geográfica, cercana a Cali pero un poco más centralizada dentro del país y por la infraestructura de la que puede gozar en cuanto a carreteras y vías de acceso se refiere.

Así mismo se puede observar que las demás plataformas aparecen calificadas de acuerdo al mismo criterio de gravedad pero dependiendo en mayor medida de sus atributos individuales ya que entre ellas no hay otra especie de “pareja” de plataformas ubicadas dentro del mismo perímetro urbano o al menos dentro de la misma área metropolitana que pueda potenciar el efecto de gravedad en alguna de las plataformas.

Por último, el área logística de apoyo en frontera de Ipiales, Maicao, y el centro de carga aérea de Barranquilla muestran los niveles de accesibilidad más desfavorables ya que geográficamente se encuentran localizadas hacia los extremos de la nación y las distancias con respecto a los demás puntos del sistema son grandes. En detrimento, éste par de áreas logísticas de apoyo en frontera no cuenta con un número de establecimientos industriales representativo en relación a los demás.

Se calcularon las accesibilidades globales para cada caso de impedancia como la sumatoria de las accesibilidades integrales de cada nodo y se evalúa el comportamiento de acuerdo a su variación. En la Tabla 6. Queda claro que la impedancia y las condiciones de accesibilidad se relación de forma inversa como se muestra en la Figura 7.

Tabla 6 Accesibilidad para diferentes valores de impedancia

Impedancia β	Accesibilidad Global	Pérdida de accesibilidad (%)	Desv. Std
0,100	2,216	-	0,363
0,150	1,094	50,63	0,184
0,200	0,550	49,72	0,093

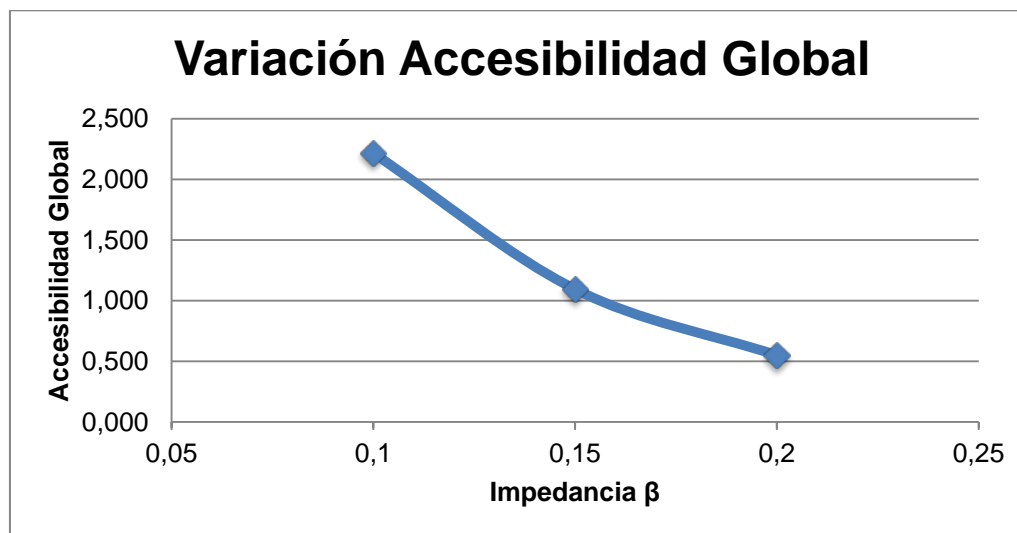


Figura 7 Variación de los niveles de accesibilidad para diferentes impedancias según el indicador de gravedad

Como era de esperarse, éste indicador muestra que cada elemento del SPLE al interior de Colombia, y por ende su accesibilidad global, se reduce a medida que las impedancias aumentan a un ritmo de aproximadamente el 50% con respecto a su magnitud anterior. Algo que llama la atención es que a medida que aumenta la impedancia, la dispersión de los datos se reduce lo cual se ve reflejado en su desviación estándar. Lo anterior implica que sus valores se

alinean con el valor promedio de los mismos, y por tanto los valores para una impedancia del 20% se aproximan adecuadamente a la realidad en estudio y generan mayor confiabilidad que los otros. Para comprender mejor los resultados de cada nodo de estudio, se presentan gráficas con puntos para cada valor de impedancia. Ver Figura No. 8, Figura No. 9 y Figura No. 10.

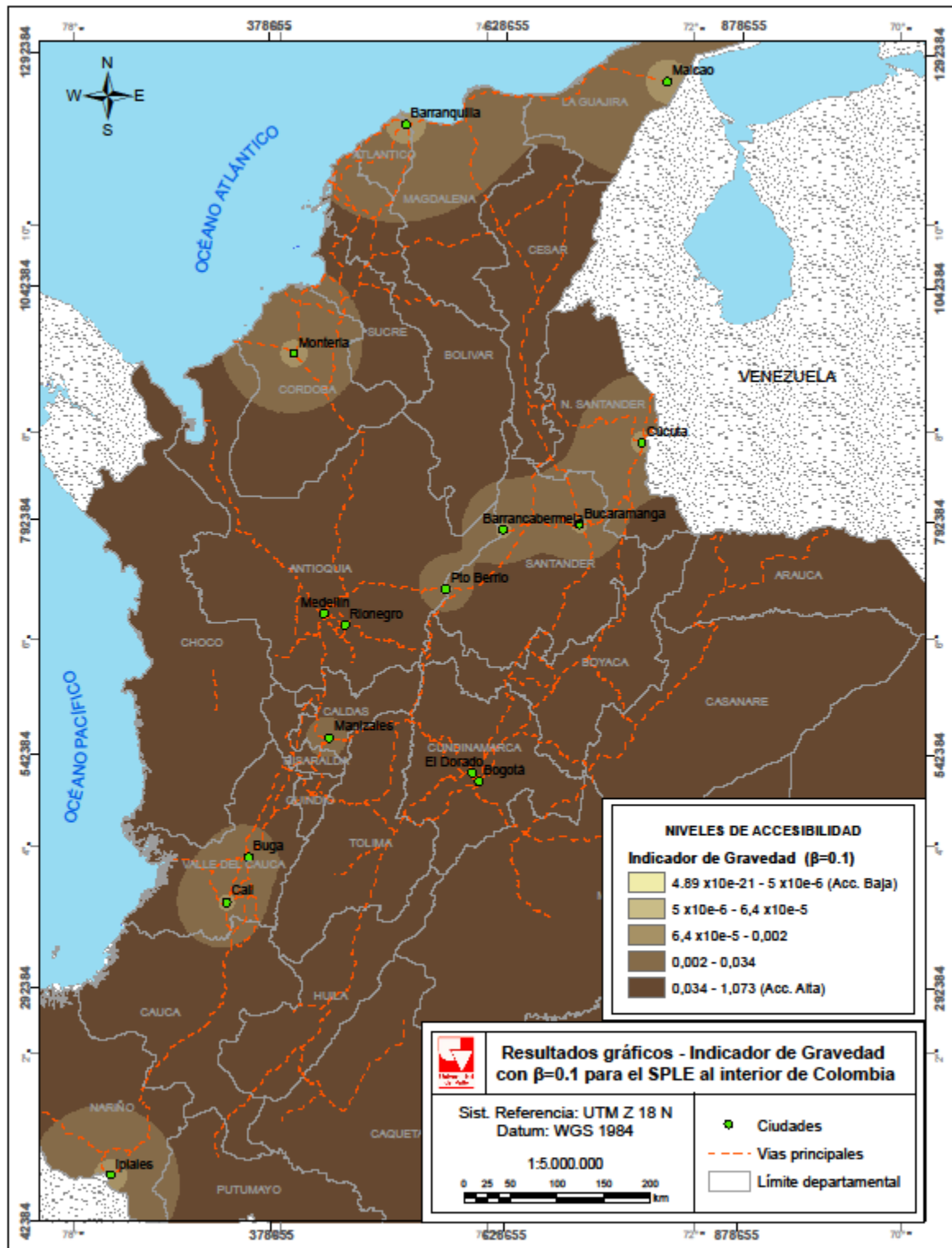


Figura 8 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.1$

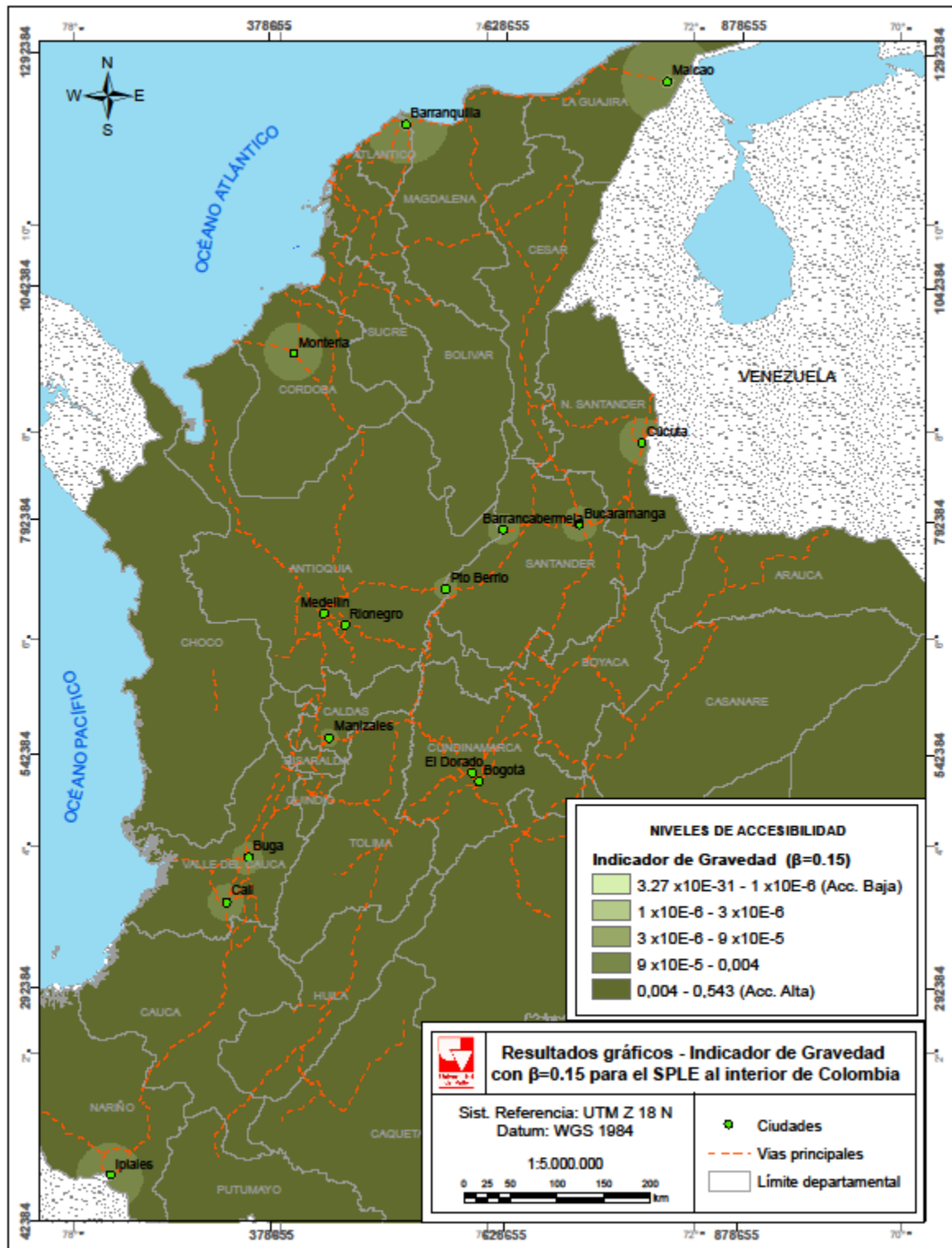


Figura 9 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.15$

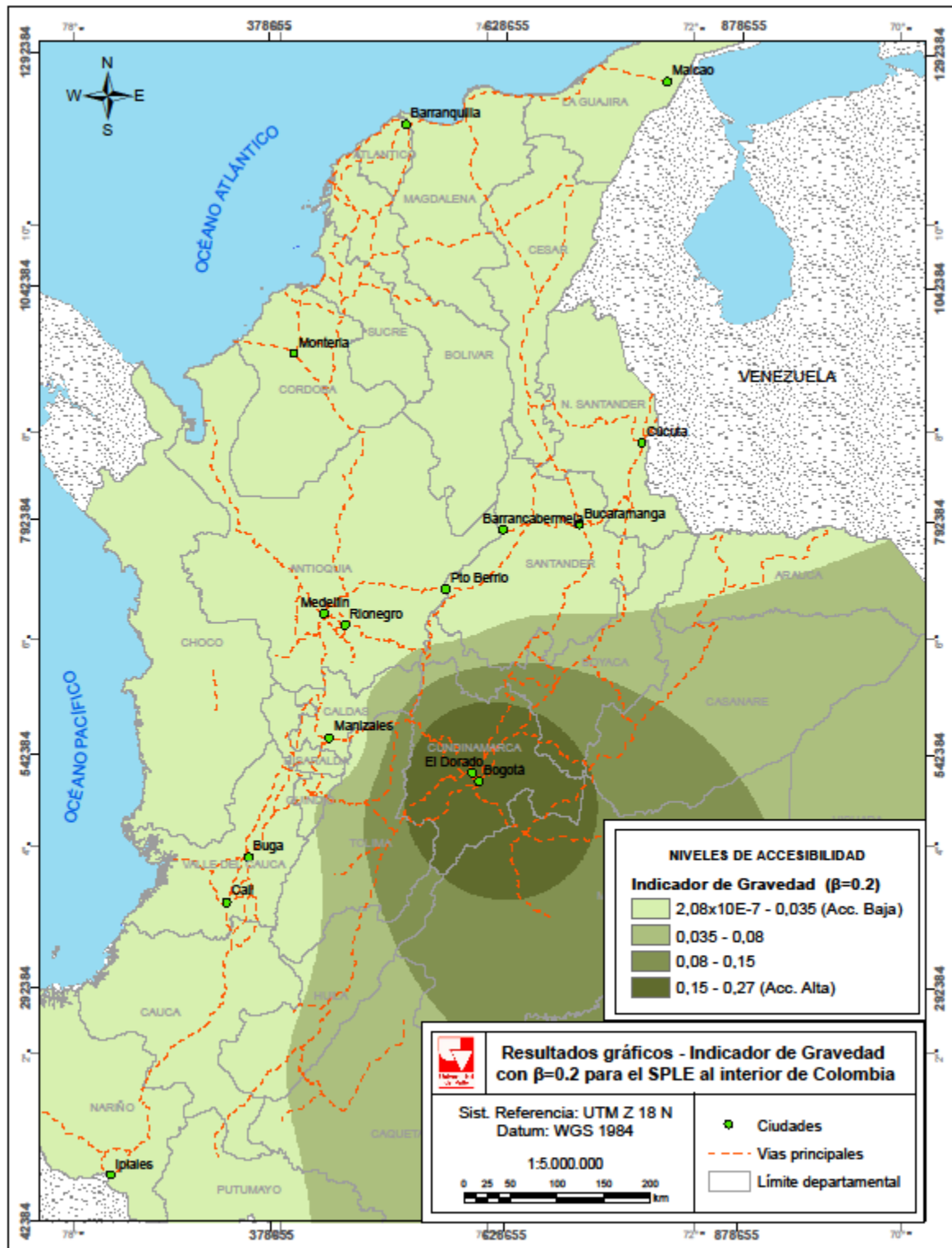


Figura 10 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Gravedad para $\beta=0.2$

2.3.3 Indicador de gravedad utilizado en el Plan Director de Infraestructura – PDI

Este indicador permite calificar las condiciones de accesibilidad de cada nodo evaluando su capacidad de atracción relativa relacionando una variable socioeconómica como la cantidad de personal ocupado, con la impedancia real vista como la distancia más corta sobre la red.

Teniendo el personal ocupado de cada nodo [19] y las distancias que los separan a través de la red, se realizan los cálculos respectivos para éste indicador el cual se presenta en el *Anexo Digital No. 8*. Los resultados finales son los siguientes: (ver tabla No. 7)

Tabla 7. Resultados Indicador de Gravedad Utilizado en el Plan Director de Infraestructura

Plataforma Logística	Indicador de Gravedad utilizado en el PDI
Área logística de distribución Urbana de Bogotá	0.208
Centro de carga aérea de Bogotá	0.214
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	0.295
Centro de carga aérea de Medellín	0.309
Área logística de distribución Urbana de Medellín	0.325
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	0.338
Puerto Seco de Buga	0.402
Área logística de distribución Urbana de Bucaramanga	0.437
Área logística de distribución Urbana de Cali	0.455
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	0.468
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	0.584
Área logística de consolidación de cargas de Montería	0.698
Centro de carga aérea de Barranquilla	0.874
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	0.920
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	1.131

Según éste indicador, las plataformas con mayores niveles de accesibilidad son aquellas localizadas en la zona central del país (plataformas ubicadas en Bogotá, Manizales y Medellín) y aquellos puntos cercanos a las ciudades capitales que se separan en menor proporción de todos los puntos que conforman la red (como la Plataforma Multimodal de Puerto Berrio y el Puerto Seco de Buga). Por otro lado, se observa que los resultados desfavorables se refieren a los nodos que están geográficamente localizados en los extremos de la nación cuyos arcos de conexión tienen una mayor longitud, como por ejemplo el Área logística de apoyo en frontera de Maicao e Ipiales, y el Centro de carga aérea de Barranquilla, que a pesar de que ésta ciudad representa un polo industrial importante, juega en su contra la lejanía del mismo.

Ahora, el análisis de los datos por medio de este criterio indica que las mejores condiciones de accesibilidad le corresponden a las plataformas ubicadas en zonas dotadas con número de personal ocupado significativo dadas las condiciones de industrialización que esto supone y que evidentemente están situadas hacia el centro del país. Siendo Bogotá, Manizales y Medellín las áreas mejor calificadas.

Los niveles de accesibilidad mostrados por el Área logística de distribución Urbana de Cali y de Bucaramanga llaman la atención dado que, a pesar de tener la importancia y potencial económico dentro del país, muestran niveles promedios debido a su ubicación geográfica y a las condiciones de la infraestructura existente. Los datos obtenidos para éste indicador tienen una desviación estandar de $\rho = 0,268$ significando que los resultados arrojados se alejan poco del valor promedio, dan confiabilidad para la toma de decisiones, y se aproximan de buena manera a la realidad estudiada. Para una mejor comprensión, se realizan representaciones gráficas con puntos y con curvas de isoaccesibilidad para cada nodo. Ver Figura No. 11.

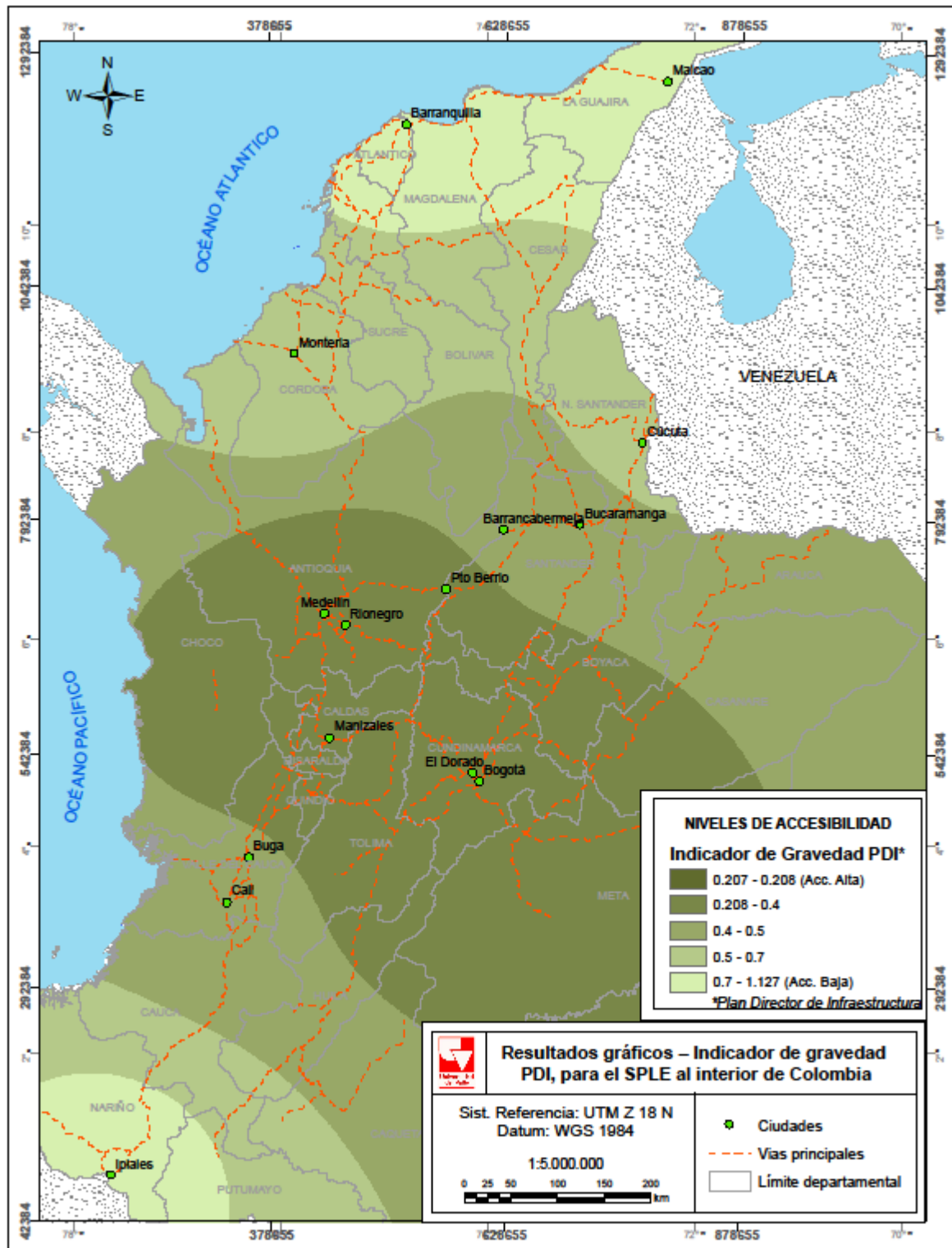


Figura 11 Curvas de Isoaccesibilidad - Indicador de gravedad PDI

2.3.4 Indicador de Accesibilidad de Sohn

La adaptación de este indicador al caso de estudio permite estimar los niveles de accesibilidad relacionando características específicas de un origen y un destino a través de la red planteada. Como medida agregada y a diferencia de las anteriores, éste criterio abre la posibilidad de relacionar hasta tres variables de diferentes tipos y en el mismo sentido, considerar el juicio del evaluador al ponderar la participación de las diferentes razones que se planteen. En adición a lo anterior, la ecuación planteada por Sohn está compuesta por dos partes en la que se confrontan las distancias entre puntos y los diferentes tráficos que circulan entre ellos, donde el factor de ponderación es quien determina el peso de cada uno en los resultados que se esperan. Para éste caso específico se opta por tomar un factor de ponderación de $\alpha = 0,5$.

Para la aplicación del caso particular, se optó por relacionar variables de tipo socio-económico, como el número de establecimientos industriales; variables topológicas, como la distancia entre nodos y el tránsito de camiones registrado en los diferentes arcos que conforman la red de análisis. El parámetro β de la ecuación funciona como calibrador y se obtiene empíricamente para cada caso específico. Sin embargo, como comenta NUZZOLO, A., et al, (2012), para establecer la magnitud de éste parámetro, o replicarlo de otras fuentes los a otro caso de estudio, es clave contar con encuestas de movilidad de mercancías realizadas en los diferentes puntos de estudio. Ante la ausencia de los mismos y la gran escala de la investigación, al parámetro β se decide asignarle un valor unitario

Finalmente, el criterio de Sohn permite re-escalar los resultados fluctuándolos entre cero y uno para facilidad de interpretación, el cual, para éste caso específico dicho factor es de 17. Con lo anterior, los cálculos realizados, los

datos utilizados y los resultados obtenidos se presentan en el *Anexo Digital No. 9*. A continuación, en la Tabla 8. se presenta el resumen de los valores arrojados:

Tabla 8 Resultados Condiciones de Accesibilidad Indicador de Sohn

Plataformas Logísticas	Indicador de Sohn
Centro de carga aérea de Bogotá	9.98E-01
Área logística de distribución Urbana de Bogotá	9.94E-01
Centro de carga aérea de Medellín	2.20E-01
Área logística de distribución Urbana de Medellín	2.11E-01
Área logística de distribución Urbana de Cali	9.40E-02
Área logística de distribución Urbana de Bucaramanga	3.10E-02
Centro de carga aérea de Barranquilla	2.91E-02
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	1.47E-02
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	1.14E-02
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	3.65E-03
Puerto Seco de Buga	3.47E-03
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	1.50E-03
Área logística de consolidación de cargas de Montería	6.42E-04
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	3.66E-04
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	7.91E-05

Cabe anotar que lo encontrado es una calificación muy similar a lo que arrojaron indicadores previamente utilizados en éste análisis teniendo en cuenta que se incluye adicionalmente el factor tránsito.

Aparecen las plataformas de Bogotá y Medellín como las de mejor calificación dentro del sistema ya que cuentan con la infraestructura más adecuada para llevar a cabo procesos de transporte de mercancías. Conjuntamente cuentan con cierta capacidad atractiva al contar con cantidades representativas de establecimientos industriales legalmente reconocidos. Sin embargo, no sólo lo mencionado le brinda niveles de accesibilidad preferenciales a las plataformas pertenecientes a estas ciudades sino que también gozan de una localización

estratégica ubicándose hacia el centro del área nacional y los convierte en focos indispensables para la distribución de carga en Colombia.

Indiscutiblemente el desarrollo industrial de las ciudades ubicadas en el centro del país ha sido representativamente mayor a lo largo de la historia si se compara con el de ciudades que se encuentran geográficamente localizadas hacia la periferia. No obstante es oportuno aclarar que en este análisis se excluyen ciudades costeras que cuentan con puertos marítimos y que han sido de vital importancia en la evolución económica del país, ya que éstas han sido consideradas en estudios similares y como tema de otras investigaciones (GARCÍA, 2011).

No obstante, encontramos bastante mal acotadas las ciudades que cuentan con áreas logísticas de apoyo en frontera, como lo son Maicao e Ipiales ya que, como se ha visto a lo largo de toda la indagación, su ubicación extrema sugiere condiciones desfavorables en cuanto a accesibilidad se refiere. En adición, no contienen cuantías de establecimientos industriales considerables, lo que las convierte en ciudades menos atractivas dentro del sistema y de las consideraciones hechas para una reflexión práctica.

Como punto medio se encuentran las plataformas logísticas pertenecientes a las ciudades intermedias como Bucaramanga, Barranquilla, Manizales, Cúcuta, Barrancabermeja, Buga y Montería. Dichas ciudades cumplen un papel complementario dentro del desarrollo normal de movimiento de mercancías dentro del país. Cuentan con pocos establecimientos industriales y se ubican en puntos intermedios entre el centro y el perímetro de la red lo que se ratifica con los registros de tránsito encontrados en los arcos que conectan estos nodos. Los datos obtenidos para éste indicador arrojan una desviación estándar **de $\rho = 0,330$** significando que los resultados se alejan poco de sus valores medios, otorgan confiabilidad para la toma de decisiones, y tienen aceptable aproximación a la realidad estudiada. Para una mejor comprensión, se realizan

representaciones gráficas con puntos y con curvas de isoaccesibilidad para cada nodo. Ver Figura No. 12.

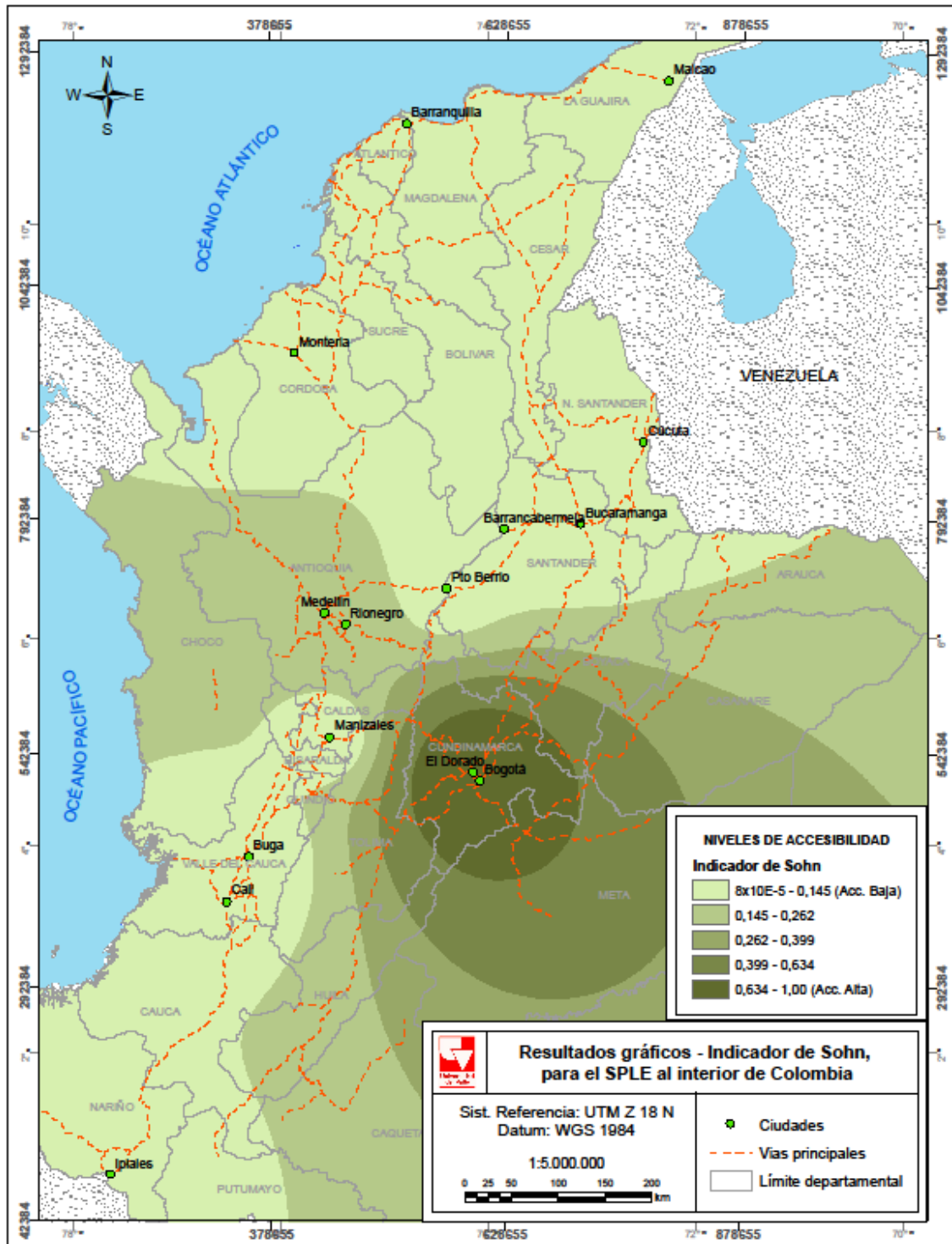


Figura 12 Curvas de Isoaccesibilidad. Indicador de Sohn

2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En ésta investigación es importante determinar cuáles de los cuatro (4) indicadores estudiados representan las más aproximadas y mejores condiciones de accesibilidad ya que permite visualizar con certeza qué puntos o regiones necesitan mejorar sus resultados y tomar buenas decisiones en el direccionamiento de los recursos en aras de buscar una descentralización geográfica de las actividades.

De manera general lo primero a explorar en éste apartado es utilizar las principales herramientas que nos brinda la estadística descriptiva⁹ para analizar los resultados obtenidos por cada indicador de accesibilidad aplicado al SPLE al interior de Colombia, con el fin de resaltar las características, y concluir cuál es aquel que representa de mejor manera, la naturaleza estudiada. El proceso de cálculo se presenta en el *Anexo Digital No.10* y los resultados finales se muestran en la Tabla 9 a continuación.

Tabla 9. Análisis estadístico

indicador de Accesibilidad	Máximo	Mínimo	Medi a	Mediana	Moda	Desviació n estándar	Coefficiente de variación	sesgo	curtsosis
Factor de Ruta Integral	1.744	1.342	1.536	1.542	NO HAY	0.107	7%	0.016	-0.550
Indcador de Gravedad $\beta=0,10$	1.073	4.893E-21	0.148	4.832E-07	NO HAY	0.363	246%	2.400	4.334
Indcador de Gravedad $\beta=0,15$	0.543	3.272E-31	0.073	1.654E-09	0.543	0.184	252%	2.404	4.348
Indcador de Gravedad $\beta=0,20$	0.274	2.188E-41	0.037	5.674E-12	0.274	0.093	254%	2.405	4.349
Indcador de Gravedad PDI	1.131	0.208	0.510	0.437	NO HAY	0.268	53%	1.070	0.258
Indcador de Accesibilidad Sohr	0.998	7.908E-05	0.174	0.015	NO HAY	0.330	189%	2.202	3.660

De los valores arrojados se pueden sacar numerosas observaciones. Para empezar los valores máximos para cada indicador son cercanos entre sí; lo contrario sucede con los valores mínimos que tienen una diferencia notoria ente

⁹ Triola, M., (2009). Estadística. México

sus magnitudes. El conjunto media – mediana – moda representará importancia en el Sesgo o Coeficiente de Asimetría, el cual se aborda más adelante.

Todos los indicadores presentan desviaciones estándar aparentemente bajas siendo el Indicador de Gravedad con una impedancia del 20% y el Factor de Ruta Integral aquellos que representan las menores valores, con lo que se infiere que las magnitudes de accesibilidad arrojadas para cada punto del SPLE bajo éstos indicadores son los que menos dispersión presenta. Por otro lado el Indicador de Gravedad con una impedancia del 10% y el Indicador de Sohn son aquellos que representan las desviaciones más altas, sin embargo, como se comentó no son valores aparentemente críticos. Como se mencionó en la anterior subsección (Cálculo de los niveles de accesibilidad) es interesante notar que en el Indicador de Gravedad, a medida que aumenta la impedancia asumida, se disminuye el valor de su desviación.

Ahora, debido a que la desviación estándar posee unidades similares a la del conjunto de valores del cual fue estimado y por ende no permite realizar comparaciones con otros valores, quien realmente determina el grado de dispersión de cada rango de datos es el Coeficiente de Variación. De los resultados que se tienen se observa que el Indicador de Gravedad con todas sus impedancias y el indicador de Sohn son los que mayor dispersión poseen (>188%). Por otro lado el Indicador de Gravedad del PDI y el Factor de Ruta Integral resultaron ser los indicadores de menor dispersión (<54%) y por tanto representan valores confiables y representativos de la realidad estudiada.

Las distribuciones pueden tener diferentes formas y una manera de caracterizarlas es observando su simetría. La manera para hacerlo es a través del Sesgo o Coeficiente de Asimetría, el cual arroja valores entre -3 (asimetría o sesgo negativo) y +3 (asimetría o sesgo positivo) y está intrínsecamente

asociado al conjunto media-mediana-moda puesto que las diferencias numéricas entre sí definirán la dirección de sus sesgo. Así, de los valores obtenidos se indaga que todos los indicadores tienen sesgo positivo, siendo los indicadores de Gravedad (con todas sus impedancias) y el de Sohn aquellos con mayor asimetría que los otros dos.

Finalmente la Curtosis es otra de las medidas de forma con la que determina qué tan cercanos es una distribución con respecto a la curva normal y según los resultados que se obtengan puede ser Mesocúrtica (valores cercanos a cero), Leptocúrtica (valor muy superior a cero) y Platicúrtica (valores menores a cero). De los resultados se tienen que el Factor de Ruta Integral resulta con una curva Platicúrtica, el Indicador de Gravedad del PDI con una curva Mesocúrtica y las restantes con curvas Leptocúrticas.

Con éste par de medidas de formas utilizadas se concluye entonces que el conjunto de valores arrojados por todos los indicadores de accesibilidad tienen poca semejanza con la curva normal.

Lo segundo a desarrollar en éste apartado es determinar qué tan relacionadas están los indicadores evaluados entre sí, es decir, observar si existen indicadores asociados directamente o inversamente. La estadística presenta principalmente para ello dos (2) Coeficientes de Correlación: r de Pearson o r_s de Spearman [20]. Para decidir cuál de éste par se utiliza para éste caso específico es necesario observar los resultados de las medidas de forma que se obtuvieron (ver tabla No. 9). El coeficiente de Correlación r de Pearson exige que la distribución de ambas variables sean parecidas a la de la curva normal, y dado que los resultados no concuerdan con ésta premisa, ante esto el coeficiente idóneo para medir la correlación es el r_s de Spearman, el cual evalúa la intensidad con que están involucradas dos variables cuantitativas

continuas. Siendo n el número de parejas y d la diferencia entre las correspondientes parejas convertidas en escala ordinal, se tiene que:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n-1)(n+1)}$$

Ecuación 9

Los resultados para éste indicador arrojan valores que oscilan entre -1 y +1 significando que las variables se relacionan inversamente o directamente, respectivamente. En ésta prueba se plantean dos (2) hipótesis estadísticas: hipótesis estadística nula ($H_0: r_s = 0$) la cual significa que el par de variables no se asocia, e hipótesis estadística alterna ($H_a: r_s \neq 0$) con el que se confirma una asociación. El rechazo de H_0 sucede cuando el valor del coeficiente calculado con los datos es mayor a un valor crítico de dicho coeficiente que varía según el número de datos y el nivel de significancia escogido (1%, 2% o 5%).

Para los cuatro (4) indicadores que se usaron para evaluar la accesibilidad del SPLE al interior de Colombia se aplica éste coeficiente. El procedimiento de cálculo se presenta en el *Anexo Digital No.10*, y los resultados finales se muestran en la Tabla No. 10:

Tabla 10 Resultados Coeficiente de Correlación de Spearman entre los indicadores utilizados con un nivel de significancia del 5%

	Factor de ruta integral	Indicador de gravedad	Indicador de gravedad PDI	Indicador de Sohn
Factor de ruta integral	-	-0,279	-0,275	-0,100
Indicador de gravedad	-0,279	-	0,839	0,775
Indicador de gravedad PDI	-0,275	0,839	-	0,746
Indicador de Sohn	-0,100	0,775	0,746	-

Hay que tener en cuenta que ésta matriz de resultados es transpuesta, y de ella se observa que los mejores resultados están cuando se relacionan los indicadores de Sohn, Gravedad y Gravedad del PDI con un riesgo de error del 5%, siendo éstas dos últimas las que se asocian más fuertemente con un coeficiente de correlación de Spearman de 0,839. Por otro lado es claro que el Factor de Ruta Integral no tiene afinidad con ninguno de los otros pues sus resultados son bajos, cercanos a cero y con signo negativo (el cual indica tendencia inversa).

La premisa anterior era de esperarse puesto que el Factor de Ruta Integral es una medida Topológica, es decir, sólo trata de los trazados asociados a la red de transporte; y las tres restantes son medidas Agregadas que utilizan además de las distancias y característica de la infraestructura que los une, variables no convencionales como el número de empresas, población, puestos de trabajo, etc. Los indicadores de gravedad con las impedancias de 15% y 20% no se compararon con las demás dado que los resultados entre sí son perfectamente proporcionales con el indicador de gravedad con impedancia al 10% ($r_s = 1$), por ende, con cualquiera de éstas tres basta para evaluarlas y compararlas con los otros indicadores usados.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SPLE

Lo siguiente a desarrollar en éste objetivo es establecer una jerarquización de cada uno de los elementos del SPLE al interior de Colombia con el fin de comprender ‘finalmente cuáles son los mejores puntos y los peores en términos de accesibilidad vial. Para ello se asigna a cada plataforma la posición que ocupó en cada uno de los indicadores estudiados, siendo el número uno (1) establecido para aquel que ocupó la mejor condición de accesibilidad. Tras sumar cada resultado, se ordenan de menor a mayor a fin de establecer una jerarquía. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 11 Posición que ocupa cada elemento del SPLE al interior de Colombia por indicador

PLATAFORMA LOGÍSTICA	Factor de Ruta Integral R_i	Indicador de Gravedad $\beta=0,1$	Indicador de Gravedad PDI	Indicador de Sohn	Total
Centro de carga aérea de Barranquilla	1	14	13	7	35
Área logística de distribución urbana de Cali	2	6	9	5	22
Puerto seco de Buga	3	5	7	11	26
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	4	15	14	14	47
Área logística de distribución urbana de Bucaramanga	5	8	8	6	27
Área logística de distribución urbana de Medellín	6	3	5	4	18
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	7	10	3	8	28
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	8	13	15	15	51
Área logística de distribución urbana de Bogotá	9	1	1	2	13
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	10	9	6	12	37
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	11	11	11	9	42
Área logística de consolidación de cargas de Montería	12	12	12	13	49
Centro de carga aérea de Medellín (Ríonegro)	13	4	4	3	24
Centro de carga aérea de Bogotá (El Dorado)	14	2	2	1	19
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	15	7	10	10	42

Tabla 12 Jerarquización de mayor a menor nivel de accesibilidad para cada elemento del SPLE al interior de Colombia

PLATAFORMA LOGÍSTICA	Total
Área logística de distribución urbana de Bogotá	13
Área logística de distribución urbana de Medellín	18
Centro de carga aérea de Bogotá (El Dorado)	19
Área logística de distribución urbana de Cali	22
Centro de carga aérea de Medellín (Ríonegro)	24
Puerto seco de Buga	26
Área logística de distribución urbana de Bucaramanga	27
Área logística de consolidación de cargas de Manizales	28
Centro de carga aérea de Barranquilla	35
Plataforma Multimodal de Puerto Berrío	37
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	42
Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	42
Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	47
Área logística de consolidación de cargas de Montería	49
Área logística de apoyo en frontera de Maicao	51

De las Tablas No. 11 y No. 12 se puede observar que las Áreas de Distribución Urbana de Bogotá, Medellín y Cali, y los centros de carga aérea de El Dorado y el de Ríonegro se perfilan como los nodos más accesibles del SPLE al interior de Colombia. Este resultado es natural dado que estas tres ciudades representan el llamado “triángulo de oro”, por ser los polos industriales más grandes del país y donde se concentra la mayor generación del PIB nacional. Sumado a lo anterior, las redes de transporte se estructuran de manera prioritaria hacia estas zonas por su importancia estratégica.

Por otro lado se tiene que las Áreas Logísticas de apoyo en frontera de Maicao y de Ipiales, y el Área Logística de Consolidación de cargas de Montería resultaron ser los puntos menos favorecidos en términos de accesibilidad. Lo anterior se debe al hecho de que estos puntos se encuentran localizados geográficamente hacia los extremos del país y no tienen características socioeconómicas relevantes que se destaquen sobre las demás. Para el caso

de las Áreas Logísticas de Apoyo en Frontera, sólo resultan importantes al ser un paso obligado hacia las fronteras con los países vecinos.

Las ciudades como Barranquilla, Manizales y Bucaramanga ocupan posiciones intermedias dentro del escalafón, y es natural que coincidan con sus papeles en la participación de la industria, ya que estos puntos son polos industriales emergentes que cobrarán relevancia en un futuro. Cabe destacar la posición alcanzada por el Puerto Seco de Buga ya que a pesar de que no representa un nodo industrializado, su posición geográfica, su proximidad a grandes polos industrializados (como Cali o Manizales) y la amplia oferta de redes de transporte a su disposición le otorgan un lugar privilegiado en el escalafón.

Para finalizar, ALG (2008) en su documento define unas plataformas de primero, segundo y tercer nivel en base al plazo de su ejecución, según la urgencia logística que atiende cada elemento en particular. La definición es la siguiente:

Tabla 13 Propuesta de Sistema de Plataformas Logísticas según ALG (2008).

Plataformas logísticas de primer nivel (corto plazo)	Plataformas logísticas de segundo nivel (medio plazo)	Plataformas logísticas de tercer nivel (largo plazo)
Área logística de distribución urbana de Bogotá	Área logística de distribución urbana de Cali	Área logística de distribución urbana de Bucaramanga
Área logística de distribución urbana de Medellín	Área logística de apoyo en frontera de Ipiales	Área logística de apoyo en frontera de Maicao
Área logística de apoyo en frontera de Cúcuta	Área logística de consolidación de cargas de Manizales	Área logística de consolidación de cargas de Montería
Centro de carga aérea de Bogotá	Centro de carga aérea de Barranquilla	Plataforma Multimodal de Puerto Berrío
Centro de carga aérea de Medellín	Plataforma Multimodal de Barrancabermeja	
Puerto seco de Buga		

Al comparar la Tabla No. 13 con la jerarquización hecha se tiene que los mejores resultados de accesibilidad coincide con aquellas plataformas que deben ejecutarse en el corto plazo, con excepción del Área Logística de Apoyo en Frontera de Cúcuta que se posicionó en un lugar intermedio en el ranking. De igual manera, las plataformas a mediano y largo plazo coinciden, en la mayoría de los casos, con aquellas que se deben ejecutar en el mediano y largo plazo. Con esto se concluye que las primeras plataformas a ejecutarse, en cuanto a términos de accesibilidad, tienen luz verde para ser llevadas a cabo y que las consideraciones del autor inicial del SPLE fueron acertadas y son viables desde la perspectiva de la ingeniería del transporte.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Éste trabajo se realizó a partir de una base de datos, un escenario y un modo de transporte con su respectiva infraestructura, que fueron seleccionados durante el desarrollo de la investigación con base en las variables que participan de manera directa en cada uno de los análisis propuestos.

El papel que juega la infraestructura de transporte es clave en el desarrollo e impulso de la competitividad pues son aquellas que permiten la interconexión entre los diferentes polos urbanos y facilitan el intercambio de mercancías, potenciando la industria nacional y todos los sectores de la economía.

Es imprescindible que exista una buena oferta en redes de transporte cuando se trata de logística dado que aspectos como los tiempos de entrega, calidad del producto entregado, volúmenes de carga transportada por flete y costos de movilización están estrechamente relacionados entre sí.

Las herramientas que brinda la ingeniería de transporte son fundamentales para establecer las condiciones de accesibilidad de un grupo de puntos cualquiera. Para el caso específico se amoldan perfectamente y permiten esclarecer las circunstancias en que se encuentran cada elemento planteado en el SPLE al interior de Colombia.

Se exhorta a las diferentes entidades competentes en Colombia, tanto públicas como privadas, para invertir recursos en investigación e innovación en la ingeniería de transporte, ya que a pesar de contar con diferentes herramientas, no es fácil la consecución de información pertinente para realizar análisis de este tipo, que puede resultar muy útil en el direccionamiento del desarrollo del país y de la región.

La utilidad de los SIG - Sistemas de Información Geográfica es notoria puesto que se convierten en la herramienta informática y de procesamiento de datos

obtenidos que facilita el análisis de los resultados del escenario de estudio de una manera ágil y económica, siendo también indispensable en la estructuración y optimización de los recursos y de los proyectos de transporte.

Aunque se tiene como precedente estudios similares, éste es el primero que se realiza en Colombia para el escenario, el modo de transporte y los datos seleccionados, por lo cual se dificulta establecer una relación que permita comparar resultados directos con análisis previos que puedan presentar similitudes. Sin embargo, el análisis estadístico de lo obtenido permite afirmar que se lograron resultados confiables.

Los indicadores de accesibilidad permiten identificar aquellas zonas del sistema en estudio que presentan condiciones favorables y desfavorables. Esto es útil para quienes tienen el poder de decisión y formulación de nuevas políticas para lograr un punto de equilibrio pertinente para los diferentes proyectos a desarrollar.

Se recomienda para futuros proyectos de investigación explorar otros indicadores de accesibilidad que relacionen variables naturales de la ingeniería del transporte, no convencionales (como las distancias y el tráfico), con socioeconómicas puesto que a grandes rasgos su relación es bastante fuerte y su operación está íntimamente correspondida.

Se recomienda explorar la posibilidad de realizar encuestas de movilización de cargas con mayor frecuencia entre los distintos focos de producción localizados en Colombia ya que ésta información brinda de manera más precisa la naturaleza de la movilidad de cargas ya que la última realizada data de hace más de diez (10) años, está demasiado desactualizada.

El indicador de Sohn utilizado en ésta investigación resultaría interesante para evaluar cómo varían las condiciones de accesibilidad de algún polo industrial cuando sus principales accesos son afectados por algún fenómeno que afecte la libre circulación del tráfico y obligue al uso de rutas alternas.

Se recomienda indagar sobre análisis similares con otros modos de transporte con potenciales grandes, dada la apuesta que se está haciendo en políticas para rescatarlos y modernizarlos.

Superponiendo lo propuesto en el SPLE con las características que tiene la red sobre la que se va a trabajar, encontramos que las plataformas mejor calificadas desde el punto de vista de la Ingeniería de Transporte y la accesibilidad son aquellas situadas hacia la región central del País. Como coincidencia, las ciudades localizadas en la zona medular de Colombia son las que han estado a la vanguardia en el desarrollo industrial y ello ha impulsado el desarrollo de infraestructura alrededor de ellas. Razón por el cual el estudio ratifica que las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali son las que cuentan con mejores condiciones de accesibilidad y la diferencia respecto a la calificación obtenida por las demás ciudades implicadas es considerable. Luego, encontramos ciudades capitales intermedias como Bucaramanga, Barranquilla, Manizales que obtienen calificaciones a penas visibles y que se les otorgan simplemente por ser pasos obligados en la movilización de carga.

Entonces es oportuno insistir en la importancia del papel que tiene en éste análisis la ubicación geográfica. Es un factor determinante y del que depende en gran proporción el cálculo de cada uno de los indicadores propuestos. Por lo cual, las plataformas ubicadas en ciudades fronterizas e intermedias son las que resultaron con condiciones de accesibilidad desfavorables. Entre ellas se pueden resaltar las Áreas logísticas de Apoyo en Frontera de Maicao, Ipiales y Cúcuta y también las plataformas que están planteadas en ciudades con índices bajos de desarrollo económico como Montería, Barrancabermeja y Puerto Berrío.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Publicación

DNP - Departamento Nacional de Planeación, 2008, *Documento Conpes 3547. Política Nacional Logística*. [pdf]. Bogotá.

[2]. Tesis

García, C. (2011). *Análisis de accesibilidad para los puertos marítimos de Colombia*. [pdf]. 95 p

[3]. DANE – Departamento Nacional de Estadística, 2008, *Censo General*

2005 Nivel Nacional. [pdf]. Bogotá. Available at: <http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>.

[Accessed 22 May 2014]

[4]. Izquierdo, R., et al. (1991). *Transportes un Enfoque Integral*. España.

[5]. Ministerio de Transporte – Oficina Asesora de Planeación – Grupo de

planificación sectorial, 2013. *Transporte en Cifras – Estadísticas 2012*. [pdf]. Bogotá.

[6]. Murillo, J. (2007). *Análisis de Accesibilidad Vial para el Valle del Cauca*,

[pdf]. 115 p.

[7]. ALG – Advanced Logistic Group, 2008, *Diseño Conceptual de un*

Esquema De Sistemas de Plataformas Logísticas en Colombia y Análisis Financiero y Legal (Primera Fase). [pdf]. Bogotá.

- [8]. Orjuela, J., Castro, O., Suspes, E., (2005). *Operadores y Plataformas Logísticas*, [pdf]. 13 p.
- [9]. Geurs, K., van Wee B., (2004). *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions*, [pdf]. 14 p.
- [10]. Monzón de Cáceres, A., Gutiérrez, J., Piñero, J., (1994). *Accesibilidad a los centros de actividad económica en España*, [pdf]. 11 p.
- [11]. Sohn, J., (2005). *Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach*, [pdf]. 16 p.
- [12]. Nuzzolo, A., Ibeas, A., Moura, J., Comi, A., (2012). *Urban freight transport demand: transferability of survey results analysis and models*, [pdf]. 12 p.
- [13]. Ministerio de Comercio, Industria, y Turismo, 2014, *Dinámica de la Economía Mundial y comportamiento en Colombia*. [pdf]. Bogotá: Oficina de Estudios Económicos. Available at:
<http://www.mincit.gov.co/descargar.php?id=69699> [Accessed 22 May 2014]
- [14]. DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2006 – 2013, *Boletines de Prensa – Comercio Exterior – Importaciones y Exportaciones*. [pdf]. Bogotá
- [15]. Ministerio de Transporte - INVIAS – Instituto Nacional de Vías, 2007, *Plan Estratégico Institucional 2007-2010, “INFRAESTRUCTURA*

- PARA LA COMPETITIVIDAD, INTEGRACIÓN Y DESARROLLO DE COLOMBIA*". [pdf]. Bogotá. Available at:
http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallG/home_1/recursos/informacion_institucional/documentos/21052008/planinstitucional2007-2010.pdf [Accessed 22 May 2014]
- [16]. Ministerio de Transporte, 2011, *Preguntas frecuentes – Transporte Aéreo – Aeropuertos*. [online]. Bogotá. Available at:
<http://www.mintransporte.gov.co/loader.php?IServicio=FAQ&IFuncion=viwPreguntas&id=67#a473> [Accessed 22 May 2014]
- [17]. DNP - Departamento Nacional de Planeación, 2003, *Documento Conpes 3261. Programa de Infraestructura Vial de Integración y Desarrollo Regional*. [pdf]. Bogotá.
- [18]. Ministerio de Transporte - INVIAS – Instituto Nacional de Vías, 2012. *Volúmenes de tránsito 2010 – 2011*. [pdf]. Bogotá.
- [19]. DANE – Departamento Nacional de Estadística, 2013, *Boletín de prensa - Encuesta Anual Manufacturera – EAM 2011d*. [pdf]. Bogotá.
- [20]. UNAM - Universidad Nacional de México – Facultad de Medicina, Reynaga, J., año no disponible, *Apuntes de estadística. El método estadístico*. [pdf]. Ciudad de México.
- [21]. Triola, M., (2009). *Estadística*. Décima Edición. México.