

# **Propuesta metodologica para la determinacion de un indicador de prioridad calculado a partir de la accesibilidad**

**Francisco Javier García Orozco, Ph.D.**

Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Caldas, Colombia, [fjgarciaor@unal.edu.co](mailto:fjgarciaor@unal.edu.co)

**Diego Alexander Escobar García, Ph.D.**

Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Caldas, Colombia, [daescobarga@unal.edu.co](mailto:daescobarga@unal.edu.co)

## **ABSTRACT**

This paper proposes a method for obtaining an indicator to assess the impact produced by the construction of new transport infrastructure or modification of current network, calculated from the application of accessibility studies. Today in many cities in the world are driving important urban transformations, seeking conditions improve mobility of the population, which would result in better quality of life.

This article addresses the issue of the methodology for prioritizing road infrastructure projects, which, from the assessment of impacts on average travel times generated by each of the projects, and can be evaluated by developing accessibility analysis, to measure which intervention produces the best results. Initially describes the proposed methodology and then presents an application, which summarizes the main results of the Analysis of Global Media Accessibility obtained for the system (all transports mean) and the Urban Public Transport (TPCU). Then assessed the impact caused by future infrastructure projects proposed for an intermediate city.

## **RESUMEN**

En este artículo se presenta una propuesta metodológica para la obtención de un indicador que permita evaluar el impacto que produce la construcción de nueva infraestructura o la modificación de la existente, calculado a partir de la aplicación de estudios de accesibilidad. En la actualidad en muchas ciudades del mundo se están impulsando importantes transformaciones urbanas, que buscan mejorar las condiciones de movilidad de la población, lo cual se traduciría en mejor calidad de vida. En este artículo se aborda el tema de la metodología de priorización de proyectos de infraestructura vial, la cual, a partir de la evaluación de impactos sobre los tiempos medios de viaje generados por cada uno de los proyectos, y que puede ser evaluada mediante el desarrollo de un análisis de accesibilidad, permite medir que intervención genera los mejores resultados.

Inicialmente se expone la propuesta metodológica y posteriormente se presenta una aplicación, donde se resumen los principales resultados obtenidos del Análisis de Accesibilidad Media Global obtenidos para el Sistema general y para el sistema de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU). Posteriormente se evalúa el impacto producido por los futuros proyectos de infraestructura propuestos para una ciudad intermedia.

**Keywords:** Accesibilidad, Proyectos, priorización, velocidad.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En este artículo se aborda el tema de la priorización de proyectos, mediante una metodología propuesta, a partir de la aplicación de modelos de oferta, donde se hace el análisis de accesibilidad y a partir de este se determina el impacto que tendría la realización o no de los proyectos, para que así sea posible definir los diferentes programas, estrategias, proyectos e indicadores estratégicos que conllevarían al mayor mejoramiento del sistema de movilidad

de la ciudad o del área de estudio. El indicador así calculado puede ser utilizado en la aplicación de metodologías multicriterio de priorización de proyectos viales. En el documento se hace una aplicación de la metodología propuesta para una ciudad intermedia colombiana, donde se realiza un análisis de los impactos producidos por la inserción de los diferentes paquetes de proyectos, donde se evalúan los cambios en los tiempos medios de viaje por la inserción de nuevas infraestructuras.

Inicialmente se resumen los principales resultados obtenidos del Análisis de Accesibilidad Media Global obtenidos para el Sistema (teniendo en cuenta como velocidad de operación de los arcos el promedio de las velocidades de todos los modos de transporte) y para el sistema de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU). Posteriormente se evalúa el impacto producido por los futuros proyectos de infraestructura propuestos para la ciudad de Manizales, calculando a partir de las curvas gradientes el valor porcentual del impacto producido por el proyecto, con lo que se procede al análisis de priorización cuando se comparan los impactos de la implementación de diferentes proyectos. Este indicador puede ser aplicado en una metodología multicriterio con la ventaja de que en su proceso de cálculo el método es riguroso y carece de las simplificaciones que utilizan otros métodos.

## **2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.**

Este documento propone una metodología en la que a partir del modelo de oferta, determinar los valores que permitan ponderar el impacto que tiene cada uno de los proyectos sobre la infraestructura en términos de beneficios sobre el tiempo medio global de acceso al territorio. A continuación se expone el proceso metodológico para determinar cada valor.

### **2.1 VARIABLES.**

Para el desarrollo de la investigación se requiere de la georeferenciación de la red, lo que determina que las variables a ser incluidas corresponden a la posición, distancia, el sentido de circulación, el estado de la vía, la pendiente, la velocidad de operación, tiempo de recorrido del tramo, como variables fundamentales.

Para este análisis se hace uso del SIG que, alimentado con los datos que contiene la información relevante de las vías de la zona de análisis, permite realizar el estudio de rutas óptimas según la minimización de las variables de análisis que puede fundamentalmente ser la longitud, el tiempo de viaje promedio, o el costo del transporte.

### **2.2 ACCESIBILIDAD.**

La accesibilidad es una medida de la facilidad o dificultad de comunicación de un punto con respecto a otros puntos de un territorio, utilizando uno o varios modos de transporte (Izquierdo, R. ; 1991). Según Petrus, J. y Seguí, J. (1991)<sup>1</sup> el análisis de accesibilidad de una zona específica, se realiza mediante el empleo de la teoría de grafos, la cual utiliza el estudio morfométrico de redes (análisis explicativo) para conocer, con base en datos parciales, qué aspecto tiene la estructura completa de la red. Los estudios de accesibilidad que utilizan el análisis de grafos pueden ser de dos tipos: estáticos y dinámicos, y sus resultados se categorizan en tres niveles: relativa, integral o global<sup>2</sup>. Se tiene entonces que se debe analizar la Accesibilidad Integral que ofrece la red vial de la zona de estudio.

Como plantea Murillo, J., (2007), los estudios de accesibilidad que utilizan el análisis de grafos pueden ser de dos tipos: estáticos y dinámicos. Los estáticos se describen a través de índices de forma y conexiones (aunque su desarrollo se produzca a través de una sucesión temporal) y los dinámicos, se encargan de valorar los elementos de conexión de la red con variables reales asociadas con la operación del sistema, como por ejemplo las distancias, velocidades de operación entre nodos, características de superficie de rodadura, costos, flujos que por ellas circulan, etc.

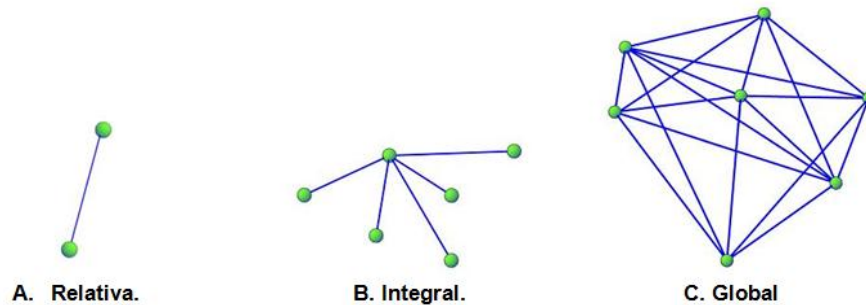
---

<sup>1</sup> PETRUS, J. i SEGUÍ, J. (1991). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. Editorial Síntesis. España.

<sup>2</sup> IZQUIERDO, R., et al. (1991). *Transportes un Enfoque Integral*. España.

Independientemente del tipo de estudio de accesibilidad (estática o dinámica), existen tres niveles en los que la accesibilidad se puede categorizar: relativa, integral o global<sup>3</sup>. La accesibilidad relativa está asociada con la calidad de la conexión entre dos puntos situados en un mismo territorio; la accesibilidad integral, mide el grado de interconexión de un nodo con los demás de una misma zona; y la accesibilidad global es el promedio de las accesibilidades integrales de todos los nodos de la zona de estudio (es representativa del grado de conexión de toda la red y refleja el efecto sobre ella de cualquier actuación – Ver Figura 1.).

**Figura 1. Niveles de Accesibilidad**



**Fuente:** Elaboración Propia.

### 2.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS ISÓCRONAS DE ACCESIBILIDAD MEDIA GLOBAL.

La Accesibilidad Media Global se analiza a partir del valor de tiempo promedio de viaje ( $T_{vi}$ ), el cual lo mide desde el nodo  $i$  hasta los demás nodos de la red. Este indicador tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red, ya que por su ubicación geográfica, los tiempos de viaje desde dichos nodos a los demás tienden a ser menores.

Para el cálculo de dicho indicador, se utiliza un algoritmo del SIG que permite calcular la menor distancia entre un nodo específico y los demás nodos de la red, conformando una matriz unimodal de distancias. A través de esta matriz y conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elabora la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, la cual minimiza el tiempo de viaje entre todos los nodos de la red. Una vez determinada la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, se obtiene el vector de tiempo promedio de viaje ( $T_{vi}$ ), cuyas entradas se calculan a través de la siguiente ecuación:

$$\bar{T}_{vi} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{vi}}{(n-1)} \quad i = 1,2,3,\dots,n \ ; \ j = 1,2,3,\dots,m$$

En donde:

$n$  = Número de nodos de la red

$\bar{T}_{vi}$  = Tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo  $i$  y los demás nodos de la red

$\sum_{j=1}^m t_{vi}$  = Sumatoria del tiempo de viaje mínimo entre el nodo  $i$  y los demás nodos de la red

Posteriormente, el vector de tiempo promedio de viaje ( $n \times 1$ ), se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada uno de los nodos, para crear la matriz de orden ( $n \times 3$ ), por medio de la cual se elaboraran las isócronas de tiempo promedio de viaje respectivas para el área de análisis.

<sup>3</sup> IZQUIERDO, R., et al. (1991). *Transportes un Enfoque Integral*. España.

Para obtener las curvas isócronas de tiempo, se utiliza un software geoestadístico, el cual permite obtener un resultado gráfico a partir del análisis de las matrices de tiempos de viaje, obtenidas anteriormente. A continuación se debe realizar un tratamiento estadístico, con el fin de establecer cuál será el mejor modelo de predicción de curvas a aplicarse, lo cual permite obtener pronósticos de la variable tiempo medio de viaje en diferentes puntos de la zona de análisis. Antes de definir cuál método de interpolación se debe usar, es necesario verificar algunos supuestos estadísticos que las variables han de cumplir.

El primer supuesto que se debe verificar es la normalidad de los datos, para lo cual se aplica la prueba No Paramétrica de Lilliefors; si el vector analizado resulta ser no normal, se realiza una transformación tipo Box-Cox (Transformation to normality), con el fin de probar nuevamente la normalidad del vector. Así mismo, el uso de la transformación Box-Cox asegura las condiciones de homocedasticidad de la distribución de datos.

El segundo supuesto que se debe verificar es la existencia de estacionariedad; un proceso estacionario significa que el promedio de la magnitud de los datos debe ser constante respecto a la ubicación geográfica de las mediciones (el valor de los datos no debe aumentar a medida que se avanza en la ubicación espacial). Si se detectase algún tipo de tendencia, se deben tener en cuenta los residuos del modelo al aplicar el algoritmo de cálculo.

Para verificar este supuesto (estacionariedad), se deben realizar gráficos de dispersión entre el vector de tiempo medio de viaje que se esté analizando y la posición geográfica (Longitud y Latitud, respectivamente), con el fin de establecer cuál es la tendencia que deberá ser removida del modelo de interpolación.

El tercer supuesto estadístico considera que la varianza debe ser finita, es decir, que a aunque la variabilidad espacial de la variable aumente, esta debe tener un límite. La variabilidad espacial está relacionada con el cambio de los datos respecto a la distancia y a la orientación de los mismos. La medida de la varianza, en geoestadística, es la semivarianza, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{\sum (Z(x+h) - Z(x))^2}{2n}$$

En dónde;

$Z(x)$  = Valor de la variable en un sitio  $x$   
 $Z(x+h)$  = Valor muestral separado del anterior por una distancia  $h$   
 $n$  = Número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia

Esta función muestra las propiedades de dependencia espacial del proceso y se calcula para varias distancias  $h$ . A partir de los resultados de esta función se calcula un semivariograma, el cual es la representación gráfica de la semivarianza de los datos respecto a las distancias entre pares de observaciones.

A pesar que no se cumpla la normalidad del vector, luego de aplicarse la transformación Box-Cox, es posible establecer el uso de un método de interpolación estadístico, como por ejemplo el método Kriging, si el vector posee Homocedasticidad<sup>4</sup>, igualdad en la varianza, es posible aplicar el método.

---

<sup>4</sup> La homocedasticidad es una propiedad fundamental del modelo de regresión lineal general y está dentro de sus supuestos clásicos básicos. Se dice que existe homocedasticidad cuando la varianza de los errores estocásticos de la regresión es la misma para cada observación  $i$  (de 1 a  $n$  observaciones). <http://es.wikipedia.org/wiki/Homocedasticidad>, 11/11/11

Luego del análisis estadístico anterior, se determina el método de interpolación a usar, y con el fin de asegurar un resultado estadísticamente confiable, se realiza la validación cruzada de los datos; en este proceso, se comparan los valores observados con los valores estimados por el modelo de interpolación seleccionado, teniendo en cuenta que con una regresión lineal es posible establecer la adecuada o inadecuada precisión del modelo usado para la predicción de los datos. Se construye las curvas isócronas de accesibilidad media global de la zona de análisis.

## 2.4 ANÁLISIS.

Se realiza el análisis de accesibilidad para la zona de estudio, inicialmente con las condiciones actuales. Posteriormente se incluye en la red el proyecto a evaluar y se realiza el análisis de accesibilidad nuevamente, lo que evidenciara los impactos que genera dicho proyecto. Se obtienen la curva gradiente de accesibilidad restando los parámetros con proyecto menos sin proyecto. Estos parámetros se cruzan con variables como área, viviendas, población o cualquiera que se considere de interés y que esté relacionado con lo movilidad. De esta forma se puede obtener un escalafón cuantificado de impactos generados por los proyectos.

En algunos casos se posee redes muy grandes con muchos proyectos, incluso algunos de ellos muy pequeños, por lo que estos pueden ser agrupados de tal forma que se generan paquetes de proyectos, los cuales se evalúan utilizando el mismo procedimiento pero en este caso en vez de un proyecto se evalúa el paquete de proyectos.

## 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A continuación se presentan, de forma general, la aplicación metodológica de los aspectos más importantes que son abordados en los análisis de Accesibilidad territorial, en donde la obtención de la red georeferenciada y de las velocidades de operación de los arcos se convierten en pasos fundamentales para aplicar técnicas geoestadísticas y obtener los modelos de predicción de la variable “*tiempo medio de viaje*”.

### 3.1 ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para esta actividad, se instalaron equipos GPS en diferentes tipos de vehículos, con el fin de almacenar datos de posicionamiento satelital según un intervalo de tiempo predeterminado, obteniéndose cierta información básica del vehículo.

A partir de un sistema receptor instalado en el vehículo, se adquieren las coordenadas de localización del vehículo por intervalos de tiempo de un segundo (GPS), las cuales son almacenadas en la memoria del equipo para luego ser trasladadas hacia un servidor central, donde serán almacenadas y procesadas de acuerdo a un objetivo específico.

Se requiere un sistema de coordenadas estándar para geo-referenciar la información, por lo que según la resolución 068 del 28 de enero de 2005 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se adopta como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA<sup>5</sup> – SIRGAS<sup>6</sup>.

Se entiende como datum geodésico el valor numérico o geométrico que sirve de referencia o de base para la ubicación geográfica de un punto, esta ubicación se puede expresar en coordenadas curvilíneas (latitud y longitud) o planas (norte, este, sur, oeste), sus valores son función del tamaño, la forma y la ubicación del elipsoide de referencia.

---

<sup>5</sup> Marco Geocéntrico Nacional de Referencia

<sup>6</sup> Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas

### **3.2 ACTUALIZACIÓN DE LA RED GEOREFERENCIADA**

Esta actividad parte del análisis de la red vial proporcionada por la Administración Municipal, de su comparación con la categorización vial establecida en el Plan de Ordenamiento Territorial vigente y de su complemento con los datos suministrados por el trabajo de campo realizado con los equipos GPS.

La red vial está conformada por la agregación de nodos y arcos o segmentos de vía, que se encuentran localizados espacialmente. Cada tramo posee características propias asociadas con la pendiente, longitud, sección, etc., que pueden ser utilizadas para calcular a partir de ellas la velocidad promedio de los vehículos que circulan por ellos. De igual manera los nodos o intersecciones pueden poseer muchas características y/o restricciones, convirtiéndose generalmente en un referente o hito para los diferentes análisis.

El siguiente paso consiste en corregir y validar la información. Se pueden ver afectados fundamentalmente dos aspectos, los relacionados con la red vial en cuanto a sus características físicas, y los relacionados con la información obtenida mediante los equipos GPS. Para la red vial, se tiene un número tan alto de variables que suele ser frecuente encontrar incoherencias relacionadas con la información base, entre las que se destacan por ejemplo, la errónea clasificación de la vía, encontrándose vías vehiculares catalogadas como peatonales o viceversa, sentidos viales errados, inexistencia de arcos, errores en las conexiones dentro de la red (separadores de avenidas abiertos cuando en realidad están cerrados o viceversa), arcos duplicados, por citar sólo algunos casos.

Validar la información consiste en verificar la estructura de la base de datos, el sistema de coordenadas, el tiempo entre dato y dato, la secuencia de datos, el formato de los archivos, la precisión prevista, y los demás que se consideren necesarios. Del conjunto de variables anteriores, la identificación de la secuencia de datos de un recorrido en particular, puede ser un proceso en especial complejo, dado que algunos equipos cuando temporalmente pierden señal, entregan información incoherente, teniéndose como resultado una secuencia grande de puntos correctos, mezclados con algunos pocos incorrectos, siendo éstos de difícil localización y corrección por el gran tamaño de las bases de datos que se manejan. En este sentido son de gran ayuda los algoritmos de control que permiten detectar dichas inconsistencias a partir criterios lógicos definidos, como son por ejemplo secuencia de nodos conocidos, velocidades máximas, entre otras.

Como punto de partida del análisis, se debe contar con la red de infraestructuras del transporte lo más actualizada posible del área de estudio, en este caso, la ciudad de Manizales en el año 2010, para lo cual, superponiendo sobre la red vial existente los recorridos registrados por los equipos GPS, se pueden localizar elementos que requieran confirmación. Una vez identificadas las posibles inconsistencias, se requiere de un trabajo de campo o acceder a otros recursos (aerofotografías o cartografía reciente, conocimiento del sector, entre otros) que permitan resolver las dudas.

Cuando se presume que la red esta adecuada para su uso en el sistema, se pueden eliminar aquellos arcos sobre los que no pueden circular vehículos como las vías peatonales, ciclo vías, cables aéreos, vías férreas, etcétera, dado que esto simplifica la cantidad de cálculos que se deben hacer en el proceso. En general esta eliminación no es física y se realiza aplicando el cálculo de las redes de caminos sobre una selección, donde se excluyen dichos arcos. Se procede entonces a superponer los datos obtenidos del monitoreo sobre la red vial, chequeando de esta forma fundamentalmente dos aspectos, los relacionados con la red vial en cuanto a sus características físicas, y los relacionados con la calidad de la información obtenida.

### **3.3 CÁLCULO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN**

El procesamiento de toda la información requiere de la aplicación de diferentes cálculos de acuerdo al desarrollo del proyecto, colocándose especial énfasis en el análisis de la velocidad puesto que esta variable determina el comportamiento de la red. La velocidad de operación se puede determinar para cada arco de la red a partir de los

datos de tiempo obtenidos en forma continua mediante los GPS. Esta velocidad es calculada para cada arco de la red vial, y es usada para establecer las impedancias y para el desarrollo del modelo de predicción de tiempos medios de viaje.

### 3.4 CÁLCULO DE LA ACCESIBILIDAD MEDIA GLOBAL ACTUAL

Ésta se analiza a partir del vector de tiempo medio de viaje ( $T_{vi}$ ), el cual representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo  $i$  hasta los demás nodos de la red. Para el cálculo de dicho indicador, se utiliza un algoritmo del SIG que permite calcular la menor impedancia entre un nodo específico y los demás nodos de la red, conformando una matriz unimodal de impedancias. A través de esta matriz y conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elabora la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, la cual minimiza el tiempo de viaje entre todos los nodos de la red.

Posteriormente, conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elabora la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, en la que se minimiza el tiempo medio de viaje entre todos y cada uno de los nodos que conforman la red en estudio. Una vez determinada la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, se obtiene el vector de tiempo promedio de viaje. Con el procedimiento expuesto en el capítulo de la metodología, se obtienen los resultados del análisis de Accesibilidad Media Global ofrecida por la red vial de los municipios de Manizales y Villamaría, para el sistema completo, es decir, basado en velocidades promedio ponderadas de operación. Estos resultados se presentan en la Figura 2 Accesibilidad media global de los municipios de Manizales y Villamaría

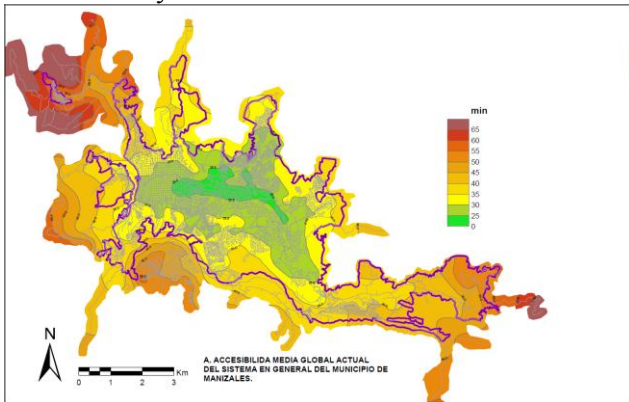


Figura 2 Accesibilidad media global de los municipios de Manizales y Villamaría

Figura 3 Accesibilidad media global futura de los municipios de Manizales y Villamaría (con proyecto)

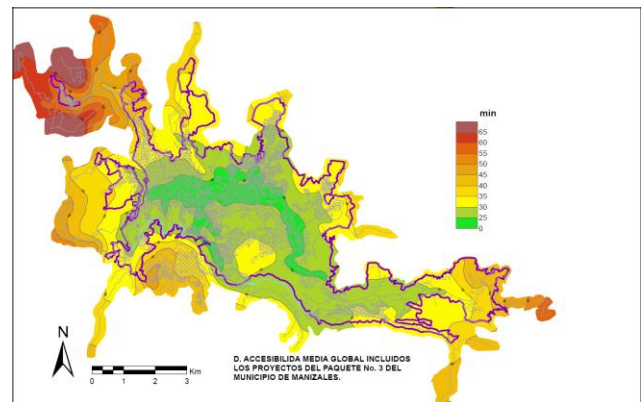
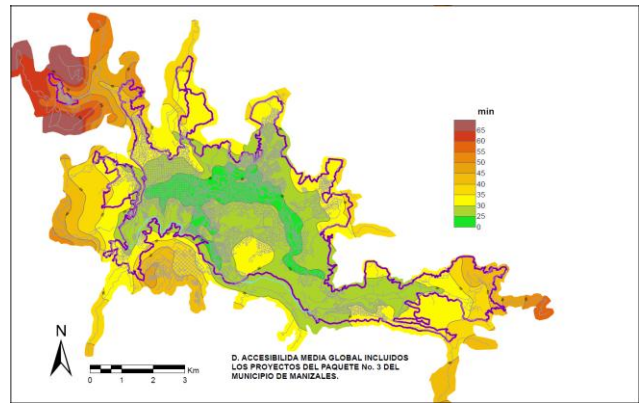
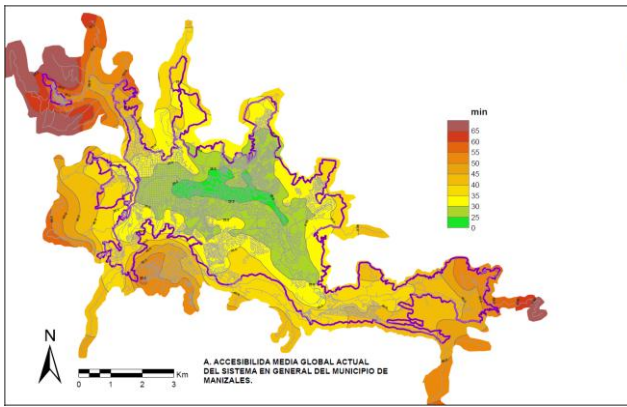


Figura 3 Accesibilidad media global futura de los municipios de Manizales y Villamaría (con proyecto)

, donde de forma general, en el análisis del sistema, se tiene que la ciudad se encuentra cubierta entre curvas isócronas de 25 a 67,5 minutos. Se observa que la curva isócrona de menor valor es la de 25 minutos, cubriendo un amplio sector entre las Avenidas Santander y Kevin Ángel, así como una parte del sector céntrico de la ciudad, lo anterior indica que es dicha zona la que actualmente se beneficia de la mejor accesibilidad posible en la ciudad, en donde el tiempo promedio de viaje de todos los nodos contra todos los nodos llega a ser menor a los 25 minutos.





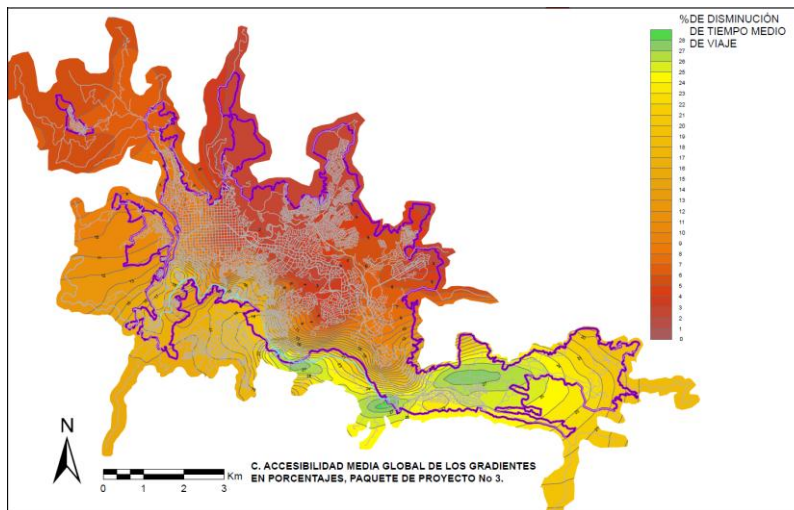
### 3.5 CÁLCULO DE LA ACCESIBILIDAD MEDIA GLOBAL FUTURA (CON PROYECTO)

Para el cálculo de la Accesibilidad Media Global ofrecida por la red vial futura, se debe establecer la hipótesis de cuáles serían las velocidades de operación sobre los arcos que componen los respectivos paquetes de proyectos. Para la definición de las velocidades de operación de los arcos que componen los futuros proyectos, se acogen los valores de velocidad de diseño establecidos por las normas vigentes. Basados en dicha normativa, para el cálculo de los vectores medios de tiempo, se cargara el grafo con los valores de la velocidad de operación de los arcos, asumiendo que la velocidad de operación de los vehículos sobre los nuevos arcos será el 85% de los valores de diseño establecidos por la norma. A continuación se presenta el resultado de los análisis de Accesibilidad media Global para uno de los paquetes de proyectos (ver Figura 3).

### 3.6 CÁLCULO DE LA ACCESIBILIDAD MEDIA GLOBAL DE LOS GRADIENTES EN PORCENTAJE

La evaluación se basa en comparar las condiciones de Accesibilidad Media Global Actual (Sistema) y las condiciones de Accesibilidad obtenidas al realizarse cada uno de los paquetes de proyectos propuestos, mediante el estudio de gradientes de tiempos medios de viaje y la cobertura respectiva de las variables Área, población y Número de Viviendas. Es posible calcular curvas que representen el porcentaje de cambio respecto al tiempo medio de viaje, mediante una comparación entre las curvas de accesibilidad media del sistema para la situación actual y las curvas obtenidas con la realización del paquete de proyectos analizado, en la Figura 4 se observan las curvas gradientes en porcentaje de cambio en los tiempos medios de viaje.

Figura 4 Accesibilidad media global de los gradientes en porcentaje





Se observa que toda el área urbana de la ciudad reflejaría mejoras en sus tiempos medios de viaje de por lo menos un 3%, encontrando áreas con reducciones máximas del tiempo medio de viaje de hasta un 28% respecto a la situación actual. En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos al correlacionar la base de datos de área, población y número de viviendas con las curvas gradiente del paquete de proyectos N°3, permitiendo realizar estimaciones de qué porcentaje del área, de la población y del número de viviendas, se encuentra cubierto por una determinada curva gradiente.

Se observa que los mayores porcentajes cubiertos para las tres variables se presentan entre el 3% y el 6% de disminución en los tiempos medios de viaje, valores que se encuentran por encima de los encontrados para los paquetes de proyectos N°1 y 2. Para las variables población y número de viviendas cubiertas, se encuentran porcentajes de cobertura de hasta el 8% para cambios en los tiempos medios de viaje de hasta el 9% respecto a la situación actual.

En la Figura 5 se observa la relación entre el porcentaje cubierto de Área, Población y Número de Viviendas, a partir del análisis de datos censales de los barrios y las curvas gradiente isócronas que les cubre.

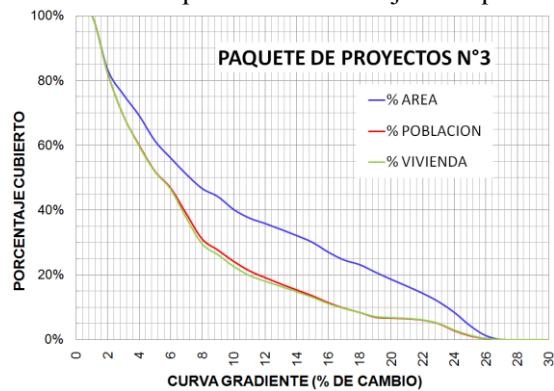
Se concluye que el 50% del área urbana, refiere cambios en los tiempos medios de viaje de hasta un 7,2% menores que en la situación actual, respecto a las variables población y número de viviendas se presentarían cambios en los tiempos medios de viaje de hasta el 5,2% respecto a la situación actual; así mismo, se observa que el 100% de las tres variables refiere cambios de hasta el 1% en los tiempos medios de viaje; para porcentajes de cobertura de área, población y número de viviendas del 10%, se observa un cambio en los tiempos medios de viaje de entre el 17% y el 24% del tiempo medio en la situación actual.

**Tabla 1: Porcentaje de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas gradientes de tiempo para el paquete de proyectos N°3.**

CURVA (%)	AREA CUBIERTA		POBLACION CUBIERTA		TOTAL VIVIENDAS CUBIERTAS	
	(Km <sup>2</sup> )	%	(Hab.)	%	(N°)	%
0	0,0	0%	0	0%	0	0%
3	5,8	17%	64.087	18%	14.876	18%
4	2,7	8%	47.233	13%	10.850	13%
5	2,3	6%	33.025	9%	8.015	10%
6	2,7	8%	29.050	8%	6.630	8%
7	1,9	5%	18.769	5%	4.533	5%
8	1,8	5%	28.930	8%	7.505	9%
9	1,5	4%	28.007	8%	6.679	8%
10	0,9	3%	12.276	3%	2.770	3%
11	1,4	4%	12.663	4%	3.049	4%
12	0,9	3%	10.461	3%	2.310	3%
13	0,6	2%	7.623	2%	1.509	2%
14	0,6	2%	7.161	2%	1.347	2%
15	0,7	2%	6.580	2%	1.391	2%
16	0,7	2%	6.564	2%	1.397	2%
17	1,1	3%	7.584	2%	1.641	2%
18	0,9	2%	6.194	2%	1.272	2%
19	0,5	1%	4.756	1%	1.011	1%
20	0,8	2%	5.355	1%	1.109	1%
21	0,8	2%	893	0%	234	0%
22	0,7	2%	785	0%	212	0%
23	0,8	2%	1.557	0%	388	0%
24	0,9	3%	3.959	1%	905	1%
25	1,2	3%	7.796	2%	1.726	2%
26	1,4	4%	5.814	2%	1.354	2%
27	1,1	3%	3.141	1%	829	1%
28	0,4	1%	961	0%	274	0%
29	0,0	0%	197	0%	51	0%
<b>TOTALES</b>	<b>35,1</b>	<b>100%</b>	<b>361.422</b>	<b>100%</b>	<b>83.868</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 5.** Porcentaje cubierto de las variables área, población y número de viviendas, respecto a las curvas gradiente de cambio en los tiempos medios de viaje – Paquete de Proyectos N°3.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Con los valores así calculados, se obtiene el porcentaje de impacto por variable (área, población o vivienda), donde al dividir el costo del proyecto por el porcentaje calculado, permite determinar la inversión requerida para mejorar un 1% en promedio de la accesibilidad a la zona de estudio. Este valor puede compararse para todos los proyectos para calificar cual es la mejor inversión, y por tanto es un factor utilizable para un análisis multi-criterio.

## REFERENCES

- Barea, P. i Martínez, O. (2002). Metodologías de Evaluación de la Accesibilidad y nuevos enfoques. V Congreso de Ingeniería de Transporte. Ibeas, A., Díaz, J. y De la Lastra, P., Editores. Universidad de Cantabria. España.
- Gutiérrez, J. (1998). Redes, espacio y tiempo. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. N° 18. Pp. 65-86. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Izquierdo, R., et al. (1991). *Transportes un Enfoque Integral*. España.
- Loyola et al. (2009). Flujo, Movilidad y Niveles de Accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. *Propuesta de mejoramiento mediante SIG. Revista Urbano*, Vol. 12, No. 19, mayo, 2009, pp. 17-27. Universidad del Bío Bío. Chile
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008. Guía Metodológica: Asistencia técnica a ciudades menores de 600.000 habitantes en la formulación, adopción, implementación y/o seguimiento del Plan de Movilidad. *Contrato de Prestación de servicios de consultoría N° 2071275. Financiado por el BIRF*.
- Morris, J.M., Dumble, P.L., Wigan, M.R., (1979). *Accessibility indicators in transport planning*. *Transportation Research A* 13, 91–109.
- Murillo, J. et al. (2007) La Accesibilidad Vial Regional, Metodologías para su evaluación. *Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2007*.
- Murillo, J. et al. (2007) La Accesibilidad Vial Regional, Metodologías para su evaluación. *Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2007*.
- Petrus, J. i Seguí, J. (1991). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. Editorial Síntesis. España.
- Resolución 068 del 28 de enero de 2005. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*.
- Universidad Nacional de Colombia (2005). Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales. *Fases 0 y 1. Manizales, 2005*.
- Zhu, X. i Liu, S. (2004). Analysis of the impact of the MRT system on accesibility in Singapore using an integrated GIS tool. *Journal of Transport Geography* Vol. 4. No. 12. pp. 89 – 101.

## Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.