



## FLUJO, MOVILIDAD Y NIVELES DE ACCESIBILIDAD EN EL CENTRO DE CHILLÁN AÑO 2007. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO MEDIANTE SIG

*Christian Loyola Gómez<sup>1</sup>, Elías Albornoz Del Valle<sup>2</sup>*

Fecha de recepción: 10/01/09  
Fecha de aceptación: 22/03/09

### Flujo, movilidad y niveles de accesibilidad en el centro de Chillán año 2007. Propuesta de mejoramiento mediante SIG

**RESUMEN:** La ciudad de Chillán posee una red vial estructurada en base a la infraestructura física que la ciudad ha desarrollado desde su fundación, organizándose el tráfico vehicular colectivo en torno a ésta, generando así rutas de transporte desde la periferia hasta el centro de la ciudad.

La investigación analizará cómo el tráfico vehicular que circula en la red céntrica de la ciudad de Chillán, afecta los índices de accesibilidad. En este contexto, la investigación toma como objeto de estudio la red vial céntrica de Chillán y el flujo vehicular desde la periferia al centro, enmarcándola en el análisis de las redes, su accesibilidad y en el sistema de ordenación de locomoción colectiva. La herramienta más idónea para establecer dicho análisis lo constituyen los Sistemas de Información Geográfica, que permiten modelar la realidad existente y además generar propuestas de flujo vehicular que aumenten los niveles de accesibilidad al centro de la ciudad de Chillán.

**Palabras claves:** Red Vial, Rutas de Transporte, SIG y Accesibilidad

### Flow, mobility and levels of accessibility in the city centre of Chillán: proposals for improvement through SIG

**ABSTRACT:** The city of Chillán has a structured road network based on the physical infrastructure that the city has developed since its foundations, organising collective vehicle traffic around it, generating therefore transport routes from the periphery into the core area of the city.

The present investigation will analyse how vehicular traffic that circulates within the city centre limits affects accessibility rates. In this context, the investigation will take the red céntrica of Chillán as the object of study, as well as the vehicular influx from the periphery into the core part of the city, bearing in mind networks' analysis, their accessibility and also in the distribution system of collective transport. The most appropriate tool to establish such analysis is GIS, that allows to create an existing reality while at the same time it generates proposals of vehicular influx that will increase the rates of accessibility into the core of the city of Chillán.

**KEY WORDS:** Road Network, Transport Routes, GIS (Geography Information Systems) and Accessibility



*Plaza de Armas de Chillán, eje central de la red vial de la ciudad*

<sup>1</sup> Docente Facultad de Educación, Pedagogía en Historia y Geografía, Universidad del Bío-Bío, Chillán. Correo electrónico: [cloyola@ubiobio.cl](mailto:cloyola@ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Docente Facultad de Educación, Pedagogía en Historia y Geografía, Universidad del Bío-Bío, Chillán. Correo electrónico: [ealbornoz@ubiobio.cl](mailto:ealbornoz@ubiobio.cl)

## Antecedentes

### 1.1 Teoría de Redes

Geográficamente el concepto de red, se vincula en primera instancia con el factor *distancia*. Para esto Bunge (1962, citado en Hagget 1976, p 86), sugiere que si se trata del problema de construir una ruta para comunicar varios puntos, la ruta de *<mínima distancia>* no puede ser resuelta simplemente como en los problemas con dos puntos. Por lo tanto, se generan grandes obstáculos en las interacciones, más si se agrega la variable *tiempo* se llega a una primera apreciación que, a mayor distancia mayor es el tiempo de recorrido de un nodo a otro, pero si existe una distancia mínima el tiempo de recorrido debería ser mínimo y es aquí donde varía el valor de los lugares en función de su situación geográfica. Evidencia de lo planteado anteriormente son la *teoría centro-periferia, la de los lugares centrales y la de difusión espacial*.

Estas teorías se desarrollan en un sistema denominado red, el cual es un conjunto de elementos materiales e inmateriales, ondas o informacionales, que aseguran la relación de diferentes lugares de un territorio y de las entidades que lo ocupan (Loyola 2005, p.104). Por esto Bosque (1997) afirma la importancia del análisis de redes de comunicación mediante el uso de SIG. Se define, desde esta perspectiva, a una red como “un sistema interconectado de elementos lineales, que forman una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo” (Bosque 1997, p.207 citado en Loyola, 2005). Por otra parte, Ramírez basado en Comas y Ruíz (2003), define a ésta como “un sistema interconectado de líneas por la que se desplazan una serie de elementos como personas, bienes, recursos u otros, que se conectan con nudos que corresponden a cruces de segmentos”

Se evidencia que una red está compuesta por elementos lineales (Aristas), permanentes o temporarios y de elementos nodales (Nodo) necesarios para la organización de flujos y para el funcionamiento del sistema en el que está inserto a la red. Uno de estos elementos lineales son las vías de circulación y los elementos nodales, puntos de intersección (Bosque 1992). Es así como una red se define como un conjunto de nodos conectados por arcos, y al considerar un flujo entre cada nodo y por cada arco se entiende que existe una oposición al desplazamiento, considerado como impedancia. La impedancia se define como el costo que representa el desplazamiento a lo largo de un arco (Ávila. 1996). Estos arcos o aristas que utiliza Bosque (1992) para su definición de accesibilidad, presentan atributos cuantificables, como su longitud, además de atribuciones relativas según su impedancia y uso dentro de la red. Se comprende que de la naturaleza de los atributos se pueden jerarquizar los arcos de la red, como por ejemplo: Arcos 1, que comprende a Avenidas; Arcos 2, que pueden ser vías principales con intersecciones cada un kilómetro; y Arcos 3 que se interpretan como calles menores, con un sentido y un solo carril. También se pueden clasificar según su utilidad comercial, residencial, industrial y finalmente según su uso (Ávila et al. 1996).

La red vial comprendida en su totalidad y estructurada frente a la planificación urbana, genera circuitos de transporte de personas que se movilizan desde un punto a otro, este circuito estructurado

desde su origen hasta el destino más la sucesiva utilización del mismo, ya sea por uno u otro elemento que se moviliza, genera dentro de la teoría de redes las denominadas rutas de movilización, que se componen por “una serie de arcos conectados, que tienen un origen y un destino, así como una impedancia propia.” (Ávila et al. 1996).

### 1.2 Movilidad y accesibilidad de la red

La existencia de estas redes obedece a una necesidad de movilidad, circulación expedita, comunicación y de intercambio debido a lo heterogéneo del espacio geográfico. La satisfacción de las necesidades de los habitantes de la ciudad supone la interconexión de lugares geográficos mediante redes de transporte. El papel de los nodos es clave puesto que son ellos los que posibilitan los múltiples intercambios. Si la distribución de estos nodos no es homogénea crean una nueva característica que es la discontinuidad, que junto con el rendimiento de transporte que lo sirven y con la estructura, constituyen uno de los principales factores explicativos de las diferencias de accesibilidad en el espacio. Como indica Ruiz (1995, citado en Loyola, 2005), un lugar o una zona del territorio es accesible cuando tiene acceso con mayor precisión y facilidad. Si lo que se quiere es perfilar en un concepto técnico y cuantificable, el cuestionamiento es mucho más difícil, pues cada uno de los indicadores que habitualmente se utilizan, mide distintas características del territorio en relación con el sistema de transporte. Complementando la definición anterior, Bosque (1992) señala que la accesibilidad se define como: “la mayor o menor cantidad de aristas y nodos que es necesario atravesar para llegar al nodo de referencia o algunos de los restantes, permitiendo explicar las posibilidades de interacción entre los distintos puntos de un territorio”.

Los índices Accesibilidad Absoluta y Relativa se ven, entre otros, en el estudio “Accesibilidad a los centros de actividad económica en España” de Gutiérrez (1993), dentro de los trabajos técnicos de preparación del Plan Director de Infraestructuras del MOPT. En este estudio se evaluó los efectos de las actuaciones contempladas en el Plan sobre la accesibilidad territorial, teniendo en cuenta los distintos modos de transporte: carretera, ferrocarril, puertos y aeropuertos.

Definiendo los índices de accesibilidad, según Gutiérrez, J. Monzón, A. y Piñero, J (1994, p. 41-42), estos corresponden a:

**Accesibilidad Absoluta:** “Este grupo de medidas proporcionan una información sobre costes potenciales de transporte asociados a cada nodo en su relación con los demás (o con una parte de ellos), teniendo siempre en cuenta la importancia económica de los nodos. Se trata de calcular el promedio de las impedancias que separan a cada nodo con respecto a los diferentes centros de actividad económica a través de la red (por el camino de mínima impedancia), considerando la renta de éstos como factor de ponderación.

**Accesibilidad Relativa:** “frente a la problemática del índice trazado-velocidad, los tiempos real e ideal de recorrido son sustituidos por unas impedancias expresivas de la resistencia general al desplazamiento entre dos puntos y los cocientes entre ambas impedancias son ponderados según la importancia del centro de actividad económica en destino.”



*Avenida principal del acceso sur de la ciudad, que como elemento lineal define la organización de flujos y el funcionamiento de la red vial.*

Es así como países en vías de desarrollo se caracterizan por poseer redes de infraestructura vial frágiles y desequilibradas. Una característica de ello es que sus zonas céntricas, intermedias y pequeñas son conectadas por vías de tercer orden (arcos tipo III según Ávila M, 1996), de generación espontánea que confluyen en la red principal, en algunos casos sin control ninguno. Para la situación anterior Gutiérrez y Monzón (1993) plantean que cualquier actuación en la infraestructura de transporte debe producir modificaciones en las condiciones de accesibilidad potencializando espacios no desarrollados, agregando a: Nogales, Figueira, Gutiérrez Pérez y Cortés (2002) señalan e incorporan que hoy en día el transporte (público, particular etc.) es fundamental para el funcionamiento socioeconómico de espacios territoriales, mediante el flujo de personas, incorporando que la desaparición de éste supondría la desaparición de la sociedad como se concibe hoy en día. “Accesibilidad y periféricidad están en directa relación con la mayor o menor dotación de infraestructuras de transporte, según el comportamiento del flujo vehicular, no implicando que más infraestructura signifique mayor accesibilidad” (Nogales et al., 2002).

Teóricamente se utilizan estos indicadores para deliberar cual es la tendencia gráfica del movimiento de población frente a

un área de influencia, uniéndolo a la información del transporte. Esta información incluye áreas temáticas que se presentan en el siguiente orden: demanda de transporte (generación y atracción de viajes, distribución de viajes, propósitos de viaje), flujos de tránsito (distribución horaria y periodización), oferta de transporte público y oferta de infraestructura vial (características de la red vial y jerarquización).

### **1.3 Accesibilidad e infraestructura.**

Los elementos que se consideran en el trabajo con los índices de accesibilidad están dados en el análisis espacial; concretamente en el análisis de redes. Según los estudios de Seguí y Martínez el papel de los transportes y las infraestructuras viales desde la década de los sesenta han sido cruciales para el análisis del territorio, principalmente en temas de áreas de influencia o de localizaciones céntricas. Específicamente ellos plantean que: “en las investigaciones de mediados de los setenta, se introducen los estudios de transporte y bienestar que examinan cuestiones de accesibilidad, restricciones de movilidad y necesidades de transporte” (Seguí y Martínez, 2003, p.2). Entonces el análisis espacial, se entiende en un espacio relativo que se produce y define por las amplias relaciones entre los lugares

que tienen como origen la relación entre quien se transporta y genera el tráfico vehicular, con el tipo de accesibilidad que se presenta en el centro de actividad económica. El interés está dirigido por las interacciones horizontales entre el espacio céntrico y como se configura bajo la necesidad de transporte de sus habitantes.

En general el análisis espacial, representado en un SIG, se orienta hacia la creación de modelos de interpretación de datos, por lo cual dicho análisis se enfoca en un nuevo dispositivo para el almacenamiento de éstos, propio y característico de un territorio, específicamente para ser considerados en su ordenación y posterior estudio (Bosque 1992). Es así como se asocian estos espacios individuales localizados y la composición de sus interacciones reiteradas produce una heterogeneidad respecto al exceso de vías de transportes y su desorganización para el recorrido por la red vial céntrica, constituido por nodos y ejes (aristas) jerarquizadas, organizando los flujos de circulación en espacios estructurados. En síntesis cada sociedad organiza su zona según su especialidad y una posible funcionalidad de su territorio.

En la organización de las zonas y su posible funcionalidad respecto al diseño del tránsito existen dos niveles, el superior y el inferior. “En el nivel superior se representa el proceso de decisión que los planificadores deben realizar, a fin de determinar los valores de las variables de diseño relevantes para el problema tratado, con el

objetivo de optimizar el comportamiento del sistema de transporte, medido de acuerdo con un índice de bondad seleccionado. En el nivel inferior se simula el comportamiento de los usuarios del sistema, dada la estructura determinada por las decisiones de diseño tomadas en el nivel superior” (SECTRA, Fundamentos Metodológicos del Diseño del Sistema de Transporte Público, 1999)

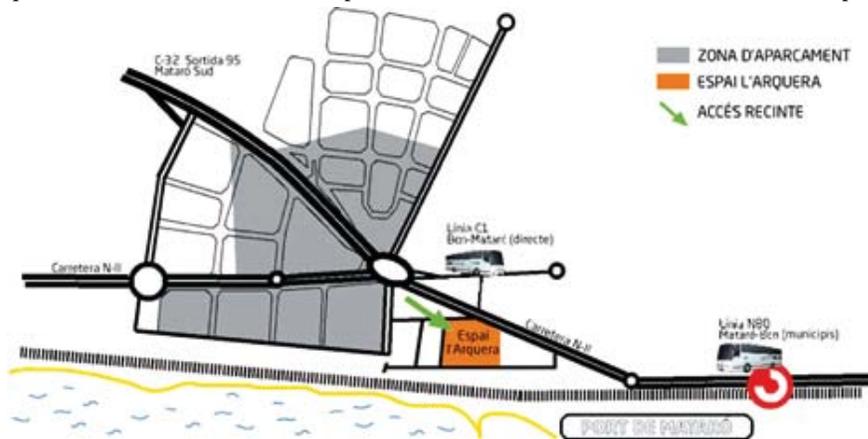
Según los niveles para el diseño del tránsito existen una variedad de experiencias a nivel europeo, destacándose dos. El primero es un estudio hecho en Mataró (Barcelona, España), localidad que comprende aproximadamente unos 117.000 habitantes, aplica para el concepto de movilidad una adaptación a un territorio cada vez más disperso y difuso, que se caracteriza por una fuerte dependencia al vehículo privado a pesar de los esfuerzos realizados para fomentar la movilidad en medios alternativos (transporte público, a pie o en bicicleta), por lo tanto, el parque de vehículos está en un proceso de expansión constante y su presencia en la movilidad cotidiana es cada vez más importante. En este caso se sugiere y se interviene el núcleo céntrico de la ciudad para suprimir el tráfico vehicular colectivo, con lo cual se organiza el territorio activo de la ciudad en torno a vías exclusivas fuera del centro mismo para el tránsito de la locomoción colectiva y la particular se organiza en torno a éstas. Por otro lado, las infraestructuras



*El papel que cumple el transporte público y la infraestructura vial, es crucial para el análisis del territorio, principalmente en áreas de influencia urbanas metropolitana o de localizaciones céntricas.*

de movilidad y la trama urbana consolidada no se pueden adaptar a este fenómeno, lo cual se traduce en una degradación creciente del medio ambiente urbano (congestión, ocupación del espacio público, ruido, emisiones...) (Plan de Movilidad Urbana de Mataró, Barcelona. 2005).

El segundo se hizo en la ciudad danesa de Aalborg, la cual posee toda su actividad económica, administrativa y comercial en su centro urbano y zonas de recreación bordeándolas y las zonas residenciales están acomodadas en torno al círculo central de la ciudad. Por otra parte las zonas industriales se concentran en la parte sur de la ciudad y el campus universitario al sur-oeste. Su población es de aproximadamente 200.000 habitantes, esto es, una alta concentración de flujo vehicular el cual produce una movilidad lenta para una red vial muy pequeña, la que converge en el centro comercial de la ciudad. Esta ciudad en conjunto con su municipio creó un plan de regulación ambiental, que comprende tres objetivos, el primero es ubicar las nuevas áreas residenciales y edificios de trabajo en sitios que sean accesibles en bicicleta o a pie a una distancia relativa de la red vial conectada por



*Plano de la línea de buses de Mataró a Barcelona. Modernización del transporte público a través de vías exclusivas que busca desincentivar el uso del vehículo privado.*



*Aalborg, ciudad danesa que con una alta concentración vehicular en una red vial estrecha, creó un eficiente plan de regulación ambiental que enfatiza la promoción de una mayor movilidad urbana.*

estaciones de microbuses. El segundo es promover un transporte público ordenado, y finalmente el tercero es el orden de las áreas existentes, haciendo más densa su ocupación, para evitar el transporte masivo hacia el centro de la ciudad, en este caso también se intervino el centro urbano, generando una movilidad expedita por él. (Baker, J., Geeson, K. 2002). Es así como en estos casos la planificación territorial se ejecuta en un marco de accesibilidad hacia un centro urbano que concentra todo el comercio y las actividades económicas de la ciudad, lo que no se aleja de la realidad de nuestra ciudad. Para la ciudad de Aalborg se generó una política específica para tratar el problema de la congestión vehicular, su movilidad y su accesibilidad.

Basado en el uso de sistemas de información geográfica en tráfico urbano, existe un estudio para el caso de Bogotá, donde se implementó una propuesta en el sector de Santa Fe, para el análisis de las rutas que comprendían el acceso y la movilidad de los habitantes hacia el área geográfica de Bogotá, la investigación la realizó Navas, M. en la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. En este contexto se analizaron las principales rutas que unen distintos puntos del sector,

asignándole el tiempo real con sus impedancias para introducirlas en el SIG Arc/Info, evaluando la ecuación que se utilizó en esta investigación para el análisis de rutas, que buscó disminuir el tiempo de transporte real que estas rutas presentaban y las impedancias que demoraran el tiempo real de dichas rutas. Con esta modalidad se evaluaron los rumbos, se modelaron bajo el SIG mencionado, obteniendo resultados programados para la aplicación a los viajes. Lo que se consiguió fue ejemplificar la situación real con las impedancias estimadas, logrando crear y determinar rutas alternativas de viaje, y la creación de nuevas. Situación que se pretende imitar para aumentar los índices de accesibilidad que posea el centro de la ciudad.

### Metodología

El análisis de redes viales se presenta en el contexto específico del marco general de la teoría de redes. La exploración específica de la red vial céntrica de la ciudad orientó la caracterización de las principales rutas de acceso hacia el centro desde la periferia de Chillán. Esto más el uso de Sistema de Información Geográfica permitió realizar cálculos de accesibilidad relativa y real, para el centro de la red vial de Chillán, y además se generó cartografía temática, mapas de identificación de escenarios geográficos, mapas de rutas vehiculares, mapas de posibles rutas etc.

La estructura vectorial, que se utilizó en la realización de la propuesta, ofreció una serie de ventajas entre las que se cuentan el análisis de redes y determinación de caminos y distancias mínimas. Mediante este sistema se pueden medir distancias de rutas, ya sea en línea recta o por medio de una red, elementos esenciales para aumentar los índices de accesibilidad.

#### 2.1 Etapas de la investigación

En una primera etapa se recolectaron los datos para calcular los índices de accesibilidad mediante la aplicación de encuestas a transeúntes en el centro de Chillán y conteo de tráfico vehicular en los nodos de acceso o puntos de origen a las tres rutas analizadas. El conteo de tráfico vehicular se realizó para calcular los porcentajes de habitantes transportados desde la periferia de la ciudad.

Como segunda etapa se estableció la zonificación que se utilizó para esta investigación la cual digitalizó a partir de la creación de zonas que se presentó en el estudio realizado por la Comisión de planificación de inversión en infraestructura de transporte en su: "Plan de desarrollo del sistema de transporte urbano de la ciudad de Chillán, 1999". Estas zonas fueron vectorizadas al SIG con el fin de organizar las tablas para el posterior ingreso de datos, y se creó la cartografía digital con fines de presentación e ilustración de los datos y resultados obtenidos. La zonificación permitió definir áreas de estudio para calcular la accesibilidad con una mayor precisión de las zonas establecidas en la periferia de la ciudad de Chillán.

La tercera etapa tuvo como fin la digitalización de la red vial céntrica de la ciudad de Chillán. Para esto se utilizó el SIG Arcview el cual modela y estructura los datos ingresados permitiendo caracterizar y simular la red céntrica de Chillán frente a posibles modificaciones y de este modo potenciar el orden de la red vial de su centro.

## 2.2. Niveles de Accesibilidad

Se definió usar los indicadores de accesibilidad absoluta y relativa presentes en Gutiérrez (1993) "La accesibilidad a los centros de actividad económica antes y después del Plan Director de Infraestructuras". En este caso se evalúan la accesibilidades para 1992 y 2007, después de implementarse el Plan Director de Infraestructuras.

### 2.2.1. Indicador de Accesibilidad Absoluta:

Este indicador calcula el promedio de las impedancias que separan a cada nodo con respecto a los diferentes circuitos que se generaran a partir de los datos obtenidos de las fuentes de información a través de la red (por el camino de mínima impedancia) considerando la renta como factor de ponderación según:

$$IAA_i = \frac{\sum_{j=1}^n (IR_{ij} \cdot RCAE_j)}{\sum_{j=1}^n RCAE_j}$$

*Fuente:* La accesibilidad a los centros de actividad económica en España. Revista de obras publicas. No 3.331. Año 14 1. Abril 1994.

Donde **IAA<sub>i</sub>** es la accesibilidad absoluta del nodo **i**, **IR<sub>ij</sub>** la impedancia real a través de la red entre los nodos **i** y **j** y **RCAE<sub>j</sub>** la renta expresada en porcentaje del centro de actividad económica en destino, para esta investigación es el porcentaje de población que se transporta al centro de la red vial de Chillán. Como impedancia se establece la longitud y el tiempo de recorrido de las rutas utilizadas para el acceso al centro de la ciudad. Estos datos se introdujeron a la base de datos creada bajo el software Excel 2003 y se calcularon los índices de accesibilidad absoluta de la periferia hacia el centro de la ciudad.

### 2.2.2. Indicador e Accesibilidad Relativa:

Presenta como característica mostrar la estructura geométrica de la red y el tipo de infraestructura en la accesibilidad a los principales circuitos de la red céntrica de Chillán. La fórmula es:

$$IAR_i = \sum_{j=1}^n \left( \frac{IR_{ij}}{II_{ij}} \cdot RCAE_j \right)$$

*Fuente:* La accesibilidad a los centros de actividad económica en España. Revista de obras publicas. No 3.331. Año 14 1. Abril 1994

Donde **IR** y **RCAE** son conocidos y **II** es la impedancia ideal. La impedancia ideal entre el nodo de origen y la ruta ideal que el que se obtendría en línea recta por una infraestructura de gran calidad, estableciendo las distancias y una velocidad máxima. De igual modo se introducen en la hoja de cálculo y se obtienen los indicadores para cada nodo de la red céntrica analizada.

Para establecer los reales niveles de accesibilidad y observar cómo se comportan sus índices relativos se definirán indicadores a analizar para cada escenario estipulado. Como indicadores se debe incorporar: porcentaje de población transportada, tiempo de recorrido y distancia de recorrido.

### 2.2.3. Porcentaje de Renta y Impedancias Consideradas

#### a) Porcentaje de población transportada:

Para calcular los indicadores, en este caso el porcentaje de la renta de población, se estructuró a partir de los datos obtenidos del



Vistas de sectores urbanos inmediatos al casco central de Chillán, privilegiados por una red de mayor accesibilidad.

análisis del trabajo realizado por la Comisión de planificación de inversión en infraestructura de transporte, en su estudio “Plan de desarrollo del sistema de transporte urbano de la ciudad de Chillán del año 1999”, donde se obtuvo el porcentaje de la población total del año 1996 dividida en las macro zonas de la ciudad de Chillán. Se concluye que es necesario para esta investigación trabajar con la población urbana de la ciudad, pues en el trabajo antes mencionado se incluyó el total de la población. El modo que se utilizó para realizar los cálculos necesarios para obtener la población urbana de Chillán del año 2007 fue el análisis de los datos conseguidos del último censo nacional realizado en el año 2002, correspondiente a la población netamente urbana.

Con la tabulación de los datos de la población urbana de Chillán correspondiente a 148.015 habitantes, se aplicó el cálculo de la tasa de crecimiento anual de la población. Se extrajo dicho indicador de la lectura de Azócar, G.; Sanhueza, R. y Henríquez, C. (2003) donde exponen que la tasa de crecimiento anual de la población de Chillán es de 2%.

#### b) Distancia real y relativa:

Para realizar el cálculo de la distancia real vial, se utilizó, mediante la implementación de la modelación bajo el SIG MapInfo la capa de red vial de Chillán, en el que se ingresó la escala para obtener con la herramienta de medición de distancia, los datos correspondientes a la longitud desde dos puntos de medición que circulan desde la

periferia hasta su respectivo Punto de Acceso a la Periferia (PAP), para dirigirse al centro de Chillán.

Para realizar el cálculo de la distancia relativa, se continuó el mismo proceso anterior, pero en este caso no se midió el recorrido por los arcos que generan el circuito de las rutas antes expuestas, midiéndose la distancia directa desde el punto de origen de la ruta hasta el centro de la ciudad.

#### 2.3 Análisis de Rutas

Identificadas las principales rutas se calculó su tiempo de recorrido total, aplicando las distancias mínimas obtenidas de la simulación en SIG, considerando nuevas impedancias. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$T_{tr} = \sum(L/Vo * Faa) + p * tp + gi * tgi + gd * tgd + gu * tgu$$

Donde  $T_{tr}$  es el tiempo total de viaje a lo largo de la ruta;  $L$  es la longitud de cada arco contenido en la ruta;  $V_o$  es la velocidad de flujo sin obstáculos, dependiente del tipo de vehículo que realiza la ruta;  $Faa$  es el valor de acuerdo al tipo de arco (varía con la hora del día);  $tp$  es la impedancia de cada paradero;  $tgi$  es la impedancia de giros a la izquierda;  $tgd$  es la impedancia de giros a la derecha; y  $tgu$  es la impedancia de giros en  $U$  (Ávila, 1996).<sup>7</sup>

Con los resultados que se obtuvieron se realizaron mapas temáticos de análisis de rutas y de accesibilidad real y relativa. Se

graficaron los indicadores mostrando la evolución de los índices de accesibilidad reales y los entregados luego de re calcular los índices con los nuevos indicadores arrojados con la propuesta realizada.

## Resultados

Los resultados que se obtuvieron corresponden a los niveles actuales de accesibilidad que presenta la ciudad de Chillán desde su periferia al centro de ésta en el año 2007. Para mejorar estos índices se creó una propuesta basada en el análisis de las principales rutas dentro de las cuatro avenidas de la ciudad disminuyendo su distancia según los resultados arrojados por la simulación de rutas hecha en SIG. Finalmente los resultados que arroja la propuesta evidencian su efectividad para aumentar los niveles de accesibilidad hacia el centro de Chillán desde su periferia.

### 3.1 Niveles de Accesibilidad Actuales:

Se elaboró a partir de las matrices obtenidas la tabla número uno que muestra cada macro zona de la ciudad con su respectivo índice de accesibilidad absoluto y relativo.

ÍNDICE DE ACCESIBILIDAD DEL NODO 5 ABRIL DESDE LA PERIFERIA DE CHILLÁN: IMPEDANCIA DISTANCIA.		
Macro Zona	Accesibilidad Absoluta	Accesibilidad Relativa
Centro	n/m	n/m
Cuatro Avenidas	n/m	n/m
Estadio	1,32	1,75
Chillán Viejo	2,58	1,94
Cementerio	2,20	1,82
Chillán Oriente	6,21	6,18
Chillán Norte	0,94	0,77
Universidad	1,13	0,81

Tabla 1 - Fuente elaboración propia

Los índices mostrados en la tabla numero uno corresponden a los niveles actuales de accesibilidad hacia el centro de la ciudad desde la periferia de ésta.

### 3.2 Análisis de Rutas

Para mejorar estos índices de accesibilidad se procedió a analizar las principales rutas de la ciudad de Chillán identificándose valores relativos en las distancias que presentaron las tres rutas de locomoción colectiva analizadas los cuales se resumen en la tabla número dos:

Distancias relativas (km)	CENTRO		TOTAL
Ruta 1	1,05	1,75	
Ruta 2	0,71	1,75	
Ruta 3	1,06	2,4	

Se introdujeron los indicadores de distancia relativos que muestra la tabla número dos para las tres rutas trabajadas simulando una ruta desde los puntos que se le asignaron al SIG, buscando que el software ideara *rutas de mínima distancia* entre un punto y otro, ingresando la dirección que tiene el flujo vehicular según la dirección que tienen las calles, Norte-Sur, Sur-Norte, Oeste-Este y Este-Oeste. Los resultados se presentan en la imagen numero uno.

Con la disminución de la distancia se logro disminuir el tiempo de recorrido total de las tres rutas incluyendo las impedancias de las rutas correspondientes a los semáforos y el tiempo empleado en paraderos de locomoción colectiva. Frente a este tema se ingresaron al SIG valores reales; el tiempo de semáforo de 20 seg y el promedio del tiempo de parada con el número total de paraderos existentes en las rutas analizadas.

Las rutas entregadas por el SIG demuestran cómo es disminuido el tiempo de viraje, y se propone según el estudio realizado en el sector de Santa Fe de la ciudad colombiana de Bogotá, paraderos cada 2 cuadras. Para las rutas 1, 2 y 3 se proponen 4 con una impedancia de 0,4 min, en su recorrido hacia el centro, pues para la totalidad de la ruta, se aplicaría la situación paralela de las rutas 1 y 2, y para la 3 se une con la ruta 1. Los semáforos considerados para cada ruta son de un número de 3 hasta acceder al centro de Chillán, con un promedio de tiempo entre cada color de 0,5 minutos. Con la suma de los datos y la aplicación de la fórmula de tiempo real de la ruta, los resultados son los siguientes con la disminución de la distancia simulada que se hizo anteriormente:

Estimación de Parámetros Parámetros Chillán	Valor Ruta 1	Valor Ruta 2	Valor Ruta 3
Factor de Ajuste de la vías 3	3,72	3,72	3,72
Giro a la derecha (min)	0	0	0,52
Giro a la Izquierda (min)	0	0	0,29
Paradero (min)	0,4	0,4	0,4
Semáforos (min)	1,5	1,5	1,5
Vo (mm/min)	114,4	126,22	164,7
Lo (metros)	980	704	880
<b>Ttr Total (min)</b>	<b>5,40</b>	<b>4,60</b>	<b>5,35</b>

Tabla 3 - Fuente elaboración propia

Con la tabla numero 3 se comprueba como la disminución de la distancia, considerando las impedancias de detención por paradas de locomoción más los semáforos de la ruta en dirección al centro, se disminuyó considerablemente el tiempo total de recorrido. También los tiempos responden a un denominador común que se presenta naturalmente entre los 5 minutos promedio de traslado hacia el centro de la ciudad desde los puntos de acceso desde la periferia ubicados en las 4 avenidas.

### 3.3 Nuevos Índices de Accesibilidad:

Con el análisis de las rutas que arrojó el SIG frente a la disminución de la distancia de las rutas, más la comprobación de la dinámica que se dio al disminuir el valor mencionado, se aplicó la disminución de la distancia en los valores que representaron los mapas temáticos que se mostraron para re calcular el índice de accesibilidad real y

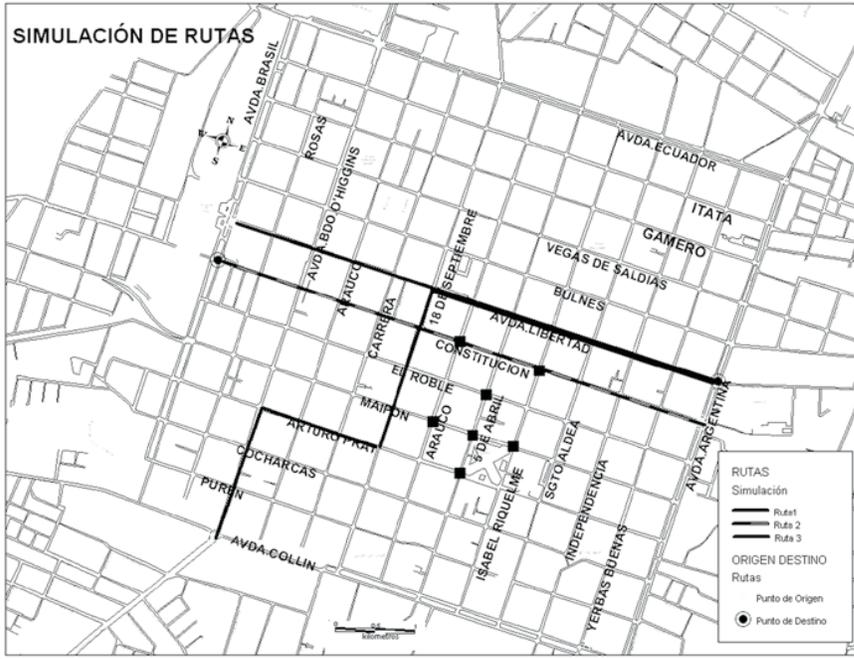


Imagen 1: Fte. elaboración propia, simulación de Rutas SIG ArcView, diseño temático SIG MapInfo.



Paseo de calle Arauco, donde se intervino el núcleo céntrico de la ciudad, con el fin de suprimir el tráfico vehicular colectivo, fomentando la movilidad peatonal y de medios alternativos.



Acceso al campus universitario de la Castilla-UBB, en el sector surponiente de la ciudad, cuyo desarrollo periférico requiere de nuevas propuestas en las rutas de transporte público en Chillán.

relativa, con las correcciones mencionadas. Los índices obtenidos son los siguientes:

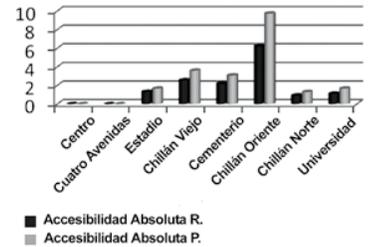


Gráfico Accesibilidad real (R), v/s Accesibilidad mejorada (P) con la propuesta. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se demuestra que los índices de accesibilidad reales fueron superados por los nuevos índices que se obtuvieron con la aplicación del SIG en la estructuración nuevas de rutas que presentan una distancia mínima entre sus nodos de origen, situación similar a la accesibilidad Relativa:

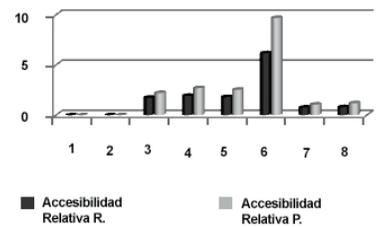


Gráfico Accesibilidad real (R), v/s Accesibilidad mejorada (P) con la propuesta. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Los gráficos muestran la efectividad de la propuesta en relación con el aumento de los índices de accesibilidad reales y relativos con la disminución de la distancia de

las tres principales rutas de locomoción colectiva que ingresan desde la periferia hacia el centro de la ciudad. La situación se sintetiza en la siguiente cartografía temática:

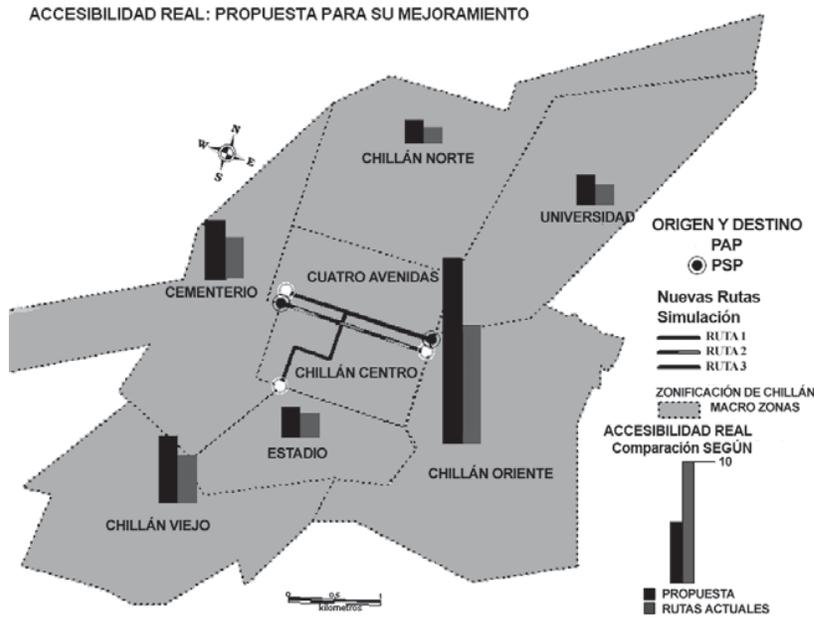


Imagen 2: Fuente elaboración propia, SIG Mapinfo

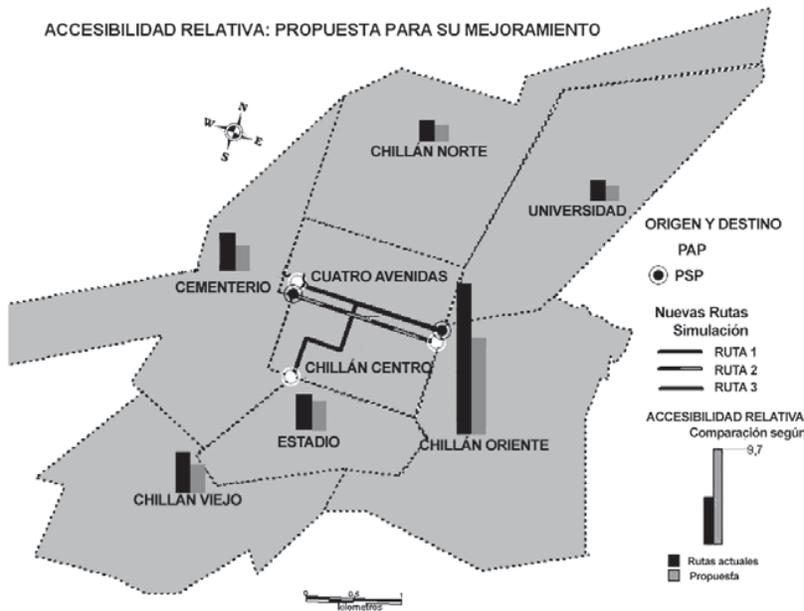


Imagen 3: Fuente elaboración propia, SIG Mapinfo

Las imágenes anteriores ilustran como los índices de accesibilidad real y relativa aumentaron en comparación a los mismos rangos que se crearon anteriormente. Es así como se hace efectivo el planteamiento de Gutiérrez y Monzón (1993); actuando sobre la infraestructura de transporte se produjo modificaciones en las condiciones de accesibilidad potencializando espacios no desarrollados, idea que se utiliza como fundamento teórico para proponer un cambio en las rutas de locomoción colectiva, pues al mejorar la accesibilidad

como se comprobó, se potenciarían las zonas que no poseen un desarrollo considerable como el centro de la ciudad o sus cuatro avenidas.

La situación planteada se cuantifica en el mejoramiento porcentual del índice de accesibilidad real en las zonas de Chillán Norte y Universidad, con una variación porcentual aproximada de 0,5% de la actual, situación similar con los índices de accesibilidad relativos. La variación de los índices de accesibilidad se observan concretamente, para todas las zonas con el gráfico de accesibilidad real y relativa mostrados, lo que generaría un potencial desarrollo de espacios territoriales.

Modificando las rutas de transporte de la locomoción colectiva Nogales, Figueroa, Gutiérrez Pérez y Cortés (2002) señalan e incorporan que hoy en día el transporte (público, particular etc.) es fundamental para el funcionamiento socioeconómico de espacios territoriales, más aun en una ciudad intermedia, mediante el flujo de personas. Esto se evidencia claramente con el flujo transportado desde las zonas más accesibles hacia el centro de la ciudad, Chillán oriente posee el porcentaje más alto, con un 3, 82% de la población total transportada de la ciudad y su índice de accesibilidad es el más alto, y más con la propuesta que se plantea su nivel se incrementa sobre un 3%.

Con la propuesta que se plantea, esta idea es clave. Se propone un ordenamiento y una reestructuración de las rutas que utiliza el transporte colectivo, que a su vez organizará notablemente en torno a la nueva propuesta que se plantea. Para la ciudad de Aalborg en Dinamarca, se hizo lo que esta propuesta expone "promover un transporte público ordenado, y finalmente el tercero es el orden de las áreas existentes, haciendo más densa su ocupación para evitar el transporte masivo hacia el centro de la ciudad, en este caso también se intervino el centro urbano, generando una movilidad expedita por él". Expuesto por Baker, J., Geeson, K. (2002).

Las imágenes número tres y cuatro que ilustran las comparaciones de la accesibilidad que posee el centro de Chillán desde sus áreas periféricas, demuestran que estos índices se ven mejorados por la simulación de rutas propuestas, lo cual hace

que la distribución dentro de la red vial de Chillán no atraviesen el centro de la ciudad, con lo cual se mejoraría de forma considerable el tránsito vehicular. Con esto se haría efectivo un ordenamiento del transporte público, según las zonas definidas y las rutas de acceso utilizadas por ésta.

## Conclusiones

La idea de Ruiz (1995) se comprueba tácitamente y se concluye que las zonas son accesibles cuando tienen acceso, con mayor precisión y fácil acceso. Con la disminución de la distancia propuesta se mejoraron los índices de accesibilidad de la periferia en un índice promedio de 2,45, en consecuencia el acceso al centro de la ciudad según la propuesta planteada sería preciso y con mayor facilidad. También se hace efectivo el planteamiento de Gutiérrez y Monzón (1993), pues al actuar sobre la infraestructura de transporte produce modificaciones en las condiciones de accesibilidad potencializando espacios no desarrollados, haciéndose evidente dicha situación con la modificación de las rutas de locomoción colectiva que atraviesan las cuatro avenidas de la ciudad de Chillán, disminuyendo su distancia y su configuración geométrica a una lineal, disminuye el tiempo

de recorrido total hacia el centro de Chillán en un promedio de 5 minutos y a la vez las condiciones de accesibilidad se presentan con una elevación de su índice de accesibilidad de un 2,45.

Lo señalado anteriormente afirma la idea del estudio de la accesibilidad relativa, donde las rutas directas hacia el centro se hacen lineales lo que produce que los índices de accesibilidad propuestos se acerquen en un promedio porcentual de un 1,5% en cada índice por zona con el índice de accesibilidad relativo que se calculó en una primera instancia, *mejorando notablemente la accesibilidad al centro de Chillán*.

La propuesta evidencia que a mayor accesibilidad se potenciarían las zonas no desarrolladas, en este caso, según sus índices de accesibilidad de 1,8 y 1,5 correspondientes a las zonas de Chillán Norte y Universidad en el año 2007.

Se concluye que el planteamiento teórico de Nogales (2002) que señala que la accesibilidad y periféricidad están en directa relación con la mayor o menor dotación de infraestructuras de transporte, pero ésta no implica que más infraestructura signifique mayor accesibilidad, debido a que la propuesta estructuró un cambio en la red vial céntrica de Chillán específicamente sus tres principales rutas, logrando mejorar los índices de accesibilidad reales y relativos desde la periferia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, M. (1996) "Aplicación de los Sistemas de información geográfica al tráfico urbano en un sector de Santa Fe de Bogotá". Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. Recuperado el 25 de Octubre de 2007 de <http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc95/uniande2.pdf>
- Ázocar, G., Sanhueza, R., Henríquez C. (2003) "Cambio en los patrones de crecimiento en una ciudad intermedia: el caso de Chillán en Chile Central" Revista *eure* (Vol. XXIX, N° 87), pp. 79-92, Santiago de Chile, septiembre. Recuperado el 26 de Junio de 2007 de <http://www.scielo.cl/pdf/eure/v29n87/art06.pdf>
- Baker, J., Geeson, K. (March 22 of 2002) "Transport Planning Land use and sustainability" Planning and implementation N° 107. Recuperado el 26 de Marzo de 2007 de <http://www.isis-it.com/transplus/doc/city.asp?nux=22>
- Bosque, Joaquín, (1992) "Sistemas de Información geográfica" Ediciones Rialp, S.A Madrid.
- Haggett, P.; (1976) "Análisis locacional en la geografía humana" Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España.
- Loyola, (2005) C.; "Infraestructura Vial y Niveles de Accesibilidad entre los Centros Poblados y los Centros de Actividad Económica en la Provincia de Ñuble, VIII. Región. Revista Tiempo y Espacio, publicación anual – N° 15, Universidad del Bío Bío. Chillán, Chile.
- Gámir, A., Ruiz, M. y Seguí, P. (1995) "Prácticas del análisis espacial" Oikos tau, Barcelona. España.
- Gutiérrez, J. Monzón, A. y Piñero, J.: (1994) La accesibilidad a los centros de actividad económica en España. Revista de obras publicas. No 3.331. Año 14 1. Abril
- Gutiérrez Puebla, J. y Monzón, A.; (1993) *La Accesibilidad a los centros de actividad económica antes y después del Plan*. Estudios territoriales.
- Nogales, J., Figueira, J., Gutiérrez, J., Pérez, P. y Cortés, T. (2002) *Determinación de la accesibilidad a los centros de actividad económica de Extremadura mediante técnicas SIG*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander (España). Recuperado el 02 de octubre de 2006 de la base de datos INGEGRAF.
- Plan de Movilidad Urbana de Mataró, (2005) Barcelona, España. Recuperado el 26 de marzo de 2007 de: [http://experiencias.psoe.es/index.php?inc=muestra\\_experiencia&id\\_experiencia=129](http://experiencias.psoe.es/index.php?inc=muestra_experiencia&id_experiencia=129)
- Ramírez, M. (2003). *Cálculo de medidas de accesibilidad geográfica temporal y económica generadas mediante sistemas de información geográfica*. Primer Congreso de la ciencia cartográfica y VIII semana de cartografía, Buenos Aires (Argentina). Recuperado el 27 de septiembre de 2006, de <http://www.elagrimensor.com.ar/elearning/lecturas/localiz.pdf>
- Ruiz Requena, A.; (1995) *Sistemas de transporte*. Granada. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Sectra, (2005) Fundamentos Metodológicos del Diseño del Sistema de Transporte Público. Recuperado el 19 de Marzo de 2007 de <http://www.sectra.cl/contenido/home/home.htm>
- Seguí, J. & Martínez, M. (15 de abril de 2003). Pluralidad de métodos y renovación conceptual en la geografía de los transportes del siglo XXI. *Scripta Nova*, vol. VII, 139. Recuperado el 02 de octubre de 2006, de <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-139.htm>