

# Configuración espacial de la ciudad de Cartago y su relación con volúmenes vehiculares

*Spatial configuration of Cartago city and its relationship with traffic volumes*

**Marcos Alberto Martínez Martínez**

Ingeniero Civil, Costa Rica

[m.martimarcr@gmail.com](mailto:m.martimarcr@gmail.com)

**Jonathan Agüero Valverde**

Investigador

Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). Universidad de Costa Rica

[jonathan.aguero@ucr.ac.cr](mailto:jonathan.aguero@ucr.ac.cr)

**Fecha de recepción:** 29 de agosto de 2017 / **Fecha de aprobación:** 08 de noviembre de 2017

## RESUMEN

La sintaxis espacial estudia la configuración de elementos espaciales y las relaciones entre ellos. Para una ciudad, estos elementos son las calles que forman su red de caminos. La sintaxis espacial busca establecer relaciones entre esta composición espacial y características urbanas como el movimiento de personas y vehículos, el valor de la tierra, y la ubicación del comercio. Este estudio busca determinar la correlación entre esta configuración y el volumen vehicular que pasa por la red en la ciudad de Cartago, Costa Rica. Para obtener esta correlación, se elaboró un análisis de segmento unitario, estableciendo la prioridad de las vías en cada intersección y recopilando información al recorrer la ciudad. Posteriormente se consideran varios modelos estadísticos para encontrar el mejor ajuste de los datos. La correlación más alta se consigue al utilizar un modelo exponencial multivariado. Incluir una variable categórica para las calles con orientación Norte-Sur y flujo en una sola dirección mejora considerablemente el coeficiente de determinación; tomar en cuenta sólo una variable lleva a una sobrestimación del volumen del tráfico para estos casos. Se concluye que la sintaxis espacial es un método rápido y económico que puede brindar una guía para ejecutar estudios más detallados sobre la red actual y etapas tempranas de futuros proyectos.

**PALABRAS CLAVES:** sintaxis espacial, segmento unitario, integración, profundidad.

## ABSTRACT

*Spatial syntax studies the configuration of spatial elements and the relationships between them. For a city, these elements are the streets that form its road network. Spatial syntax seeks to establish relationships between this spatial composition and urban characteristics such as the movement of people and vehicles, the land value, and the location commercial activities. This study seeks to determine the correlation between this configuration and the vehicular volume of the road network in the city of Cartago, Costa Rica. To obtain this correlation, a unit segment analysis was performed, establishing the priority of the roads at each intersection and gathering field information of the network. Subsequently, several statistical models were considered to find the best fit of the data. The highest correlation is achieved using an exponential multivariate model. Including a categorical variable for North-South streets with unidirectional flow considerably improves the fit of the model. On the other hand, considering only one variable leads to an overestimation of traffic volume for these cases. It is concluded that spatial syntax analysis is a fast and economical method that can provide a guide to execute more detailed studies on the current network and early stages of future projects.*

**KEY WORDS:** spatial syntax, unit space, integration, depth.

## INTRODUCCIÓN

La sintaxis espacial es un campo que estudia la configuración de elementos espaciales y sus relaciones topológicas. En el caso de las ciudades dichos elementos corresponden a las calles que forman la red de caminos. La sintaxis espacial trata de buscar relaciones entre esta composición espacial y características urbanas como el movimiento de personas y vehículos, el valor de la tierra y la ubicación del comercio, entre otros. Es un área de estudio que “ha emergido como un programa internacional usado para la investigación y práctica en más de 50 países alrededor del mundo” (Major, 2015).

Este método estudia la red utilizando principios topológicos y describiendo conexiones de unidades espaciales mediante análisis de profundidad usando teoría de gráficos. Se busca establecer el valor de la integración para las calles de la red, esta es una característica indicativa de qué tan accesible es un elemento desde cualquier otro punto de la red. La sintaxis espacial propone que “la configuración de la red urbana de calles es en sí misma un importante determinante de los flujos de movimiento” (Hillier, 2005) y esto ha llevado a que se investigue su relación con el tránsito de peatones y vehículos.

Los modelos de sintaxis espacial son un “enfoque flexible para representar una red compleja de transporte a escala urbana, eficiente en recursos y tiempo” (Patterson, 2016). Los datos que se requieren para modelar son aquellos relacionados con la configuración de calles (Barros et al., 2007) y los resultados del análisis de sintaxis se correlacionan con otras variables tales como flujos vehiculares o peatonales.

Usando sintaxis espacial se ha estudiado la colocación de paradas de transporte público como en el trabajo realizado por Carpio-Pinedo (2014) para buses en Madrid y el de Kishimoto et al. (2007) para sistemas de tren ligero en Maebashi. Además, se ha buscado como se relaciona con otras características del movimiento, Rafoord (2007) establece un Índice de Riesgo Peatonal en la ciudad de Oakland, mientras que Anderson (2005) examina las variaciones espaciales para colisiones en carreteras de Londres.

Igualmente se ha investigado el cambio y crecimiento de las ciudades, como se puede encontrar en los artículos de Batty, Besussi y Chin (2003) que analizan la expansión urbana, y el de Kim y Batty (2011) donde intentan desarrollar un modelo de crecimiento urbano. Además, se han analizado los efectos de construir vías de circunvalación ya que tienen “profundo impacto en la estructura de una ciudad” (Van Nes, 2001).

Jayasinghe et al. (2015), sugieren que la influencia de la geometría de la red en el tránsito puede enriquecer su análisis y servir de guía

para justificar decisiones de planificación y de formulación de estrategias para enfrentar el problema del transporte. Mainieri y Rigatti (2007), consideran la posibilidad de construir anillos de circunvalación aplicando sintaxis espacial y establecen que es necesario que estas rutas alternativas compitan en términos de linealidad, conectividad e integración con la ruta principal de la zona.

Estudios previos sugieren que, en conjunto con otras aplicaciones, la sintaxis espacial puede capturar las tendencias en viajes vehiculares simplemente analizando la accesibilidad espacial presente en la morfología urbana (Penn et al. 1998; Karimi and Mohamed 2003; Dawson, 2003).

El propósito de este estudio es evaluar la configuración espacial de la ciudad de Cartago y su relación con los volúmenes vehiculares presentes en la red. El resto de este artículo está dividido de la siguiente manera: primero se introduce la metodología luego se presentan los datos utilizados y finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones.

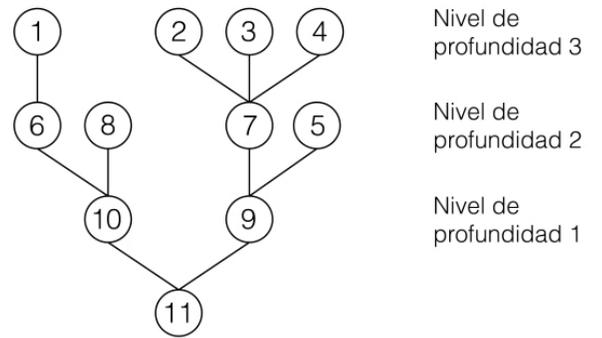
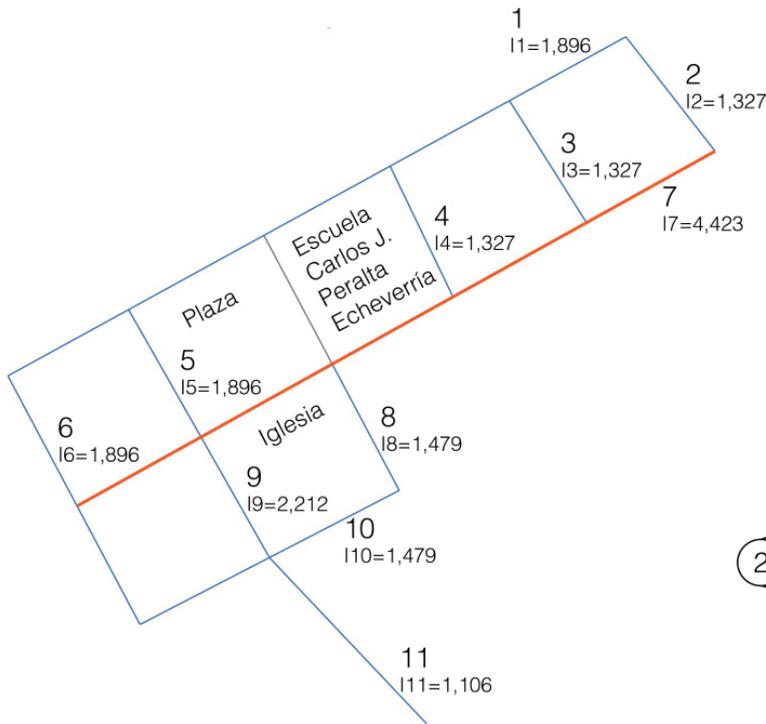
## METODOLOGÍA

La siguiente descripción está basada en los conceptos presentados en “The social logic of space” (Hillier y Hansen, 1984) donde se encuentran las bases teóricas y los conceptos de topología de redes necesarios para estudiar la configuración de ciudades o edificios mediante sintaxis espacial. La descripción metodológica también se apoya en el trabajo titulado “An integrated approach to modeling vehicular movement networks: trip assignment and space syntax” (Paul, 2009) y en el artículo “Axial Analysis: A syntactic approach to movement network modeling” (Paul, 2011).

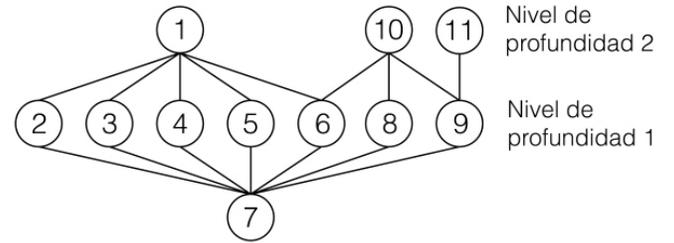
### Conceptos Importantes

La profundidad o nivel de profundidad se refiere a la distancia topológica entre componentes de la red. En la Figura 1 se muestra una simplificación de la red para Guadalupe de Cartago y los niveles de profundidad para los elementos 11 y 7. Los niveles de profundidad o relación se definen por el contacto directo de los segmentos en la red topológica. Así por ejemplo, se observa que el segmento 7 (marcado en rojo) se conecta con 7 segmentos en el primer nivel de profundidad y 3 segmentos en el segundo nivel. Por otro lado, el segmento 11 se conecta con los segmentos 9 y 10 en el primer nivel, 5, 6, 7 y 8 en el segundo nivel y 1, 2, 3, y 4 en el tercer nivel de profundidad. El segmento 11 necesita un nivel más para alcanzar cada parte de la red.

La profundidad promedio para un elemento se calcula de forma ponderada:



(a)



(b)

Figura 1. Guadalupe de Cartago – Integración y Profundidad.

$$\bar{D} = \frac{\sum d \cdot n}{k - 1} \quad (1)$$

$$RA = \frac{2(\bar{D} - 1)}{k - 2} \quad (2)$$

donde

$\bar{D}$  = profundidad promedio

$d$  = profundidad

$n$  = número de unidades de espacio en una profundidad específica

$k$  = total de unidades de espacio en el sistema ( $\sum n$ )

La conectividad, por otra parte, se define como la cantidad de elementos que se pueden relacionar desde un punto en el primer nivel de profundidad. En la Figura 1, el segmento 7 tiene una conectividad de 7 mientras el segmento 11 tiene una conectividad de 2.

La medida de profundidad es relativa a la localización de cada unidad en el sistema y depende del tamaño del sistema por lo que no puede ser comparada a menos que se use una escala común. La escala de simetricidad determina la medida relativa de una profundidad promedio y se define dentro del intervalo que encierra el valor más alto y bajo de profundidad promedio en el sistema. Esta medida relativa se conoce como "Asimetría Relativa" y se calcula de la siguiente forma:

El tamaño del sistema influye los valores de accesibilidad de las unidades de espacio. Las asimetrías relativas de dos sistemas distintos no se pueden comparar en la misma escala a menos que se normalicen, esto se logra mediante la Asimetría Relativa Real (RRA). Para calcular RRA primero debe estimarse un factor que distingue los sistemas basado en su tamaño que comúnmente se conoce como  $D_k$ :

$$D_k = \frac{2 \{k[\log_2(\frac{k+2}{3}) - 1] + 1\}}{(k-1)(k-2)} \quad (3)$$

Y tenemos también que la Asimetría Relativa Real es:

$$RRA = \frac{RA}{D_k} \quad (4)$$

Definimos integración entonces como el inverso de Asimetría Relativa Real:

$$I = \frac{1}{RRA} \quad (5)$$

Para la Figura 1 se observa que el elemento más integrado es 7, mientras que 11 tiene la menor integración. Un elemento es una unidad de espacio, y para el caso de las ciudades, estas unidades son las calles.

El análisis de integración se puede realizar de forma global o local, esto significa que se puede establecer un límite superior al nivel de profundidad de análisis para los elementos y de esta forma hacer más regional el estudio pero son las “características de configuración globales, más que las locales, las que son importantes en el funcionamiento urbano” (Pereira, et al., 2012).

### **Tiempo de viaje**

Para poder utilizar la sintaxis espacial como herramienta de asignación de viajes es necesario considerar el tiempo de viaje. Al estudiar configuraciones de ciudad dónde existen distintas opciones de ruta podemos asegurar que la mayoría de los usuarios van a decidirse por el camino que requiera menos tiempo. Para esto se define un segmento unitario que consiste en “una sección de camino entre dos puntos de decisión” (Paul, 2009). Un punto de decisión es una intersección donde los usuarios de la red tienen la posibilidad de escoger un cambio en la trayectoria en su recorrido.

En un sistema de carreteras en árbol, el segmento unitario es simplemente la distancia más corta entre dos puntos de decisión, porque el sistema sólo le da al usuario un camino posible, sin necesidad de elegir. En cambio, un sistema en red permite al usuario escoger su ruta y en este caso la velocidad de una sección de calle se vuelve la principal consideración para decidir por dónde ir. Entonces existe una “jerarquía de caminos que ayuda a los viajeros a entender cuáles segmentos de ruta tienen características de movilidad mayores que otros” (Paul, 2009). Es mediante esta clasificación que se da la forma en que el usuario entiende y relaciona esta velocidad de desplazamiento en el sistema.

Es necesario definir cómo se identifican los puntos de decisión cuando existen caminos con distintos tiempos de viaje en el sistema. Cuando se conectan dos elementos de distinta jerarquía, la intersección forma parte del que tiene un menor tiempo de viaje. De acuerdo a lo anterior, se define un segmento unitario para una red de caminos como “la sección de camino entre dos intersecciones que están formadas por calles de igual o mayor velocidad libre” (Paul, 2009).

### **Jerarquización de vías y definición de segmentos unitarios**

Para establecer la jerarquía de los caminos de la red se realizaron recorridos y se precisó cuál es la vía con prioridad de paso en cada intersección. Posterior a la recolección y procesamiento de datos, se procedió a definir los segmentos unitarios para el análisis.

Con la información clasificada dentro del software DepthMapX es posible ahora determinar cuál es la calle con prioridad en cada intersección. Se selecciona cada una de las intersecciones donde un elemento tiene más jerarquía y se muestra gráficamente

donde comienza y finaliza cada segmento unitario. Este proceso se repite para cada una de las vías principales, para así poder establecer cada uno de los segmentos unitarios de la red entre puntos de decisión.

Cuando hay elementos importantes cuya geometría no permite que se dibujen en una línea recta, es necesario utilizar una sección representativa y conectar todas las calles que la intersequen como se indica en la Figura 2. Esto posibilita modelar el segmento unitario curvo como un único elemento, respetando la definición, en lugar de dividirlo en varias líneas rectas. Es importante especificar, que cada una de las otras líneas que formarían el segmento unitario curvo al aproximarlos con rectas se incluyen en el modelo para la representación gráfica, pero deben quedar desligadas del resto de la red, para evitar crear islas que distorsionen los resultados del cálculo de integración y los mapas de calor.

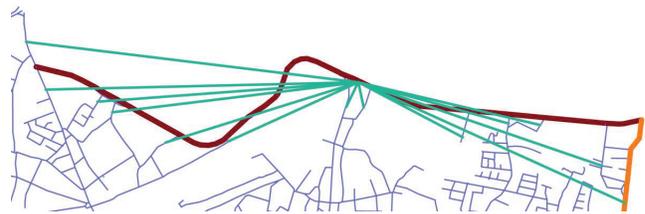


Figura 2. Conectividad para el Modelo en la ruta 219.

### **Modelación de la red**

Cuando se han establecido los segmentos unitarios, es posible modelar la red. En el caso de los elementos rectos, simplemente se dibujan de acuerdo al inicio y fin de los segmentos unitarios, pero de acuerdo a la jerarquización de vías que se establece anteriormente, existen algunos que deberían ser curvos dada la definición que se utiliza en el modelo y se representan de la forma mencionada anteriormente.

Después de definir los segmentos unitarios y de determinar el modelo, se procede a analizar las características de conectividad mediante el programa DepthMapX. Se utiliza también este software para hacer el análisis de integración de la red.

### **Análisis de segmento unitario**

Una vez que el modelo topológico de la red es completado se puede correr el algoritmo mediante DepthMapX y de esta forma se obtienen los datos y la representación visual del análisis de segmento unitario a través de los principios de sintaxis espacial. Es importante revisar que cada unión de elementos importantes en la red haya sido reconocida correctamente por el programa

y si este no fuera el caso se debe corregir para completar el algoritmo nuevamente. Con esto se obtienen los valores de integración para la red.

## DATOS

Para definir los límites del área de estudio de la ciudad, se buscó establecer la zona de interés, que en este caso es el área central de la ciudad de Cartago y sus alrededores. Después, se buscó alejar el límite de esta región de interés suficiente para al menos incluir todos los elementos de carreteras que se conecten con sus límites. Esto para evitar un efecto de borde con “consecuencias en toda la red urbana” (Ratti, 2004), que se produce al delimitar el área y significa que los segmentos unitarios cercanos al límite, o propiamente parte de este, pierden importancia al deshacerse de aquellos que se encuentran fuera del mismo. La Figura 3 muestra el área de estudio.

## Conteos Vehiculares

La información de conteos vehiculares se obtuvo del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, la Dirección General de Ingeniería de Tránsito, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y otros trabajos de investigación previos. Como las fuentes de conteos vehiculares presentaron diferentes años de medición se proyectaron los volúmenes con un factor de crecimiento de 4 % anual, cuando fue necesario. La tasa utilizada es la recomendada por el Plan Nacional de Transportes 2011 – 2035 elaborado por la empresa INECO para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en su Anexo 2 “Resultados por tramos” (MOPT, 2011).

Posteriormente, se procesaron los datos de su ubicación para poder relacionarlos con los valores de integración de los elementos. El Cuadro 1 presenta un resumen de los datos de conteos utilizados. Para los valores diarios estimados para 2016, el promedio de

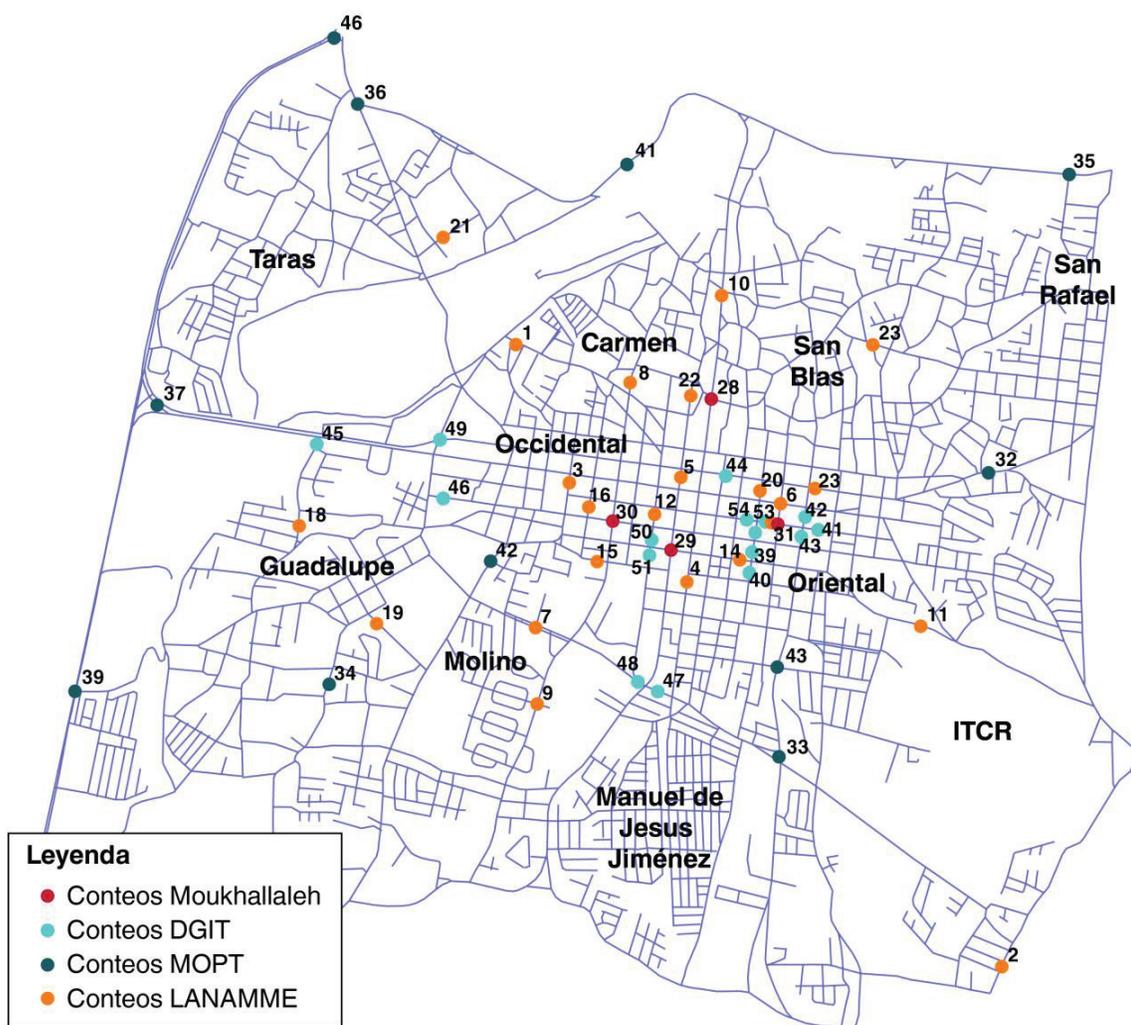


Figura 3. Ciudad de Cartago – Conteos en el área de estudio.

Fuente: Atlas ITCR 2014. Modificado por el autor.

vehículos en cada conteo es 8 435, el valor máximo 20 870 y el mínimo es 2 456.

Cuadro 1. Cantidad de Conteos – Excluyendo Bordes.

Fuente	Año	Conteos
LANAMME	2009	16
LANAMME	2010	6
C. Moukhallaleh	2014	4
MOPT	2013	4
DGIT	2016	8
DGIT	2010	5
DGIT	2009	3

## RESULTADOS

El trabajo realizado se basó en el “Análisis de Segmento Unitario” (Paul, 2009) donde se establece una jerarquía para las calles de la ciudad. Se definió cuál era la vía prioritaria en las intersecciones. Además, se estableció una forma de representar los segmentos unitarios curvos utilizando una sección representativa, esto debido a la limitación del software para sólo reconocer líneas rectas. También, se utilizó una variable categórica para mejorar la estimación del modelo estadístico.

## Integración

La integración se puede considerar como una medida de qué tan accesible es un elemento de una red con respecto al resto de las partes de esa misma red, en el caso de este trabajo este elemento es un segmento unitario como se definió anteriormente. Para el modelo se tiene que el valor promedio de integración de los segmentos unitarios es 1,04. La moda es 0,85 y la mediana es 1,01. El valor mínimo es 0,62 y se ubica en el sector de Taras.

El valor máximo es 1,65 y se encuentra en la Calle 14 al costado este de la Parroquia María Auxiliadora. Este es un elemento donde convergen la Ruta Nacional 10, la Vía 236. Además, está conectado con la Avenida 2 que recibe gran parte del tránsito proveniente del este de la ciudad y con las avenidas Central y Avenida 4 que son por donde se mueve mucho del tráfico en dirección Oeste-Este. También, este segmento unitario se encuentra a dos niveles de profundidad de la Avenida 1, que es la principal salida hacia San José.

Hay 184 elementos en la red con una integración de 1 y corresponden a 25,92 kilómetros de carretera, esto representa un 11,14% del total de kilómetros en la red. Los segmentos unitarios con integración menor a 0,75 suman 7,54 kilómetros del área de estudio. Los elementos con una integración bastante alta, mayor a 1,50 consisten el 7,54 % de la red con 17,54 km.

Las zonas menos integradas de la ciudad de Cartago son áreas destinadas principalmente a la vivienda en Taras y Barrio Fátima al noroeste y Barrio López al noreste, también el sector de San Blas en menor medida. La Figura 4 muestra los elementos de baja integración en calles residenciales alejadas del centro. Eso indica que son las calles y los sectores menos accesibles desde otros puntos de la red.

Los elementos con altos niveles de integración se encuentran en las avenidas del centro de la ciudad, principalmente en el sector oeste después de cruzar la Calle 2 (C 2), también es importante la diagonal que conecta el centro con el sector de Taras y el Boulevard El Molino al sur del casco central. La región con calles más integradas está principalmente en

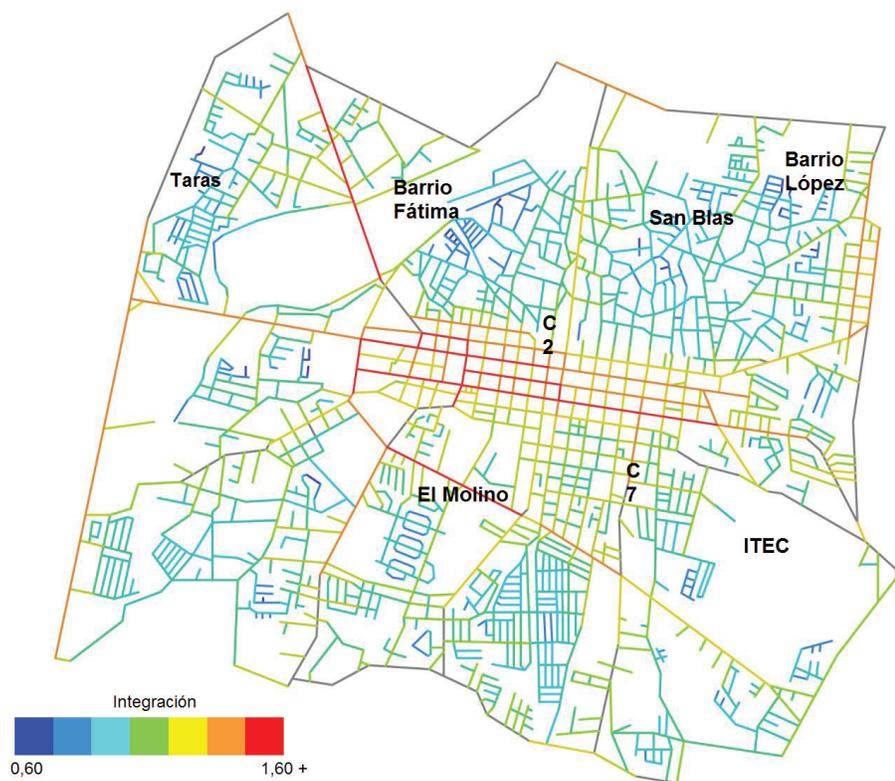


Figura 4. Resultados integración Modelo

el Distrito Occidental. Las avenidas son importantes en el centro de la ciudad y es de esperar que ahí transiten la mayor cantidad de vehículos.

Una integración también alta pero en menor medida se da, de acuerdo al modelo, en San Rafael de Oreamuno, en las avenidas del centro al Este de la Calle 2 y en la Calle 7 (C 7). También en las calles que salen de la ciudad como la Ruta 10 tanto al este como al oeste del casco central y la vía que se conecta con El Tejar de El Guarco.

En general el modelo indica que el sector sur del área de estudio está más integrado que el norte. Esto puede tener la influencia de los caminos que conectan la ciudad con los distritos de Aguacaliente, Dulce Nombre, Guadalupe y El Tejar de El Guarco.

Los datos de los bordes no se tomaron en cuenta para establecer la correlación entre el volumen de tránsito y la integración de las calles dentro del sistema porque “el análisis de segmento unitario no es totalmente libre del efecto de borde” (Paul, 2009). El efecto

de borde se presenta al delimitar el área de estudio, porque haciendo esto se elimina la continuidad de la red de caminos fuera de la región analizada.

La Figura 5 muestra el volumen vehicular que pasa por un segmento unitario en función de la integración correspondiente al elemento dentro de la red. El coeficiente de correlación entre las variables es de 0,68. El coeficiente de determinación para un ajuste exponencial es de 0,53.

Además, se realizó una regresión múltiple al agregar una segunda variable independiente. Esta se establece como una variable categórica con valor de 1 para las calles Norte-Sur que tienen una sola dirección de tránsito y se denomina “Calles”. Se obtuvo la siguiente ecuación para el modelo:

$$Volumen\ Vehicular = e^{(5,947+2,354*Integración-0,339*Calle)} \quad (6)$$

El Cuadro 2 muestra el resumen de la estimación de parámetros para el modelo. Se puede ver que tanto la variable Integración como la variable Calle son significativas estadísticamente.

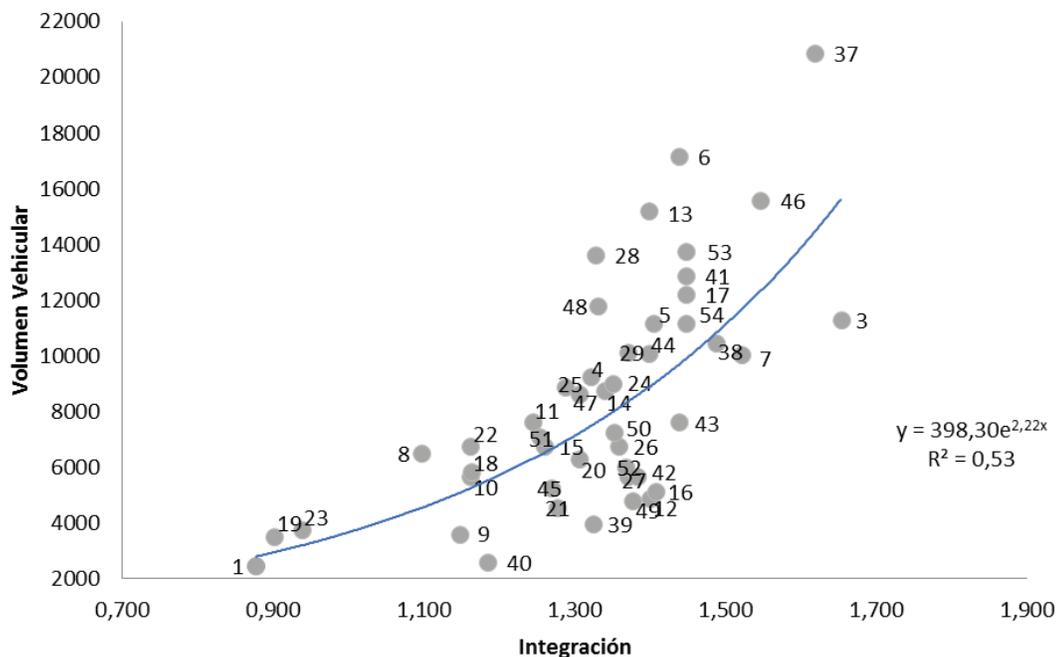


Figura 5. Gráfico del volumen vehicular en función de la integración.

Cuadro 2. Características del Modelo Final

Término	Estimación	Error estándar	Razón t	Prob >  t	Características del Modelo	
Constante del modelo	5,947	0,382	15,56	<,0001	R <sup>2</sup>	0,64
Integración	2,354	0,295	7,98	<,0001	R <sup>2</sup> ajustado	0,62
Calle	-0,339	0,097	-3,48	0,0013	Raíz del error cuadrático medio	0,303

## Análisis de Resultados

Es claro que existe una correlación entre los valores de integración y el volumen vehicular al elaborar el análisis de segmento unitario para el área de estudio. En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la correlación entre integración y tráfico vehicular obtenidos por distintos autores, donde se observa que los coeficientes de determinación están entre 0,29 y 0,82.

Al comparar el  $R^2$  de 0,53 obtenido en este trabajo para la regresión con exponencial de una variable, se puede ver que está entre los valores que se han conseguido en estudios internacionales, tal como se muestra en el Cuadro 3, que utilizan conceptos de sintaxis espacial para estudiar el tráfico vehicular.

En el caso de este estudio realizado sobre la configuración espacial de la ciudad de Cartago, una observación de por qué no se alcanza una mayor correlación puede estar relacionada con lo contemplado en “Combined impacts of configurational and compositional properties of street network on vehicular flow” (Zhuang y Song, 2015), donde estudiaron ciudades chinas y concluyen que las correlaciones tienden a disminuir cuando hay gran presencia de calles con dirección en un solo sentido, como es el caso del área de estudio.

Para verificar la influencia de los elementos con solamente una vía de tránsito se decidió incorporar dicha variable en el modelo. Esta consideración puede no ser suficiente para el área de estudio, además se debe considerar si los segmentos unitarios son Calles o Avenidas, ya que es claro que, dentro de la jerarquía de elementos del centro de la ciudad, las segundas tienen prioridad y tienen un funcionamiento distinto a las primeras.

Al incorporar en un modelo de regresión múltiple las variables calles y avenidas en una sola dirección el coeficiente para las primeras resultó estadísticamente significativo mientras el de las avenidas no, por lo que fue removida del modelo final mostrado en el Cuadro 2. El modelo demuestra que para la ciudad de Cartago, al considerar únicamente la variable “Integración” se sobrestima el volumen vehicular de calles con orientación norte-sur y sólo una dirección en un 29%. Es importante recalcar que al agregar una nueva variable categórica para estas Calles, la estimación del modelo mejora notablemente con un  $R^2$  de 0,64 y la mejora es estadísticamente significativa ( $F = 13,14$ ,  $F_{0,05,2,43} = 4,06$ ).

El análisis de segmento unitario puede ayudar a identificar la importancia de elementos de la red para viajes locales, al establecer un área se limita la continuidad de la red de carreteras existente dentro de ella y no sería posible que considere la influencia de elementos encontrados fuera de esta. Estos viajes no podrían formar parte del modelo porque no comienzan ni terminan en la ciudad de Cartago. Cabe preguntarse si una ampliación del área de estudio donde se incluya mayor parte de El Tejar, Aguacaliente, Dulce Nombre y San Rafael de Oreamuno podría mejorar la correlación o tal vez resaltar otros elementos e intersecciones importantes en la red.

Durante la elaboración del trabajo se consideró un segundo modelo, en el cual los segmentos unitarios curvos fueron caracterizados con varias líneas rectas en lugar de una sección representativa de todo el elemento. Ese modelo resultó en una correlación considerablemente menor con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,36 para un ajuste exponencial, razón por la cual fue descartado.

Cuadro 3. Correlaciones Tráfico Vehicular – Integración

Autor	Año	Localidad	r	R <sup>2</sup>	Ecuación
Karimi et al.	2003	Isfahan, Irán	0,78	0,61	
Dawson	2003	Arviat, Canada	0,74	0,55	No disponible
Peponis et al.	1997	Downtown, Atlanta, Estados Unidos	0,58	0,34	No disponible
Peponis et al.	1997	Buchhead, Atlanta, Estados Unidos	0,54	0,29	No disponible
Paul	2009	Lubbock, Texas, Estados Unidos	0,79	0,63	
Zhuang et al.	2015	Wujiaochang, China	0,81	0,66	No disponible
Zhuang et al.	2015	Shangchenglu, China	0,72	0,52	No disponible
Zhuang et al.	2015	Xujiahui, China	0,71	0,50	No disponible
Zhuang et al.	2015	Jingansi, China	0,70	0,48	No disponible
Zhuang et al.	2015	Xintiandi, China	0,63	0,40	No disponible
Patterson	2016	Cardiff, Reino Unido	0,82	0,69	No disponible
Patterson	2016	Leicester, Reino Unido	0,61	0,39	No disponible
Patterson	2016	Leeds, Reino Unido	0,44	0,50	No disponible
Patterson	2016	Neath Port Talbot County Borough Council	0,70	0,82	No disponible

Fuentes: Dawson, 2003; Karimi, 2003; Paul, 2009; Peponis, Ross y Rashid, 1997; Zhuang y Song, 2015; Paterson, 2016.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de segmento unitario permitió encontrar información sobre las características de movimiento dentro de una red urbana, dado que encontró una correlación entre la integración de un elemento dentro de la red y el volumen de tránsito vehicular para el caso de estudio.

Al considerar los bajos requerimientos de datos del método; la geometría de la red urbana y la jerarquización de las vías en cada intersección, se puede considerar que es una opción rápida y económica para estudiar ciudades. Ésto sin tener que recurrir a la recolección de datos de Origen-Destino (encuestas de viajes) ni las velocidades de operación en las carreteras mediante vehículo flotante, que son estudios caros y complejos. Es un modelo que sólo puede considerar condiciones locales, lo que significa que desde su concepto es más impreciso, pero sí es viable para analizar y comparar características dentro de la red de una ciudad.

Se logró mejorar el modelo al agregar una variable categórica para las Calles de una vía del centro, diferenciándolas de las Avenidas y de los elementos de doble vía. Esto porque existe un comportamiento distinto donde estas calles tienen altos valores de integración, pero relativamente bajo tránsito. Incluir esta variable no significó mayor diferencia a la hora de recolectar los datos ni de procesarlos, manteniendo los beneficios del modelo en lo referente a tiempo y costo.

El método funcionó para encontrar intersecciones importantes, al comparar las características de integración entre los elementos que las conforman. Además, para identificarlas al hacer modificaciones en la red y se logró determinar cuáles elementos aumentan o disminuyen su importancia ante cambios físicos propuestos.

Es necesario establecer un área de estudio lo suficientemente grande para minimizar el efecto de borde en la región de interés, se recomienda considerar en futuros estudios sobre la ciudad de Cartago la influencia e importancia del distrito de El Tejar de El Guarco y San Rafael de Oreamuno en los viajes locales, además de Aguacaliente y Dulce Nombre de Cartago.

En general, el método de Análisis de Segmento Unitario utilizando principios de sintaxis espacial puede ser una herramienta útil para conocer características de la red y sugerir puntos de interés en las condiciones actuales o durante etapas tempranas de un proyecto a desarrollar, siempre tomando en cuenta que no es una herramienta definitiva que va a sustituir otros estudios más completos, pero sí como una opción económica y rápida de evaluación que puede servir de guía para justificar políticas y estudios más detallados.

Debido a la eficacia del método para predecir los volúmenes de tránsito se recomienda probar el modelo de sintaxis espacial en otras ciudades del país y posiblemente para otros modos, particularmente pensando en movilidad activa.

## REFERENCIAS

1. Anderson, T. (2005). Spatial variations in road collision propensities in London. [Versión electrónica]. *CASA Working Paper Series* (96).
2. Goncalves Barros, A., Marques da Silva, P. y Borges de Holanda, F. (2007). Exploratory study of space syntax as traffic assignment tool. *Actas del 6to congreso internacional de sintaxis espacial*, Turquía.
3. Batty, M., Besussi, E. y Chin, N. (2003). Traffic, urban growth and urban sprawl. [Versión electrónica]. *CASA Working Paper Series* (70).
4. Carpio – Pinedo, J. (2014) Urban bus demand forecast at stop level: Space syntax and other built environment factors. Evidence from Madrid [Versión electrónica]. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* (160), 205-214.
5. Dawson, P. (2003). Analysing the effects of spatial configuration on human movement and social interaction in Canadian Arctic communities. *Actas del 4to congreso Internacional de sintaxis espacial*. Londres.
6. Hillier, B. y Hanson, J. (1984). *The social logic of space*, Cambridge University Press, New York.
7. Hillier, B. y Iida, S. (2005) Network effects and psychological effects: a theory of urban movement. *Actas del 5to congreso internacional de sintaxis espacial*. Holanda.
8. Jayashinghe, A., Sano, K. y Nishiuchi, H. (2015) Explaining traffic flow patterns using centrality measures [Versión electrónica]. *International journal for traffic and transport engineering* 5(2), 134-149.
9. Karimi, K. and Mohamed, N. (2003). The tale of two cities: the dynamics of the city Isfahan in the past and present. *Actas del 4to congreso internacional de sintaxis espacial*. Londres, Inglaterra.
10. Kim, D. y Batty, M. (2011). Modeling urban growth: an agent based microeconomic approach to urban dynamics and spatial policy simulation. [Versión electrónica]. *CASA Working Paper Series* (165).
11. Kishimoto, T., Kawasaki, S., Nagata, N. y Tanaka, R. (2007). Optimal location of routes and stops of public transportation. *Actas del 6to congreso internacional de sintaxis espacial*. Turquía.

12. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). (2012). Evaluación de la Red Vial Cantonal de Cartago: Tramos Homogéneos. San José: LANAMME.
13. Major, M. (2015). The hidden corruption of American regular grids: Why space Syntax doesn't work in the United States, when it looks like it should. *Actas del 10mo simposio internacional de sintaxis espacial*. Londres, Inglaterra.
14. Mainieri, C. y Rigatti, D. (2007). Ring roads in greater Porto Alegre: would it be an effective solution?. *Actas del 6to congreso internacional de sintaxis espacial*, Turquía.
15. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2011). Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011 – 2035 Anexo 2: Resultados por Tramos. San José: MOPT.
16. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2013). Anuario de Información de Tránsito 2013. San José: MOPT.
17. Moukhallaleh, C. (2015). Análisis de emisiones de gases por fuentes móviles en las ciudades de Alajuela, Cartago y Heredia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
18. Patterson, J. (2016) Traffic modeling in cities – validation of space syntax at an urban scale [Versión electrónica]. *Indoor and built environment*(25), 1163-1178.
19. Paul, A. (2009) An integrated approach to modeling vehicular movement networks: trip assignment and space syntax. Proyecto de graduación para optar por el grado de Doctorado, Texas Tech University, Texas, Estados Unidos.
20. Paul, A. (2011) Axial Analysis: a syntactic approach to movement network modeling [Versión electrónica]. *Institute of Town Planners, India Journal* 8(1), 29-40.
21. Paul, A. (2012) Unit segment Analysis: A space syntax approach to capturing vehicular travel behavior emulating configurational properties of roadway structures [Versión electrónica]. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 12(3), 275-290.
22. Penn, A., Hillier, B., Banister, D. and Xu, J. (1998). Configurational modeling of urban movement networks. *Environment and Planning B: Planning & Design* 25, pp.59-84.
23. Pereira, R., de Holanda, F., Medeiros, V. y Barros, A. (2012). The use of space syntax in urban transport analysis: limits and potentials. *Actas del 8vo congreso internacional de sintaxis espacial*, Chile.
24. Peponis, J., Ross, C. y Rashid, M. (1997). The structure of urban space, movement and
25. co-presence: the case of Atlanta [Versión electrónica]. *Geoforum* 28(3-4), 341-358.
26. Raford, N. (2003). Looking both ways: Space syntax for pedestrian exposure forecasting and collision risk analysis. *Actas del 4to congreso internacional de sintaxis espacial*. Londres, Inglaterra.
27. Ratti, C. (2004). "Space syntax: some inconsistencies." [Versión electrónica]. *Environment and Planning B: Planning and Design* (31), 487-499.
28. Van Nes, A. (2001). Road building and urban change: A morphological and configurative explanation of how ring roads change the pattern of distribution of shops in city and town centres. *Actas del 3er simposio internacional de sintaxis espacial*. Atlanta, Estados Unidos.
29. Zhuang, Y. y Song, X. (2015). Combined impacts of configurational and compositional properties of street network on vehicular flow. *Actas del 10mo simposio internacional de sintaxis espacial*. Londres, Inglaterra.