

ARTICLE TYPE

Estructura de la red espacial de moteles en Bogotá: un análisis de grafos con datos de Google Places

Andrea Mora*

Pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia

*Corresponding author. Email: amoraro@unal.edu.co

Abstract

Este estudio analiza la estructura espacial de la red de moteles en Bogotá utilizando herramientas de teoría de grafos y datos obtenidos exclusivamente a partir de la API de Google Places. A partir de un grafo de proximidad construido mediante el modelo k-Nearest Neighbors ($k = 6$), se caracterizó la conectividad, centralidad, transitividad y organización interna de estos establecimientos en el territorio urbano. Los resultados evidencian la presencia de una componente gigante dominante, altos niveles de clustering y comunidades bien definidas, lo que revela patrones consistentes de agrupamiento y proximidad geográfica. Asimismo, el análisis de centralidades muestra que los nodos más influyentes estructuralmente no son necesariamente los de mayor popularidad, sino aquellos que funcionan como puentes entre subzonas de la ciudad. El análisis de sensibilidad permite identificar establecimientos críticos cuya eliminación fragmentaría la red, así como otros con impacto mínimo. En conjunto, los hallazgos demuestran que la teoría de grafos es una herramienta eficaz para estudiar la organización espacial de servicios urbanos sensibles y permiten comprender la lógica territorial de los moteles sin recurrir a fuentes externas adicionales.

Keywords: Teoría de grafos, Redes espaciales, k-Nearest Neighbors (k-NN), Centralidad, Clustering, Comunidades, Moteles, Bogotá, Google Places, Análisis de proximidad

1. Introducción

El análisis de redes permite representar interacciones complejas entre entidades (ya sean personas, lugares o instituciones) mediante nodos y aristas que capturan su estructura de relación. En este trabajo se emplean herramientas de programación en Python, para construir, caracterizar y visualizar redes espaciales reales a partir de datos extraídos de la API de Google Places. El propósito central es identificar estructuras internas como comunidades, medir homofilia según atributos de los establecimientos (por ejemplo, el rating reportado por los usuarios) y analizar la robustez del sistema ante la eliminación de nodos clave con alta centralidad.

El objeto de estudio son los centros de entretenimiento para adultos, específicamente moteles localizados en Bogotá. Aunque se trata de un tema socialmente sensible y, en muchos casos, percibido como tabú, aquí se aborda de manera estrictamente académica, entendiendo estos establecimientos como puntos de una red urbana que se distribuye en el territorio bajo ciertas lógicas de localización, regulación y demanda. El interés del estudio es ilustrar cómo las herramientas de teoría de grafos permiten describir y comparar la organización espacial de diferentes tipos de servicios urbanos y su relación con la percepción de calidad expresada en reseñas en línea.

A partir de una base de datos se construye un grafo de proximidad en el que las aristas representan vecindad geográfica entre lugares. Sobre esta red se calcula métricas clásicas de teoría de grafos, adicionalmente, se realizan análisis de sensibilidad eliminando nodos fundamentales para observar las variaciones en el número de componentes y en el camino más corto promedio.

2. Metodología

La metodología se fundamenta en la construcción y análisis de una red espacial, en la que los nodos representan establecimientos geolocalizados y las aristas se derivan de relaciones de proximidad espacial. El procesamiento, construcción y análisis de las redes se realizó en Python utilizando librerías especializadas como pandas, geopandas, scikit-learn, networkx y folium.

2.1 Fuentes y procesamiento

2.1.1 Obtención de datos

Los datos fueron extraídos mediante la API de Google Places, generando la base principal, empleando consultas por tipo de establecimiento dentro del perímetro urbano de Bogotá. Para cada lugar identificado se obtuvieron las siguientes variables:

- Identificador único
- Nombre del establecimiento
- Coordenadas geográficas (latitud, longitud)
- Rating promedio
- Número de reseñas
- Rango de precios
- Dirección formateada

2.1.2 Limpieza y estandarización

Para garantizar la consistencia analítica, se aplicaron los siguientes procesos:

- Eliminación de registros duplicados usando como llave al identificador único del lugar.
- Eliminación de establecimientos sin coordenadas o con coordenadas erróneas (fuera de la zona de estudio), esto puesto que sin las coordenadas no es posible ubicar el nodo sobre un mapa.
- Conversión a valores numéricos de las columnas rating y cantidad de personas que han calificado el lugar.

Por otro lado, se le aplicaron a los datos atributos derivados, esto con el propósito de utilizar sólo lugares en funcionamiento o reales, tales como:

- Eliminación de establecimientos que cuenten con menos de 5 reseñas, esto como medida preventiva de encontrar lugares imaginarios.
- Agregamos una columna con el tipo del establecimiento "M" o "B"
- Agregamos una columna en donde se establece si el lugar cuenta con un $rating \geq 4.2$, identificado con 1 como el caso positivo y 0 en caso contrario.
- Agregamos una columna en donde se establece si el número de reseñas del lugar esta por encima de la media de la base, identificado con 1 como el caso positivo y 0 en caso contrario.

2.2 Construcción de grafos espaciales

2.2.1 Elección del modelo de proximidad

El grafo se construye mediante un modelo de vecindad geográfica bajo la técnica k-Nearest Neighbors ($k - NN$), ampliamente empleada en redes espaciales donde las conexiones dependen de la cercanía física entre puntos. Se utiliza la distancia haversine, para determinar en kilómetros la distancia que separa dos coordenadas.

Para escoger el k adecuado en el que se garantice redes conectadas con suficiente variación estructural, se realizaron 3 pruebas ($k = 4, 6 y 8$). A continuación se muestra cómo varía cada uno de los grafos dependiendo del k escogido:

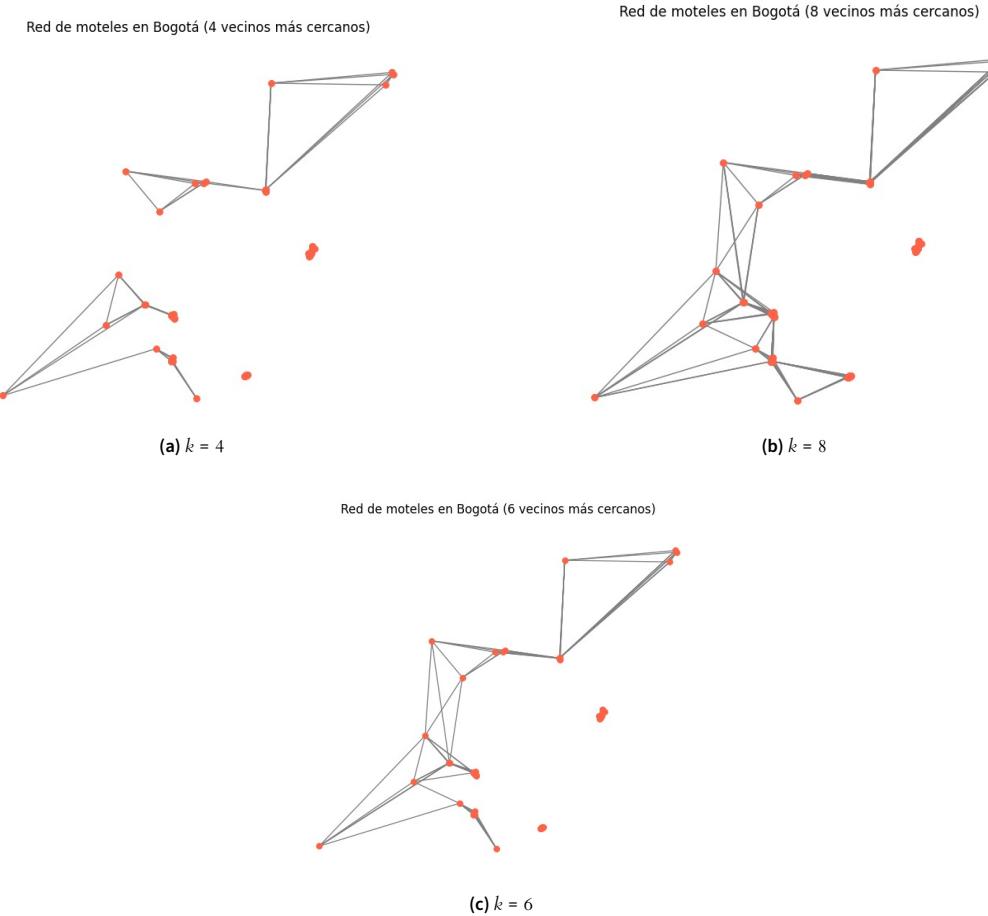


Figure 1. Comparación de redes de proximidad variando del parámetro k

Podemos observar en los grafos de la Figura 1 que cuando el valor $k = 4$ se producen grafos fragmentados que no garantizan una componente gigante y, por tanto, impiden el cálculo consistente de métricas globales como diámetro, rutas mínimas, modularidad o centralidades basadas en caminos. Por el contrario, $k = 8$ genera una sobredensificación de aristas, incorporando conexiones largas y artificiales que distorsionan los patrones de proximidad espacial y dificultan la identificación de estructuras internas reales, como puentes o clusters. El valor intermedio $k = 6$ ofreció, de forma consistente en las tres bases, un equilibrio óptimo en conectividad, permite analizar métricas globales de manera válida. Por estas razones metodológicas, $k = 6$ se adopta como el valor óptimo y homogéneo para los tres análisis.

3. Análisis de la red de moteles

La red de moteles constituye el primer objeto de análisis en este estudio, permitiendo explorar cómo se estructuran espacialmente estos establecimientos en Bogotá y qué patrones de conectividad emergen al modelar sus relaciones mediante un grafo $k = 6$. A continuación se presentan los resultados más relevantes respecto a la organización interna de la red, sus métricas estructurales y los comportamientos observados en términos de centralidad, transitividad, comunidades y atributos asociados al rating.

3.1 Grado, densidad, componentes conexos y componenete gigante

La red de moteles se compone de 59 nodos y 225 aristas resultantes de la aplicación del modelo de vecindad geográfica con $k = 6$. Esta estructura inicial permite identificar un sistema moderadamente conectado, donde la densidad, calculada como la proporción de aristas existentes frente a todas las posibles:

$$\Delta_m = \frac{m}{n(n-1)/2} = \frac{2m}{n(n-1)} = \frac{2 * (255)}{59 * (58)} \approx 0,13$$

Se mantiene en valores bajos, lo cual es natural para redes espaciales donde los enlaces están restringidos por proximidad física.

El análisis de conectividad muestra la existencia de 3 componentes conexos, aunque uno de ellos domina claramente la estructura: la componente gigante, que agrupa la mayor parte de los moteles (37 de los 59 nodos se encuentran en este componente) y concentra la conectividad urbana principal. Los componentes restantes son grupos o nodos aislados localizados en zonas aisladas, lo que implica que sus 6 vecinos más cercanos se encuentran adyacentes a ellos.

Ahora bien, la distribución de grado (Fig: 2a) revela cómo se distribuye el número de conexiones entre los moteles. En esta red, la mayor parte de los nodos tiene un grado 6, lo cuál nos puede indicar que los moteles se contruyen en comunidades relativamente pequeñas y cercanas. Los grados 10, 11, y 12 son puntos geográficamente densos, es decir, zonas en las que la oferta está concentrada y ese nodo se vuelve un punto de referencia espacial (zonas como Teusaquillo, Chapinero, Kennedy o Puente Aranda), podemos ver con más claridad estos puntos en la Figura ?? dónde el color celeste y amarillo presentan nodos con un mayor grado.

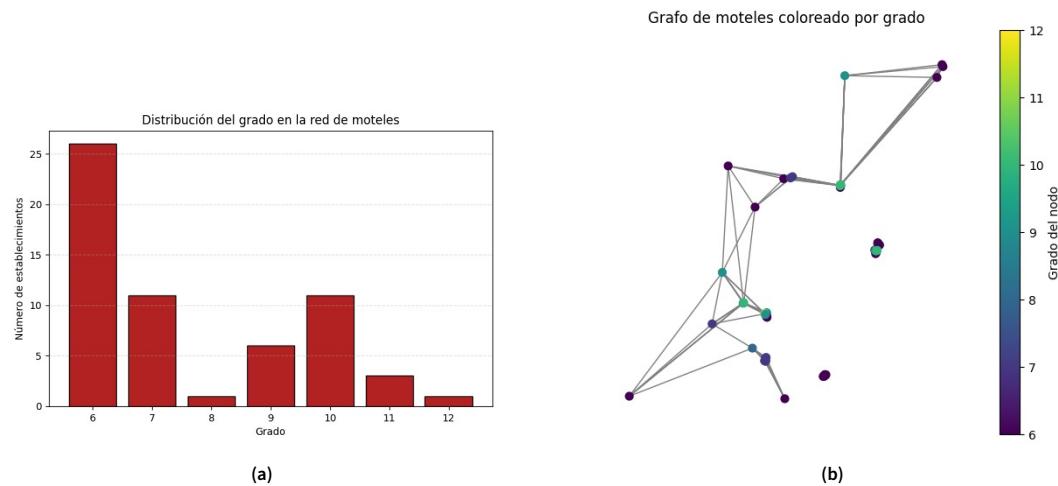


Figure 2. Grado de la red de moteles

Estos nodos de alto grado funcionan como pequeños “núcleos” locales donde los moteles se encuentran especialmente próximos entre sí, generando micro-estructuras densas dentro del grafo. En la red también se observa que el grado medio es 7,783 cercano a 8, lo que indica una densidad intermedia: cada café se conecta, en promedio, con ocho establecimientos cercanos.

3.2 Centralidades: grado, cercanía y betweenness

El análisis de centralidades permite identificar los establecimientos que desempeñan roles estratégicos dentro de la red de moteles de Bogotá. Las tres medidas consideradas (grado, cercanía y betweenness)

revelan funciones diferenciadas y complementarias, asociadas tanto a la estructura del grafo como a patrones urbanos de localización

A continuación se muestran los top 5 en cada categoría:

Top 5 por Centralidad de Grado					Top 5 por Centralidad de Cercanía				
rank	nombre	centralidad_grado	rating	reseñas	rank	nombre	centralidad_cercanía	rating	reseñas
1	Motel Blue Sea	0.333333	4.200000	1462	1	Motel	0.404494	3.800000	335
2	Las Camelias Motel	0.305556	4.300000	417	2	Motel Sueños	0.404494	3.900000	132
3	Motel	0.277778	3.800000	335	3	MOTEL	0.400000	3.500000	54
4	Motel Safari	0.277778	4.000000	850	4	Motel Amoblados Palace	0.387097	4.200000	87
5	Motel El Encanto Vip	0.277778	3.900000	169	5	Motel Four Point	0.387097	3.900000	38

(a) Centralidad de grado	(b) Centralidad cercanía			
Top 5 por Centralidad de Betweenness				
rank	nombre	centralidad_betweenness	rating	reseñas
1	Amoblados El Romance motel bogota	0.322222	3.900000	90
2	Motel Amoblados Palace	0.233862	4.200000	87
3	Motel Four Point	0.233862	3.900000	38
4	MOTEL	0.199980	4.000000	30
5	MOTEL	0.196023	3.500000	54

(c) Centralidad de puente

Figure 3. Centralidad de la red de moteles

Los establecimientos con mayor centralidad de grado, como se ve en la Figura 3a, entre ellos: Motel Blue Sea, Las Camelias Motel, Motel Safari y Motel El Encanto Vip, corresponden a nodos con un elevado número de conexiones directas, reflejando su ubicación en zonas urbanas de alta densidad de moteles (Fig: 4. La centralidad de grado muestra una fuerte relación con indicadores de reputación digital: estos establecimientos concentran un volumen significativamente mayor de reseñas y presentan calificaciones altas en Google.

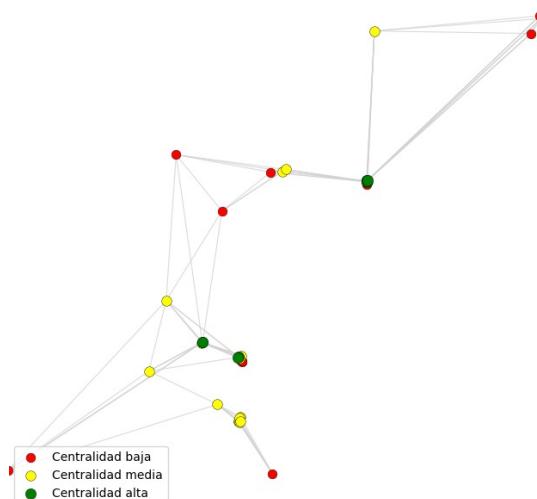


Figure 4. Grafico de nodos por centralidad de grado

Los moteles con mayor centralidad de cercanía (Fig: 3b) como lo son el Motel Sueños, Motel

Amoblados Palace y Motel Four Point, presentan la menor distancia promedio al resto de la red. Esto indica que se encuentran ubicados en posiciones estratégicamente centrales, desde las cuales es posible alcanzar a la mayoría de los establecimientos con un número reducido de pasos. Su localización geográfica y relacional los convierte en puntos de referencia internos, conformando nodos que favorecen la eficiencia de comunicación dentro del grafo. Es relevante observar que Motel Amoblados Palace y Motel Four Point aparecen también en el top de betweenness, lo que sugiere que combinan una posición globalmente central con un rol de intermediación clave.

De la Figura 3c podemos inferir que los establecimientos con mayor centralidad de betweenness, encabezados por Amoblados El Romance, Motel Amoblados Palace y Motel Four Point, actúan como intermediarios críticos en la red. Su importancia radica en que concentran una proporción relevante de los caminos más cortos entre otros nodos, cumpliendo la función de puentes que conectan diferentes zonas o subredes de moteles. Aunque no son los establecimientos con mayor número de reseñas ni los de mayor conectividad directa, sí representan puntos estructuralmente sensibles: su ausencia aumentaría las distancias entre sectores de la red e incluso podría fragmentarla. Estos resultados sugieren que ocupan posiciones de transición en áreas urbanas donde la oferta se distribuye de manera dispersa.

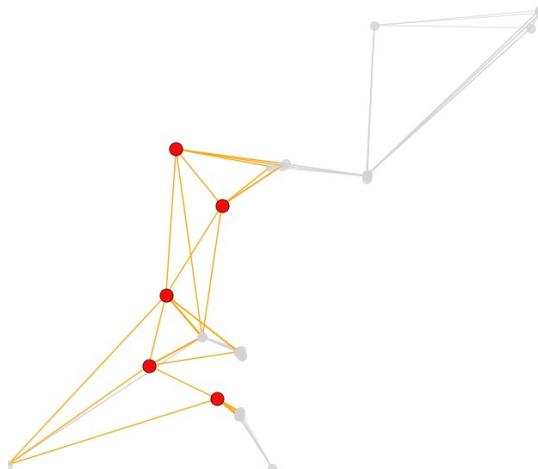


Figure 5. Nodos que se encuentran como los más representativos para puentes en el grafo

4. Clustering

El coeficiente de clustering promedio refleja la tendencia de los moteles a organizarse en grupos donde los vecinos de un nodo también están conectados entre sí. Se identificaron varios tríos de moteles formando triángulos, evidencia de alta transitividad local y de micro-zonas donde la oferta es especialmente densa.

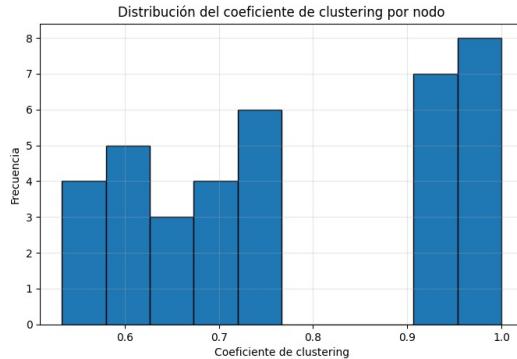


Figure 6. Coeficiente de clustering por nodo

La Figura 6 muestra la distribución del coeficiente de clustering para los moteles incluidos en la componente gigante de la red. En términos generales, el comportamiento observado indica que la red presenta niveles de clustering consistentemente altos, con valores que oscilan aproximadamente entre 0.55 y 1.0, lo cual es inusual para redes espaciales k-NN y revela patrones de agrupación fuertes.

Para aquellos establecimientos que cuentan con un clustering entre 0.9 y 1, podemos decir que tienen vecinos que también están conectados entre sí, es decir que existe una redundancia estructural elevada, típica de zonas donde la oferta se concentra en zonas específicas.

Los establecimientos con valores intermedios (entre 0,65 – 0,8) indican estructuras donde algunos vecinos están conectados entre sí, pero no todos, probablemente zonas donde los moteles se encuentran cercanos, pero no tan densos como en el primer grupo. A continuación (Fig: 7) encontramos los establecimientos coloreados depende su coeficiente de clustering: en verde cluster alto, en amarillo, intermedio, y en rojo, cluster bajo.

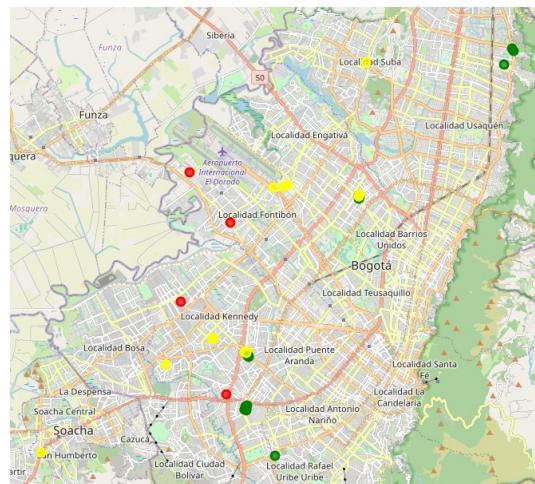


Figure 7. Mapa coeficiente de clustering

5. ASP y diámetro

El camino más corto promedio (ASP) de 3,46 indica que, en la componente gigante de la red de moteles, cualquier par de establecimientos se conecta, en promedio, a través de tres o cuatro intermediarios. Esto refleja una estructura relativamente compacta, característica de redes espaciales

donde los nodos se agrupan en corredores y clusters, pero mantienen una buena accesibilidad estructural

Para ilustrar la eficiencia estructural del sistema, se calculó la ruta más corta (en términos de distancia geográfica) entre dos moteles ubicados en extremos opuestos de la componente gigante (Fig: 8. El camino óptimo obtenido mediante el algoritmo de Dijkstra que conecta una secuencia de establecimientos que forman el eje estructural de la red y coincide con el patrón observado en la medición del diámetro.

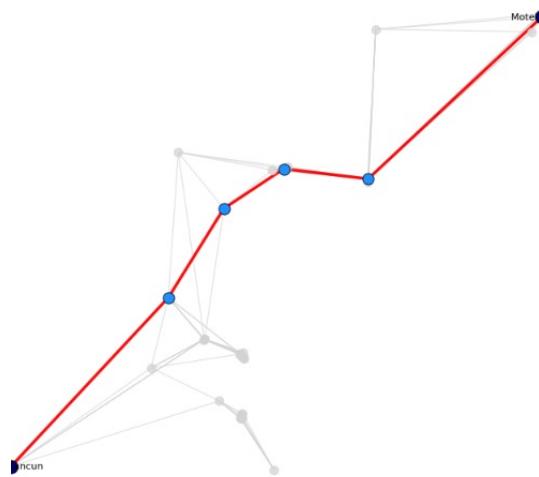


Figure 8. Algoritmo Dijkstra para encontrar ruta más corta

Podemos ver en la figura anterior que el recorrido para llegar del Motel Kancun al Motel La Cita es:

- Motel Kancun
- MOTEL
- Motel Four Point
- Flamingo
- Motel Blue Sea
- Motel La Cita

Recogiendo cuatro moteles que sirven como puentes, para recorrer una distancia total de 31 km o 0.00487 radianes.

El diámetro de la componente gigante es 8, es decir, el par de moteles más distante requiere ocho pasos para conectarse a través de la red. Comparado con el ASP, este valor sugiere que los trayectos extremos son poco frecuentes y que la mayor parte de la red se organiza en distancias significativamente menores, con periferias que se conectan al ‘cuerpo’ principal de la red sin quedar completamente aisladas. La Figura 9 muestra el par de moteles que definen el diámetro de la componente gigante, ubicados en extremos opuestos del tejido urbano

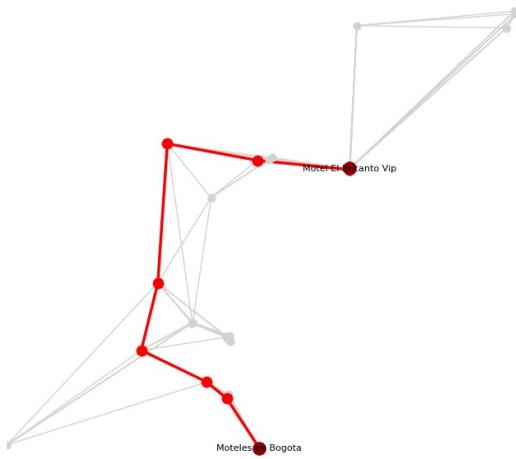


Figure 9. Diámetro de la red de moteles.

5.1 Comunidades y modularidad

La detección de comunidades en la componente gigante de la red de moteles reveló la presencia de tres grupos claramente diferenciados, respaldados por un valor de modularidad $Q = 0.5945$. Este nivel de modularidad indica que las conexiones son significativamente más densas dentro de cada comunidad que entre ellas, lo cual sugiere que la red está estructurada en subzonas urbanas bien definidas, donde los moteles tienden a agruparse espacialmente y a mantener proximidad con nodos dentro del mismo cluster. A continuación se presenta el grafo con las comunidades en color:

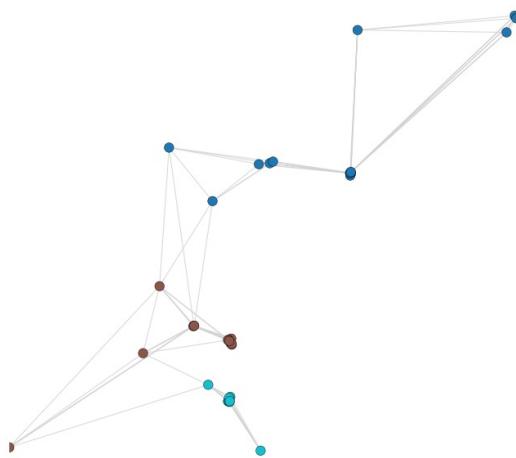


Figure 10. Grafo de comunidades en la red de moteles

En la siguiente tabla podemos ver algunas métricas importantes de cada una de las comunidades:

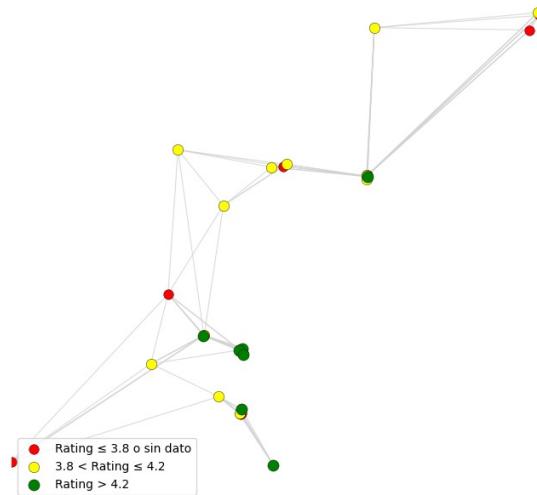
comunidad	n_nodos	n_aristas	densidad_interna	grado_promedio	clustering_promedio	ASP_comunidad
0	16	60	0.500000	7.500000	0.812270	1.658333
1	13	51	0.653846	7.846154	0.835825	1.384615
2	8	27	0.964286	6.750000	0.964286	1.035714

Figure 11. Tabla de métricas de las comunidades.

El análisis de métricas internas de las tres comunidades detectadas en la red de moteles muestra diferencias estructurales claras que explican la forma en que estas se organizan en el espacio urbano. La Comunidad 0, compuesta por 16 nodos, presenta una densidad interna de 0.50 y un clustering promedio de 0.81, lo que indica un grupo bien conectado pero menos compacto que los demás; su ASP interno (1.65) sugiere que la mayoría de los nodos están conectados. La Comunidad 1, con 13 nodos, muestra la segunda densidad más alta (0.65) y un clustering promedio de 0.84, conformando un bloque más cohesionado y con mayor proximidad estructural entre sus moteles; su ASP de 1.38 confirma una comunidad más compacta. Finalmente, la Comunidad 2, aunque es la más pequeña (8 nodos), alcanza la densidad interna más alta (0.96) y un clustering promedio casi perfecto (0.96), formando un microcluster altamente cerrado y transitivo, visible en el grafo como un grupo compacto de moteles con conexiones casi completas.

5.2 Asortatividad por rating: interpretación de homofilia

El coeficiente de assortatividad por rating fue de $r = -0.0422$, indicando una ligera heterofilia en la red: los moteles no tienden a conectarse preferentemente con establecimientos de calificación similar, y las conexiones entre moteles de distinto nivel de rating son incluso levemente más frecuentes que las conexiones entre moteles con el mismo nivel (Fig: 12). Este valor, cercano a cero, sugiere que el rating no es un atributo estructurador de la red y que la organización espacial de los moteles no refleja patrones de homofilia reputacional.

**Figure 12.** Enter Caption

5.3 Subgrafos inducidos por atributos

El subgrafo inducido por los moteles con más de 50 reseñas agrupa un total de 27 establecimientos, todos pertenecientes a una única componente gigante, lo que revela un conjunto altamente conectado dentro del sistema general de la red. En este subgrupo, la densidad observada es de 0.239, un valor superior al del grafo completo, lo cual indica que los moteles con mayor volumen de reseñas tienden

a formar un tejido más cohesionado y con mayor proximidad estructural. El grado promedio de este subgrafo es 6.22, coherente con una red espacial construida mediante k-NN, pero ligeramente superior al promedio global, sugiriendo que estos moteles mantienen un número de conexiones algo mayor con sus vecinos. El clustering promedio, de 0.756, confirma la presencia de una transitividad relevante: muchos de los moteles con altas reseñas forman triángulos y microestructuras densas, lo que evidencia que este grupo se ubica en sectores donde los establecimientos se encuentran próximos (Observe la Figura: 13. En cuanto a las métricas de distancia, el subgrafo presenta un ASP de 3.23, bastante cercano al valor global, lo que implica que la accesibilidad estructural entre estos moteles es eficiente y que no existen trayectorias excesivamente largas. Finalmente, el diámetro de 7 sugiere que, aunque este conjunto es compacto, aún existen nodos que ocupan posiciones relativamente periféricas dentro del subgrupo, pero que se mantienen conectados sin generar fragmentación. En conjunto, estas métricas muestran que los moteles con mayor volumen de reseñas conforman un segmento estructuralmente más cohesionado, denso y transitivo, lo que podría reflejar su localización en corredores urbanos de alta actividad o en zonas consolidadas de oferta.

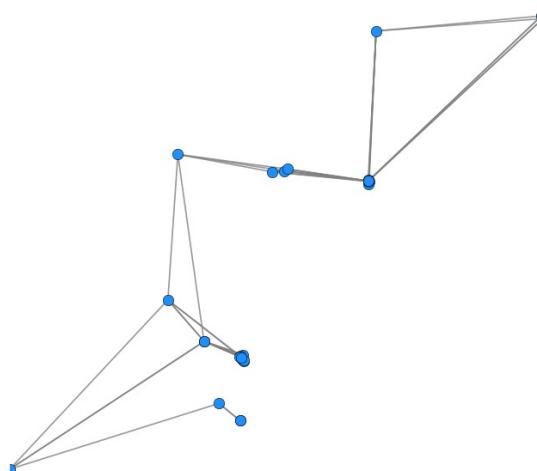


Figure 13. Subgrafo

5.4 Análisis de sensibilidad

Con el fin de evaluar la resiliencia estructural de la red de moteles, se simuló la eliminación de los nodos con mayor centralidad de intermediación (betweenness), es decir, aquellos que actúan como puentes críticos entre zonas de la ciudad. Para cada nodo removido se midieron los indicadores estructurales antes y después de la eliminación:

- Número de componentes conexos (C).
- Longitud promedio de caminos mínimos (ASP).

Los resultados revelan patrones diferenciados entre los nodos clave. En general, la eliminación de moteles con betweenness alta produce aumentos en el número de componentes y elongación del ASP, lo que sugiere ruptura en corredores estructurales. Por el contrario, los moteles ubicados dentro de comunidades muy densas generan efectos mínimos, pues la estructura interna del cluster absorbe su ausencia sin pérdida significativa de conectividad.

Table 1. Evaluación de sensibilidad estructural frente a la remoción de nodos clave.

Motel removido	Comp. antes	Comp. después	ΔC	ASP antes	ASP después	ΔASP	Interpretación
Amoblados El Romance	1	2	1	3.457	2.842	-0.615	Criticó: su eliminación fragmenta la red principal.
Motel Amoblados Palace	1	1	0	3.457	3.530	+0.0722	Redundante: impacto local mínimo.
Motel Four Point	1	1	0	3.457	3.530	+0.0722	Redundante: impacto local mínimo.

Amoblados El Romance motel bogota actúa como un auténtico *broker* espacial: su ausencia divide la red en dos componentes y acorta (aparentemente) la distancia promedio sólo porque se elimina un enlace inter-cluster esencial. Por el contrario, *Motel Amoblados Palace* y *Motel Four Point* conservan la unidad estructural, contribuyendo principalmente a la eficiencia local más que a la conectividad global.

Análisis bayesiano exploratorio de la distribución y desempeño de moteles en Bogotá

Esta sección documenta el desarrollo de un análisis bayesiano implementado en un archivo Quarto (.qmd) para estudiar la distribución espacial de moteles en Bogotá y su relación con variables contextuales por localidad. A partir de bases suministradas (moteles con coordenadas y métricas de reputación, población por localidad, estructura demográfica y conteos de delitos sexuales por localidad), se construyó un *pipeline* reproducible de limpieza, emparejamiento geográfico y modelación probabilística. Se resolvieron tres preguntas bayesianas principales: (i) estimación posterior de la probabilidad de éxito comercial (Beta–Binomial), (ii) diferencia posterior de rating promedio entre zonas de alta y baja criminalidad (modelo bayesiano de diferencia de medias), y (iii) estimación posterior de densidad de moteles por 100.000 habitantes por localidad (Gamma–Poisson). Adicionalmente, se ajustó un modelo logístico multivariado con Stan (`rstanarm`) como ejercicio explicativo.

6. Datos y preparación

Fuentes de datos

El análisis se basó exclusivamente en las bases proporcionadas: (1) un inventario de moteles con `lat/lon`, `rating`, `reseñas` y atributos descriptivos; (2) población total por localidad; (3) distribución demográfica para estimar la proporción de población de 20–39 años; y (4) conteos de delitos sexuales por localidad (SIEDCO), usando el período ENE–NOV 2024 como referencia.

Normalización y emparejamiento de localidad

Dado que la base de moteles no incluía localidad de forma sistemática, se implementó un procedimiento en dos etapas:

- Extracción textual:** normalización de la dirección (minúsculas, eliminación de tildes, limpieza de caracteres) y búsqueda de coincidencias con un catálogo de localidades.
- Imputación espacial por vecino más cercano (kNN):** para los casos restantes sin localidad, se imputó la localidad del motel geográficamente más cercano con localidad conocida, usando distancia Haversine. Se aplicó un umbral (p. ej. 2 km) para evitar asignaciones poco plausibles.

Posteriormente, se consolidó un conjunto datos uniendo moteles con población y delitos por localidad y calculando la tasa de delitos por 100.000 habitantes:

$$\text{tasa_delitos}_{100k} = \frac{\text{delitos}_{ENE-NOV}}{\text{población}} \times 10^5.$$

Para el modelo multivariado se estandarizaron covariables (*z-score*) con el fin de facilitar la interpretación de magnitudes.

Definición operativa de éxito

Se definió éxito como una variable binaria construida a partir del desempeño relativo del establecimiento:

$$\text{éxito} = 1 \quad \text{si } \text{rating} > \text{mediana}(\text{rating}) \text{ y } \text{reseñas} > \text{mediana}(\text{reseñas}), \quad 0 \text{ en caso contrario.}$$

Esta definición combina *reputación* (rating) y *tracción* (número de reseñas).

7. Resultados bayesianos y visualizaciones

Pregunta 1: Probabilidad posterior de éxito (Beta-Binomial)

Se modeló el número de moteles exitosos s en n observaciones como:

$$s \mid p \sim \text{Binomial}(n, p), \quad p \sim \text{Beta}(a_0, b_0),$$

con prior no informativo Beta(1, 1). La posterior cerrada es:

$$p \mid s \sim \text{Beta}(a_0 + s, b_0 + n - s).$$

Con $n = 54$ y $s = 21$, se obtuvo $p \mid s \sim \text{Beta}(22, 34)$, con media posterior 0.393 e intervalo creíble (ICr) al 95% [0.270, 0.523]. La comparación gráfica prior vs posterior muestra cómo la evidencia empírica concentra la masa posterior alrededor de valores cercanos a 0.4, reduciendo la incertidumbre inicial del prior uniforme.

Pregunta 2: Diferencia de rating entre alta y baja criminalidad

Se estimó la diferencia $\Delta = \mu(\text{alta}) - \mu(\text{baja})$ mediante simulación posterior (a partir de estadísticos de grupo), enfocándose en inferencia probabilística del signo y magnitud:

$$\Delta = \mu_H - \mu_L.$$

El posterior arrojó $E[\Delta] \approx 0.085$ puntos de rating, ICr 95% [-0.112, 0.280] y probabilidad $\text{Pr}(\Delta > 0) \approx 0.805$. En términos interpretativos, la evidencia sugiere una tendencia leve hacia ratings mayores en zonas de alta criminalidad; sin embargo, el intervalo creíble incluye 0, por lo que el efecto es compatible con ausencia de diferencia y debe leerse como señal moderada, no como conclusión determinante.

Pregunta 3: Densidad de moteles por 100.000 habitantes (Gamma-Poisson)

Para comparar localidades controlando por tamaño poblacional, se modeló el conteo γ_j de moteles en la localidad j como:

$$\gamma_j \mid \lambda_j \sim \text{Poisson}(\lambda_j), \quad \lambda_j \sim \text{Gamma}(\alpha_0, \beta_0),$$

y se transformó a densidad por 100.000 habitantes. La estimación posterior (media) evidenció heterogeneidad territorial. En la muestra analizada destacan:

Localidad	# moteles	Densidad posterior (por 100k)
Antonio Nariño	11	4.65
Teusaquillo	10	3.36
Tunjuelito	6	2.12
Chapinero	5	1.92
Engativá	10	1.17
Kennedy	9	0.86
Usaquén	3	0.65

La visualización con intervalos creíbles al 95% permite comparar localidades incorporando incertidumbre: las localidades con menores conteos presentan intervalos más amplios, pero se mantiene la separación entre el grupo de alta densidad (p. ej., Antonio Nariño y Teusaquillo) y el de baja densidad (p. ej., Kennedy y Usaquén).

Visualizaciones exploratorias

Se incluyeron dos visualizaciones complementarias:

1. **Mapa interactivo (Leaflet):** puntos georreferenciados coloreados por éxito, útil para explorar concentración espacial y posibles clústeres.
2. **Dispersión rating vs reseñas (log10):** gráfico con cortes en la mediana para evidenciar la lógica de clasificación del éxito; muestra que reputación alta no implica necesariamente alta tracción y viceversa.

Modelo multivariado con Stan (regresión logística bayesiana)

Como extensión explicativa se ajustó un modelo logístico:

$$\text{éxito}_i \sim \text{Bernoulli}(p_i), \quad \text{logit}(p_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i},$$

donde $x_1 = \log(\text{población})$ estandarizada, $x_2 = \text{tasa_delitos}_{100k}$ estandarizada y $x_3 = \text{prop}_{20-39}$ estandarizada. Con $n = 54$, las medianas posteriores fueron: $\hat{\beta}_1 \approx -0.05$, $\hat{\beta}_2 \approx 0.11$, $\hat{\beta}_3 \approx -0.23$, y los ICs 95% de los predictores incluyeron 0, indicando ausencia de evidencia robusta de efecto distinto de cero bajo este conjunto de covariables. Las probabilidades de signo complementaron esta lectura: $\Pr(\beta_{\log_pob} > 0) = 0.449$, $\Pr(\beta_{\text{delitos}} > 0) = 0.619$ y $\Pr(\beta_{20-39} > 0) = 0.232$, lo que sugiere señales débiles (positiva moderada para delitos; inclinación negativa para 20-39), pero sin conclusiones firmes.

8. Conclusiones

El análisis de la red espacial de moteles en Bogotá permitió demostrar que, aun dentro de un servicio urbano socialmente sensible, la teoría de grafos ofrece herramientas robustas para describir patrones de organización, conectividad y estructura territorial. A partir de los datos obtenidos mediante la API de Google Places y aplicando un modelo de proximidad k-NN, fue posible caracterizar cómo se distribuyen estos establecimientos en el espacio urbano sin recurrir a información externa adicional.

Los resultados muestran que la red presenta una componente gigante bien definida, que concentra la mayor parte de los moteles y articula la conectividad global del sistema. La elección de $k = 6$ se confirmó como óptima para equilibrar conectividad y realismo espacial, permitiendo el cálculo estable de métricas como densidad, diámetro, ASP y centralidades. Las medidas de centralidad revelaron que los nodos más influyentes no coinciden necesariamente con los moteles con mayor popularidad, sino con aquellos que funcionan como puentes, organizando los flujos estructurales entre sectores urbanos. Asimismo, los altos niveles de clustering observados evidencian la presencia de microzonas

densas, donde la proximidad geográfica conduce a la formación de triángulos y estructuras altamente transitivas.

La detección de comunidades mostró una red segmentada en subzonas claras, coherentes con patrones de localización urbana, y una modularidad considerable que confirma agrupamientos internos bien definidos. El análisis de sensibilidad evidenció diferencias marcadas en la importancia estructural de ciertos nodos: mientras algunos moteles son críticos para mantener la conectividad global, otros desempeñan un rol más local y su ausencia no afecta la estructura general.

En conjunto, el estudio demuestra que los moteles conforman una red espacialmente coherente, con patrones de interacción determinados fundamentalmente por la proximidad geográfica. La organización interna observada, las comunidades detectadas y la resiliencia estructural del sistema confirman que las redes urbanas —incluso aquellas asociadas a actividades tabú— pueden analizarse con rigor científico mediante modelos de grafos, permitiendo extraer conclusiones útiles sobre su funcionamiento y estructura territorial. Este trabajo sienta una base sólida para futuras investigaciones que deseen ampliar el análisis incorporando temporalidad, segmentaciones urbanas o comparaciones con otros servicios de la ciudad.

En conjunto, el análisis bayesiano permite caracterizar el fenómeno desde una perspectiva probabilística e incorporar explícitamente la incertidumbre. Primero, la probabilidad posterior de éxito comercial se ubica alrededor de 0.39 (ICr 95%: 0.27–0.52), lo que indica que el éxito, bajo la definición operacional adoptada, es relativamente frecuente pero no predominante. Segundo, la comparación alta vs baja criminalidad sugiere una diferencia leve y probablemente positiva en rating ($E[\Delta] \approx 0.085$, $\Pr(\Delta > 0) \approx 0.81$), aunque compatible con cero al 95%. Tercero, la densidad por 100.000 habitantes evidencia heterogeneidad clara, destacando localidades como Antonio Nariño y Teusaquillo frente a localidades más pobladas con densidad relativa menor. Finalmente, el modelo multivariado con Stan no identifica asociaciones robustas entre éxito y las covariables incluidas, lo cual sugiere que el desempeño puede depender de factores adicionales no observados (p. ej. accesibilidad, centralidad, competencia local, precios, servicios) y refuerza el carácter exploratorio del estudio.