



**¿QUÉ TAN CONECTADA ESTÁ COLOMBIA EN TÉRMINOS DE VUELOS
COMERCIALES? UN ENFOQUE EN REDES.**

PRESENTADO POR:

DANIEL ALEJANDRO PALOMINO CASTRO

ISABELLE LÓPEZ HURTADO

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO:

CRISTIAN CAMILO HOYOS BERMEO

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS

PROGRAMA DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS INTERNACIONALES

SANTIAGO DE CALI

2019

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN:	3
2. OBJETIVOS	6
3. REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
<i>Revisión internacional</i>	7
<i>Revisión nacional</i>	9
4. METODOLOGÍA Y DATOS	10
<i>Datos</i>	10
<i>Metodología</i>	12
Medidas Locales	13
Medidas Globales	14
Otras Medidas	15
5. RESULTADOS	17
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
7. BIBLIOGRAFÍA	27
8. ANEXOS	29

RESUMEN:

La evolución de la conectividad aérea doméstica es fundamental para el crecimiento económico de Colombia y se requieren medidas que mejoren la comunicación aérea entre regiones. Así, en este documento se realiza un análisis de redes para evaluar la evolución de la conectividad aérea del país desde el año 2004 hasta el 2014. Se encuentra que el tráfico aéreo doméstico en Colombia ha mostrado un comportamiento que deja mucho que desear respecto a las expectativas que se tenían de este. Se mantiene un alto grado de centralidad para los mismos aeropuertos principales de la red (Bogotá, Medellín, Cali) y no se percibe un mayor grado de conexión entre regiones apartadas mediante las métricas de Excentricidad y Diámetro.

Palabras clave: Conectividad aérea, grafos, redes, Colombia.

ABSTRACT:

The evolution of domestic air connectivity is essential for the economic growth of Colombia. Also, measures that improve air communication between regions are required. A network analysis is carried out in this document to evaluate the evolution of the country's air connectivity from 2004 to 2014. The results show that domestic air traffic in Colombia has demonstrated a decreasing behavior that is different to the expectations that were predicted. A high degree of centrality is maintained for the same main airports of the network (Bogotá, Medellín, Cali) and a greater degree of air connections between remote regions is not perceived through the Eccentricity and Diameter metrics.

Key words: Air connectivity, graphs, networks, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN:

El tráfico aéreo alrededor del mundo ha crecido considerablemente en los últimos años. La Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) estima que este duplica su tamaño cada 15 años y lo volverá a hacer para el año 2030. De acuerdo con la OAG (una compañía británica de inteligencia en viajes aéreos) los aeropuertos de Singapore Changi (Singapur) y El Dorado International Airport (Colombia) son los dos mejor conectados de Asia-Pacífico y Suramérica. En Colombia, de acuerdo a un comunicado de la Prensa Aerocivil se están haciendo esfuerzos para el mejoramiento de la conectividad aérea entre regiones:

El mejoramiento de la conectividad aérea fortalece la competitividad y la economía del país. Con la apertura de nuevas rutas aéreas, Colombia se convierte en referente para el turismo y el comercio y, al mismo tiempo, cada vez más colombianos pueden tener acceso para llegar a sus destinos en las zonas más apartadas de nuestro territorio. Esto se traduce en mayor equidad para que podamos construir un país mejor (2019,) Ángela María Orozco¹.

Por otro lado, Oscar Diaz Olariaga y Andres Felipe Carvajal (2016) explican cómo en Colombia, a principios de la década de los 90, se da una liberalización del transporte aéreo que permite la modernización y expansión de la red aeroportuaria por casi toda la geografía colombiana². Estas políticas de liberación propiciaron un desarrollo dinámico y crecimiento

¹ Prensa Presidencia de la República de Colombia: <https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2019/190102-Gobierno-fortalece-conectividad-aerea-en-Colombia.aspx>

² Díaz Olariaga, O.; Carvajal, A. F. (2016). Efectos de la liberalización en la geografía del transporte aéreo... Cuadernos Geográficos 55(2), 344-364

en el tráfico de pasajeros aéreos a las diferentes regiones del país, generando así una estructura de red del transporte aéreo.

Según el Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), Colombia es el cuarto país en el mundo con mayor proyección de crecimiento del sector aéreo para los próximos 20 años, siendo superado únicamente por Vietnam, India e Irán (noviembre 2018). El sector aéreo es fundamental para el desarrollo económico, social y competitivo del país, por lo que el gobierno viene haciendo esfuerzos para dinamizar cada vez más la conectividad entre las diferentes regiones de Colombia, las cuales pueden estar muy apartadas por cuestiones geográficas. A continuación, se presenta un gráfico de la conectividad doméstica en Colombia para el año 2018:

Figura 1. Conexiones Aéreas en Colombia



TOMADO DE: http://clacsec.lima.icao.int/2019-EM/2_IATA/COL/2018esp.pdf

Los datos recolectados por la Asociación Nacional de Transporte Aéreo IATA en su paper *El Valor de la Aviación en Colombia (2018) sección Economics*, demuestran que la aviación en el país es un motor económico esencial que contribuye con más de 7500 millones de dólares

al PIB y genera 600.000 empleos en Colombia. Una buena conectividad aérea fomenta el turismo y fortalece el comercio; existe un gran potencial de crecimiento para la conectividad aérea doméstica, a lo que se han orientado grandes esfuerzos por parte del gobierno. Para esto se deben superar diversos retos que incluyen: mejorar la capacidad aeroportuaria, principalmente en el Aeropuerto El Dorado; transparencia en los proyectos aeroportuarios; reducir impuestos y cargos que encarecen el transporte aéreo; y reforzar el marco institucional.

La IATA (2018), realizó el pronóstico que, de no superar estos retos, manteniendo la actual carga impositiva y no desarrollando la infraestructura aeroportuaria, la demanda de pasajeros se duplicará en los próximos 20 años; mientras que, si se desarrollan los esfuerzos gubernamentales para mejorar la conectividad aérea, la demanda podría cuadruplicarse.

Permitiendo así un crecimiento económico de hasta US \$18.000 al PIB y 1 millón de empleos soportados por la aviación. En total, el 2,1% de la actividad económica de Colombia depende de la industria aérea y la actividad turística que permite el transporte aéreo.

Incluso se puede aumentar la productividad en toda la economía mejorando el transporte aéreo, dado que permite a las empresas aprovechar las economías de escala y reducir los costos unitarios, responder de mejor manera ante la competitividad internacional, mejorar la eficiencia y actuar como un estímulo para la innovación.

Guillaume Burghouwt y Renato Redondi (2013)³ definen la conectividad como el grado en que se encuentran conectados diferentes nodos en una red. Estas medidas de conectividad en

³ Guillaume Burghouwt and Renato Redondi. (January 2013). Journal of Transport Economics and Policy. Bath: University of Bath

el estudio actual del transporte aéreo pueden sufrir variaciones de acuerdo a los atributos del nodo que se quieran entrar a analizar (capacidad de sillas, PIB de la región del aeropuerto...).

La IATA considera 3 tipos de conectividad: Directa, Indirecta y Hub. La conectividad Directa refleja los servicios aéreos directos disponibles desde un aeropuerto. La conectividad Indirecta mide la cantidad de destinos a los que se puede volar, a través de vuelos de conexión en los aeropuertos 'hub' desde un aeropuerto particular. Finalmente, la conectividad Hub refleja la cantidad de vuelos de conexión que pueden ser facilitados por el aeropuerto teniendo en cuenta los tiempos mínimos y máximos de conexión.

Con este estudio de análisis de redes buscamos mostrar la evolución de la conectividad aérea de Colombia desde datos obtenidos de la Aeronáutica Civil y el DANE desde el 2004 hasta el 2014 respectivamente. Dada la falta de disponibilidad de datos iguales para todos los años se utilizará el mismo conjunto de ciudades en común para todas las bases de datos, junto con las cinco Áreas Metropolitanas de Colombia según el DANE, cuyos aeropuertos principales se encuentran disponibles en toda la información obtenida. Por otro lado, utilizaremos los siguientes indicadores: grado de centralidad, betweenness, closeness, puntaje de autoridad, distancia, excentricidad, diámetro, densidad, transitividad y reciprocidad para visualizar más ampliamente el comportamiento de las conexiones entre los diferentes nodos de la red.

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Medir la conectividad aérea comercial entre las diferentes regiones de Colombia por medio de un análisis de redes, desde el año 2004 hasta el año 2014.

Objetivos Específicos:

- Visualizar la evolución de la conectividad aérea por medio de grafos.
- Evaluar la evolución de la conectividad aérea doméstica en Colombia, mediante métricas usadas en el análisis de grafos.
- Identificar las regiones mejor conectadas, a través del uso de medidas de redes.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La revisión de literatura abarca primero los estudios desarrollados a nivel internacional y seguidamente las investigaciones de conectividad aérea por medio de análisis de redes para Colombia.

Revisión internacional

Bagler (2008) desarrolla un estudio para India por medio del análisis topológico, estructural y de centralidad del ANI ponderado y sin ponderar. El ANI ponderado se refiere a la fuerza de las conexiones en términos de número de vuelos por semana, y está representado por una matriz W , en la que cada elemento w_{ij} representa el número total de vuelos por semana del aeropuerto i al aeropuerto j . El ANI sin ponderar se refiere a la red de vuelos directos; cuenta con 79 nodos ($N=79$) y se representa por una matriz adyacente $A(n \times n)$ cuyos elementos a_{ij} toman valor 1 si hay un vuelo del aeropuerto i al aeropuerto j en cualquier día de la semana y 0 de lo contrario.

Se encuentra que el tráfico se acumula en grupos de aeropuertos que están interconectados y se concentra en los aeropuertos de mayor tamaño. India, a pesar de que cuenta con una red aeroportuaria pequeña en tamaño, tiene dinámicas que se asimilan en ciertos aspectos a las de

la red aeroportuaria mundial. Sin embargo, cuenta con ciertos comportamientos propios de un país en vía de desarrollo; como el hecho de que sus Hubs (centros) tienen gran cantidad de vecinos de bajo grado. La carencia de organización aeroportuaria se compensa por las dinámicas de transporte ya que el tráfico se concentra entre nodos de alto grado.

Para medir la conectividad de un nodo, algunos trabajos de autores como Gago (2003); Córdoba y Gago (2010) utilizan el coeficiente de conectividad. El coeficiente de conectividad (CK) es un cálculo simple que relaciona la conectividad real de un nodo (las relaciones reales de ese nodo) con la conectividad potencial (el número de nodos susceptibles de estar conectados con él, esto es, todos los nodos del sistema menos él mismo y aquellos que están demasiado cerca como para que se establezca una relación aérea con ellos). Puede entenderse como un simple porcentaje de forma que 100 quiere decir que hay conexión total y 50 que existe la mitad de las conexiones posibles.

Gago y Córdoba (2013) explican que en México como en Colombia, las redes domésticas siguen muy polarizadas por la centralidad geográfica de sus capitales, Ciudad de México (CK=89,7 para un total de 40 ciudades) y Bogotá (CK=86,9 para 24 ciudades). En ambos países, se observa además que la conectividad general de las principales ciudades del sistema urbano es muy alta.⁴ México ha permitido el incremento de su conectividad gracias a el basculamiento de la movilidad hacia el norte y un proceso de interrelación territorial creciente. La alta conectividad de Ciudad de México se puede explicar por su cercanía a los Hubs estadounidenses, polarizando así sus flujos hacia esta región.

⁴Gago García, Cándida; Córdoba Ordoñez, Juan Antonio. Sistemas urbanos en América Latina: Roles y advenimientos de nuevos centros desde la perspectiva del transporte aéreo

David A. Smith y Michael F. Timberlake (2001) en su trabajo *World City Networks and Hierarchies* examinan el sistema global mediante las relaciones y conexiones entre ciudades del mundo, y cómo estos patrones cambian con el tiempo. Los autores interpretan la información de flujos de pasajeros aéreos entre las mayores ciudades del mundo en 6 puntos en el tiempo (entre 1977 y 1997). Se centran en las características de la red, especialmente en las jerarquías de centralidad del mundo entero.

Aunque Nueva York, Tokio, París, Londres y otras grandes ciudades europeas y de Norteamérica lideran esta jerarquía a lo largo del periodo de tiempo estudiado, el comportamiento de las redes de otros lugares cambia considerablemente durante el tiempo. Concluyendo así que los patrones de urbanización global se caracterizan por la dinámica de desarrollo desigual anticipada por el análisis del sistema mundial.

Guimerà, Mossa, Turtschi & Amaral (2005) analizan la estructura de la red de transporte aéreo global. Una infraestructura crítica con un impacto enorme en las economías locales, nacionales e internacionales. Se encuentra que, en contraste con el modelo de redes sin escalas, las ciudades más conectadas no necesariamente son las más centrales (lo que lleva a valores anómalos de centralidad). Se demostró que estas anomalías surgen gracias a la estructura multicomunidad de la red.

Revisión nacional

No se han desarrollado estudios similares respecto a la conectividad aérea por análisis de redes en Colombia. Sin embargo, se recolectaron datos de Aerocivil para medir el comportamiento de las conexiones aéreas domésticas del país (2004-2018) y sus resultados se presentarán posteriormente en este documento.

En Colombia se ha evidenciado un crecimiento significativo de las ciudades importantes y sus periferias metropolitanas entre 2000 y 2010. Según Airports Council International (2011) Colombia se ubica en el puesto número 72 de aeropuertos con más pasajeros en Latinoamérica, con el Aeropuerto El Dorado en Bogotá. Mediante este estudio de análisis de redes se estudiará más a fondo el comportamiento de su conectividad doméstica.

4. METODOLOGÍA Y DATOS

Datos

La información para el desarrollo del proyecto fue obtenida de Aerocivil y mediante la depuración de las bases de datos obtenidas, se hace el análisis de grafos teniendo en cuenta las medidas presentadas a continuación en la metodología.

De los datos recolectados para el estudio, se decidió utilizar únicamente desde el 2004 hasta el 2014, ya que se evidencia un cambio en la metodología en la recolección de datos desde el 2015 el cual desconocemos.

Dentro de las bases de datos de Aerocivil se identificaban diferentes tipos de vuelos desde y hacia Colombia, así como nacionales; estos son R (operación regular), A (vuelos adicionales), C (vuelos chárteres) y T (taxi aéreo). De los cuatro anteriormente nombrados se tomaron R y A dado el carácter representativo real de las conexiones aéreas del país.

Los aeropuertos empleados para el estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1.

<u>Abreviación</u>	<u>Aeropuerto</u>
ACD	Aeropuerto Alcides Fernández, Acandí
ADZ	Aeropuerto Internacional Gustavo Rojas Pinilla, San Andrés
APO	Aeropuerto Antonio Roldán Betancourt, Apartadó

AXM	Aeropuerto Internacional El Edén, Armenia
BAQ	Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz, Barranquilla
BGA	Aeropuerto Internacional Palonegro, Bucaramanga
BOG	Aeropuerto Internacional El Dorado, Bogotá
CAQ	Aeropuerto Juan H. White, Cauca
CLO	Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón, Cali
CTG	Aeropuerto Internacional Rafael Núñez, Cartagena
CUC	Aeropuerto Internacional Camilo Daza, Cúcuta
CZU	Aeropuerto Las Brujas, Sincelejo
EBG	Aeropuerto El Tomín, El Bague
EJA	Aeropuerto Yariguíes, Barrancabermeja
EOH	Aeropuerto Olaya Herrera, Medellín
EYP	Aeropuerto El Alcaraván, Yopal
FLA	Aeropuerto Nacional Gustavo Artunduaga Paredes, Florencia
IBE	Aeropuerto Perales, Ibagué
LET	Aeropuerto Internacional General Alfredo Vásquez Cobo, Leticia
MDE	Aeropuerto José María Córdova, Rionegro
MTR	Aeropuerto Los Garzones, Montería
MZL	Aeropuerto Nacional La Nubia, Manizales
NVA	Aeropuerto Benito Salas, Neiva
PEI	Aeropuerto Internacional Matecaña, Pereira
PPN	Aeropuerto Guillermo León Valencia, Popayán
PSO	Aeropuerto Antonio Nariño, Pasto

RCH	Aeropuerto Internacional Almirante Padilla, Riohacha
SMR	Aeropuerto Internacional Simón Bolívar, Santa Marta
TCO	Aeropuerto Tumaco La Florida, Tumaco
UIB	Aeropuerto Álvaro Rey Zuñiga o Aeropuerto El Caraño, Quibdó
VUP	Aeropuerto Nacional Alfonso López Pumarejo, Valledupar
VVC	Aeropuerto Vanguardia, Villavicencio

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Número de Vuelos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Aeronáutica Civil Colombiana

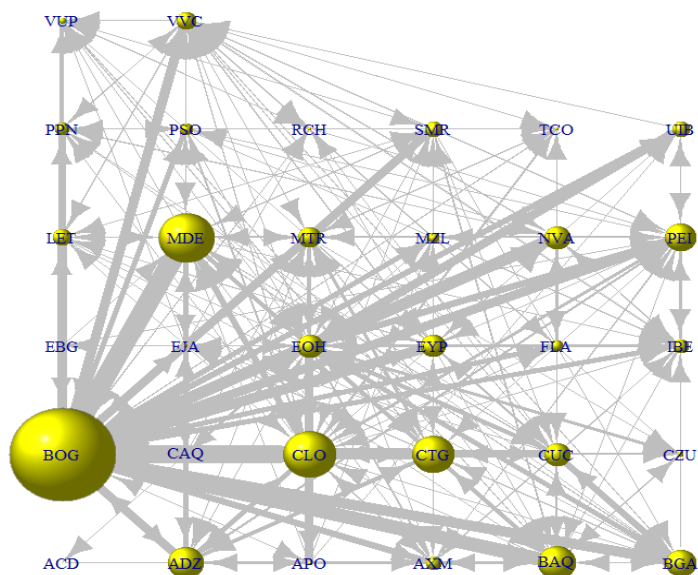
El promedio de los vuelos para todos los años alcanzó 217.725 vuelos y como se nota en la figura 1, han venido en aumento en el período de estudio.

Metodología

La metodología empleada es el análisis de redes, el cual ha venido en creciente uso por economistas, permite evaluar de manera simultánea las relaciones dentro de un grupo y las cualidades de cada miembro, permitiendo así visualizar la conectividad aérea por medio de

grafos y sacar conclusiones. Por medio de grafos dirigidos como el que se presenta a continuación, de conectividad aérea doméstica del año 2006 en Colombia, calculamos las medidas de centralidad, Betweenness, Closeness, puntaje de autoridad, distancia, diámetro y otras que fueron empleadas en este documento.

Figura 2.



Fuente: Elaboración propia.

Las métricas usadas siguen a Alonso & Carabali (2018), las cuales están divididas en medidas locales y globales, una breve descripción se presenta a continuación:

Medidas Locales

Cuando las redes van adquiriendo un mayor grado de complejidad, como es el caso de este paper que analiza un alto número de nodos que representan los principales aeropuertos del país, es importante realizar un análisis de centralidad que halle los nodos que son más importantes para la red. Por medio del análisis de centralidad se analiza la dependencia de la red en determinados aeropuertos; dado el volumen de los nodos en la Figura 1 se puede apreciar que, para el año 2006 en Colombia, los aeropuertos de Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y Barranquilla son los más influyentes.

Por medio de métricas locales se analiza la influencia de un aeropuerto sobre los que le resultan más cercanos, se analiza el grado de centralidad y Betweenness. Para obtener el Grado de Centralidad se cuenta el número de enlaces relacionados con cada nodo; los aeropuertos que destacan son los que cuentan con subredes más amplias.

En la medida de Betweenness se cuantifica la cantidad de veces que un aeropuerto actúa como puente entre 2 nodos. Entre mayor sea el Betweenness, mayor será la centralidad del nodo. Se entra a analizar los aeropuertos que tienen mayor propensión a actuar como puente entre los nodos de la red, así como los que se encuentran menos relacionados y tienen menor Betweenness.

Para calcular el Betweenness se debe contar el número de rutas que unen 2 aeropuertos i y j ; hallar la cantidad de rutas que pasan por un tercer nodo v y sumar todas las proporciones obtenidas.

$$Betweenness(v) = \sum_{i \neq v \in V} \sum_{j \neq v \in V} \delta_{ij}$$

$$\text{donde } \delta_{ij}(v) = \frac{\sigma_{ij}(v)}{\sigma_{ij}}$$

Medidas Globales

Al analizar las medidas globales se tiene en cuenta la totalidad de la red aeroportuaria. Se permite identificar aquellos aeropuertos que se encuentran mejor ubicados para influir en toda la red de manera más rápida. Se analizan las medidas globales de centralidad de Closeness y Puntaje de autoridad.

La medida de Closeness calcula las rutas más cortas entre aeropuertos y asigna una puntuación a cada uno en función de sus rutas. Mide cuánto tarda en llegar un vuelo de un nodo a otro. En su cálculo, $dist(v, i)$ denota la distancia del aeropuerto v al aeropuerto i . Esta medida se va a encontrar entre 0 y 1; entre más cercana se encuentre a 1, mayor será la centralidad del nodo.

$$Closeness (v) = \frac{1}{\sum_{i \in V} dist (v, i)}$$

El Puntaje de Autoridad, por otro lado, mide la importancia relativa de cada aeropuerto; es el respectivo elemento del vector propio principal de la matriz ATA, donde A es la matriz de adyacencia. El aeropuerto que reciba el puntaje igual a 1 será el más importante de la red.

Otras Medidas

Con el fin de detectar otros nodos importantes, se utilizan otras diversas medidas. La medida de Distancia mide la cantidad de vuelos en la ruta más corta que conecta un aeropuerto con otro. Esta medida se calcula para cada una de las posibles parejas de nodos, como es una red extensa, se presenta el promedio de las distancias en vez de cada una de las distancias. La distancia entre los aeropuertos i y j está dada por la ruta de menor longitud que los une, es decir:

$$dist(i, j) = \min[Longitud (i, j)]$$

La Excentricidad es la medida que refleja la distancia entre un aeropuerto particular i al más lejano j :

$$Excentricidad (i) = \max[dist (i, j)], \forall j$$

El Diámetro mide la máxima excentricidad. El diámetro en este estudio va a reflejar el número de vuelos que requieren los 2 aeropuertos más alejados de la red para conectarse entre sí:

$$\text{Diámetro} = \max[\text{Excentricidad}(i)], \forall i$$

La Densidad hace referencia a la proporción de aeropuertos conectados a la red sobre todos los posibles. si esta medida es igual a 1, entonces el grafo es totalmente conexo (todos los aeropuertos se encuentran conectados directamente entre sí). n va a representar el número total de nodos y E el número de pares conectados:

$$D = \frac{E}{\frac{1}{2}n(n-1)}$$

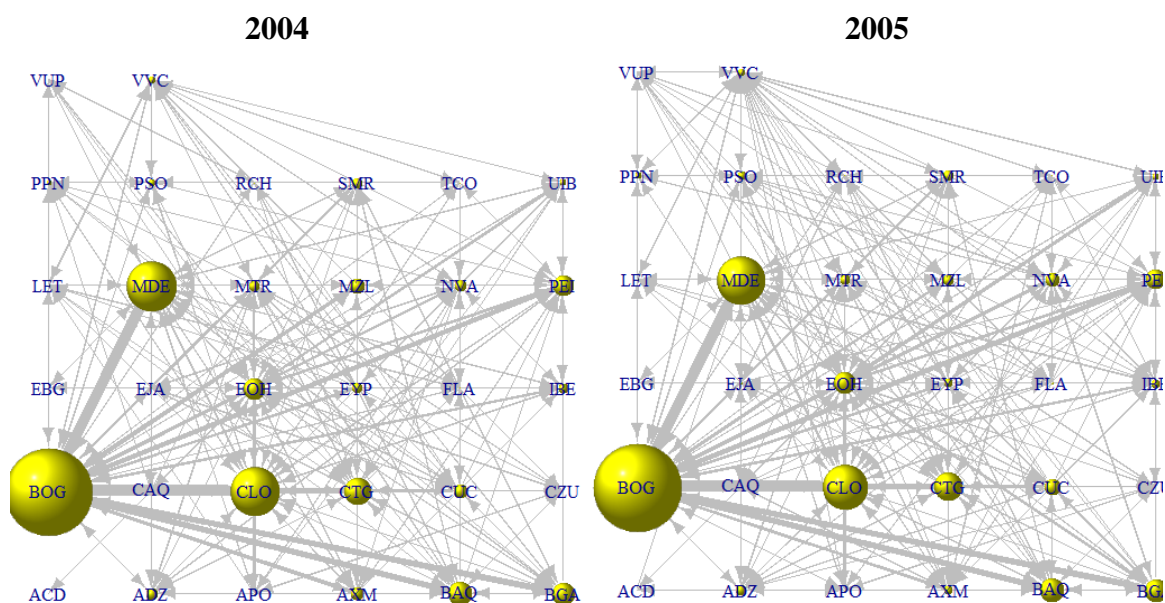
La Transitividad es una medida que calcula la incidencia de pequeñas subredes de 3 aeropuertos totalmente conexos. Λ es el número de triadas transitivas y Δ es el número de potenciales triadas transitivas.

$$T = \frac{\Lambda}{\Delta}$$

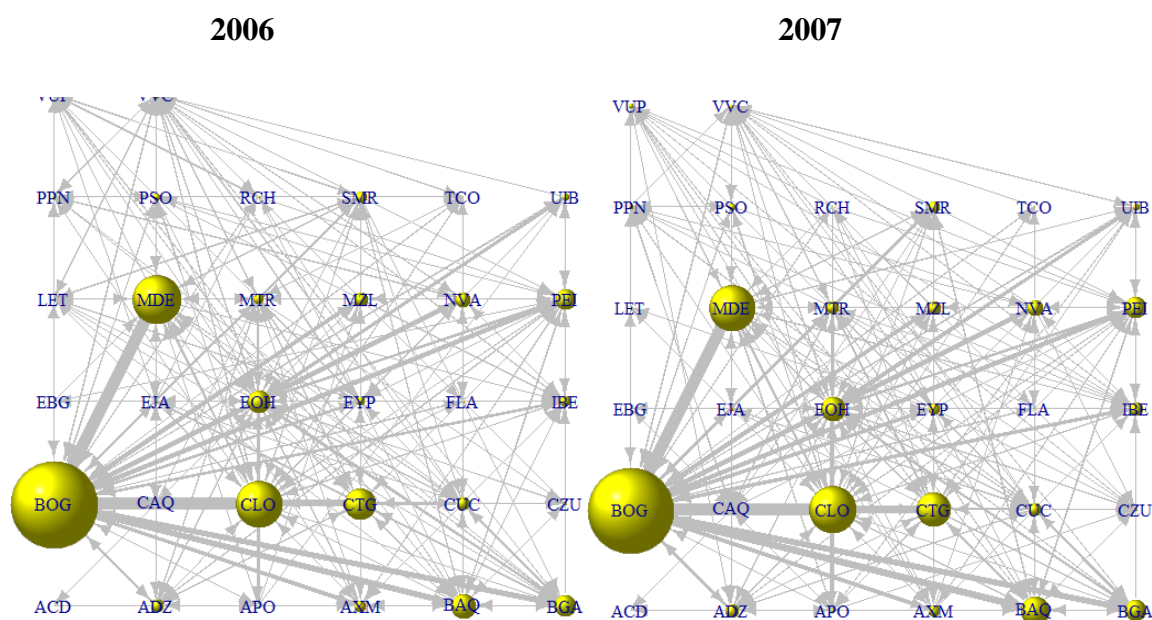
Finalmente se analizarán los grafos con la medida de Reciprocidad, que analiza la probabilidad de que la conexión entre dos aeropuertos pueda ser tanto de ida i a j , como de vuelta j a i . Si esta medida arroja un valor mayor a cero, es posible que la conexión entre 2 aeropuertos sea recíproca.

5. RESULTADOS

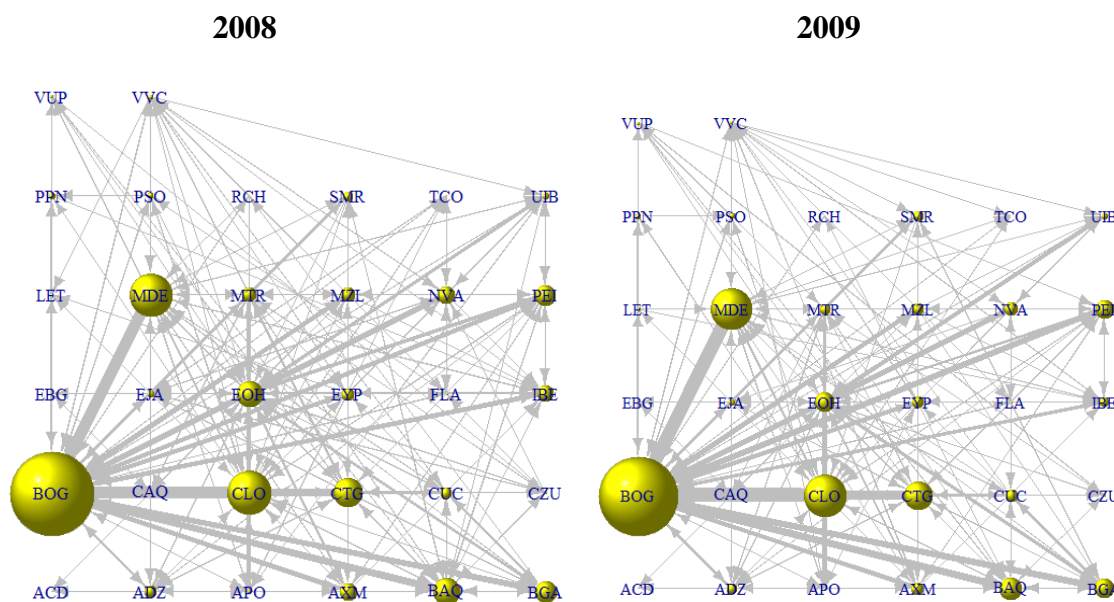
A continuación, se presentan los grafos obtenidos, para cada año. A priori podemos observar el alto puntaje de autoridad de Bogotá, y la relevancia de conexiones con Cali y Medellín, que se ve reflejado en las métricas calculadas.



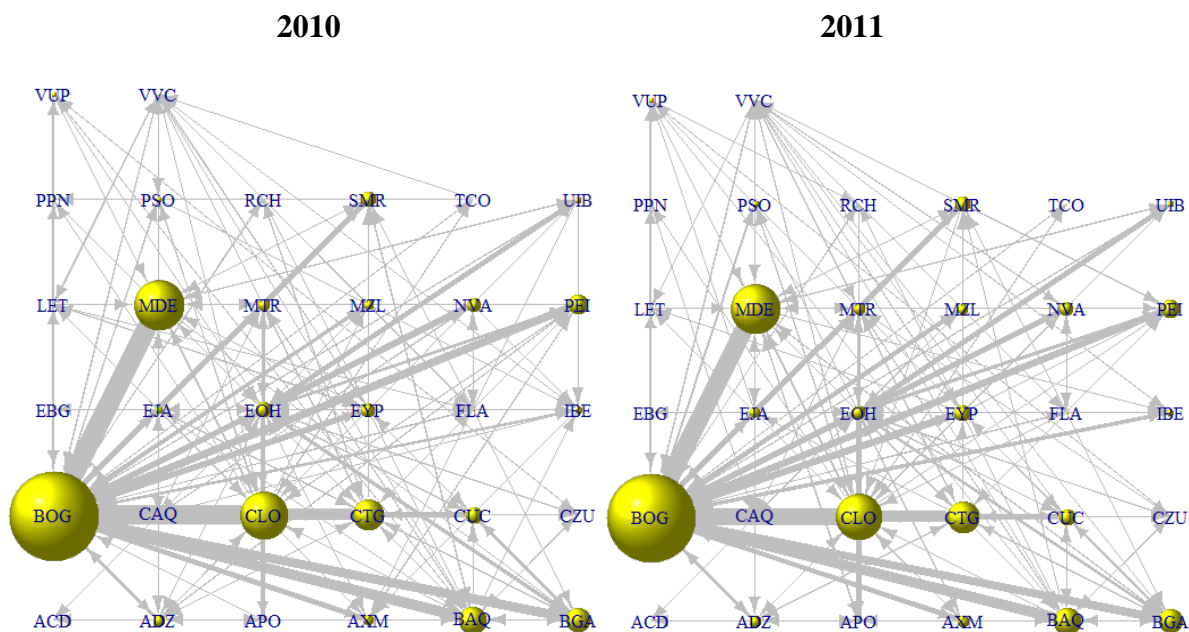
Fuente: Elaboración Propia



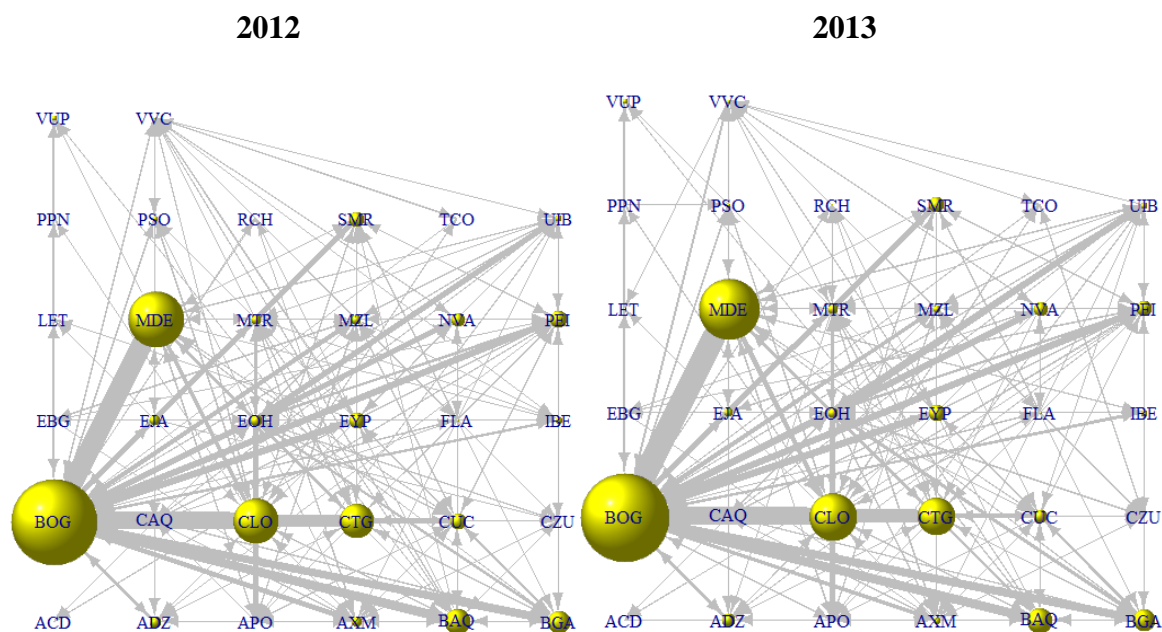
Fuente: Elaboración Propia



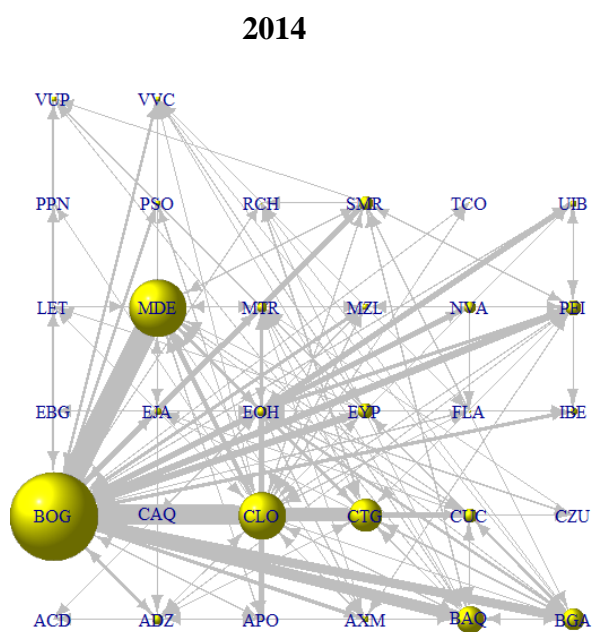
Fuente: Elaboración Propia



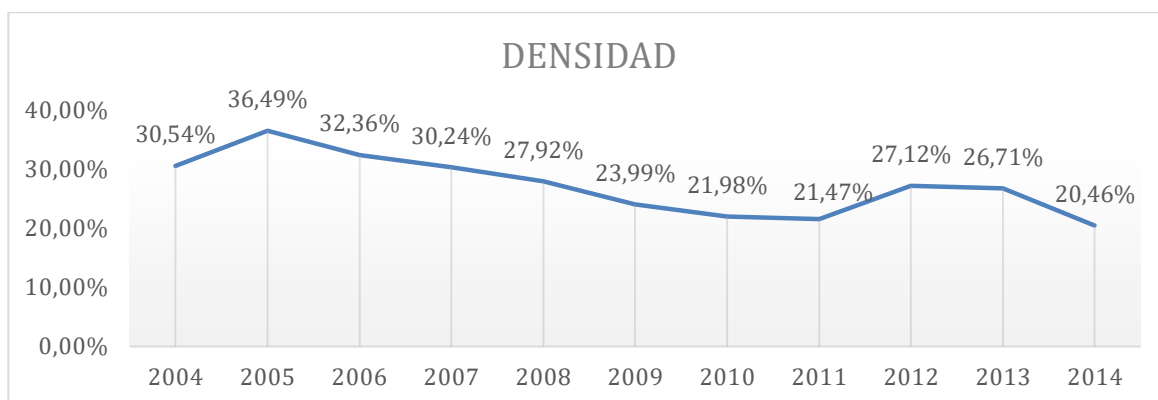
Fuente: Elaboración Propia



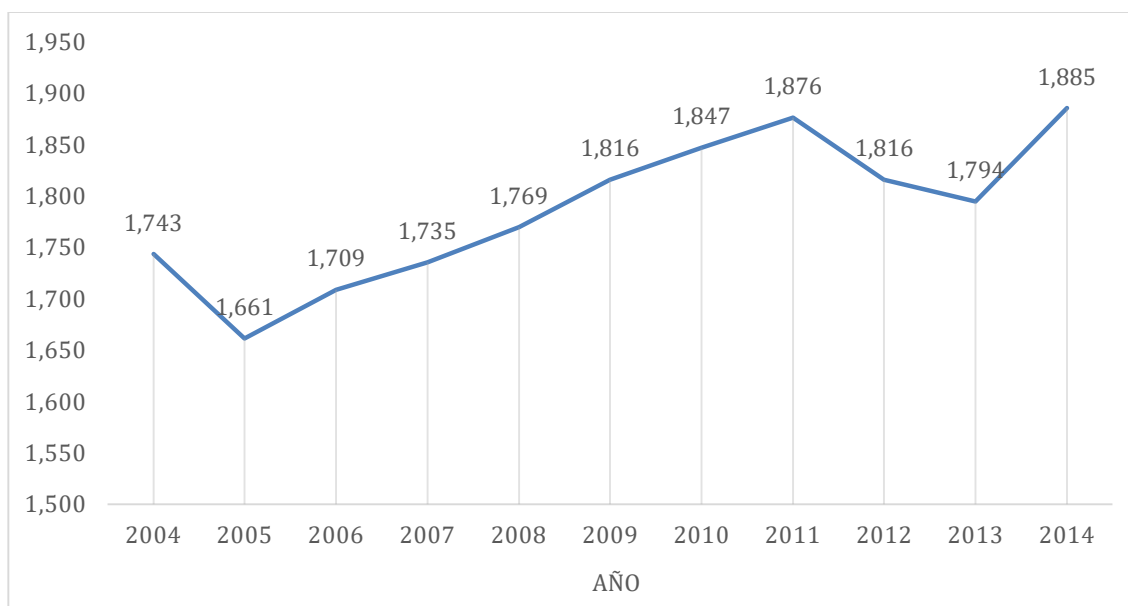
Fuente: Elaboración Propia



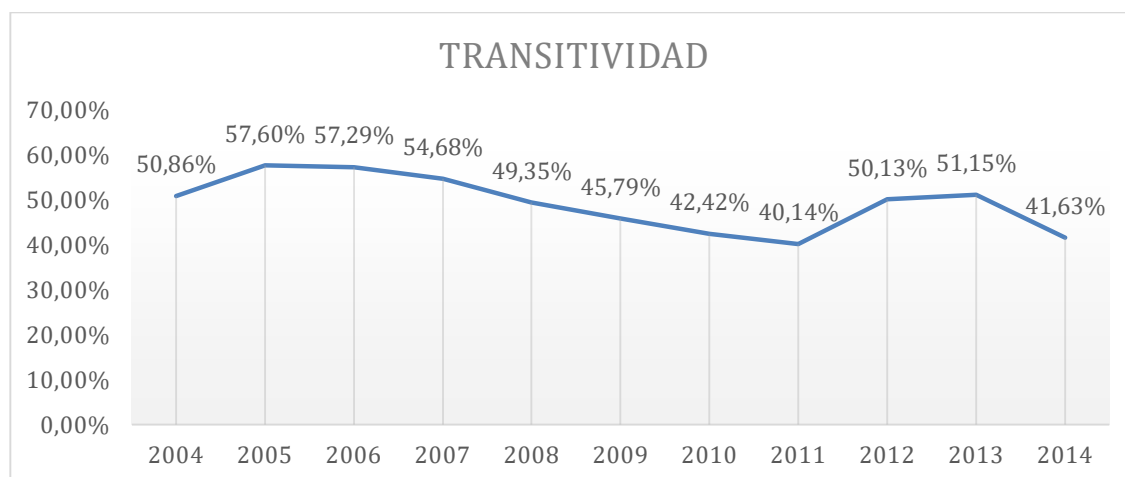
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3. Densidad

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Distancia

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Transitividad

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Reciprocidad

Fuente: Elaboración propia

MEDIDAS GLOBALES

1. La densidad para el año 2004 fue de un 30,5% con tendencia creciente hasta el año 2005, donde empezó una tendencia decreciente alcanzando su punto más bajo en los años consecutivos de disminución en el 2011 (21,5%) antes de volver a crecer;

finalmente, en el año 2014 se alcanzó su punto mínimo de 20,5%. Con dicha medida analizamos que entre todas las conexiones que pueden existir entre dos nodos, tan solo 20,5% estaban conectados en el año 2014 el cual es nuestro último año de análisis, representando una baja conectividad aérea entre las ciudades tomadas en Colombia.

2. La transitividad entre los años 2004 y 2011 solamente presentó un periodo de crecimiento entre el 2004 y el 2005, a partir del 2005 la tendencia fue decreciente cuando entre el 2011 y el 2013 creció, y finalmente para el 2014 se presentó un decrecimiento con el segundo punto más bajo en todos los años estudiados (41,6%). Esta medida nos indica la proporción de ocurrencias de triadas transitivas, la cual fue 41,6% en el 2014, lo que explica las posibles triadas de tres ciudades (aeropuertos) que se pudieran conectar entre sí.
3. La distancia nos explica en promedio cuántas conexiones se necesitan para unir dos aeropuertos diferentes, en el 2014 nos indicó 1,88 lo que implica que aproximadamente se necesitan dos conexiones para conectar a un par de ciudades. Esta medida mostró un decrecimiento entre los años 2004 y 2005 alcanzando el punto más bajo del periodo estudiado (1,66) y entre el 2005 al 2011 un crecimiento constante, donde posteriormente se presentó un periodo de decrecimiento entre el 2011 y el 2013. Finalmente, creció entre el año 2013 y 2014 presentando el pico más alto del periodo estudiado (1,88).
4. La reciprocidad indica cuál es la probabilidad de que si dos aeropuertos están conectados existan conexiones tanto de ida, como de regreso. Para el año 2014 obtuvimos una probabilidad del 87,7% lo que explica que, si existen vuelos de una ciudad x a una ciudad y , es casi seguro que exista un vuelo de la ciudad y a la ciudad

x. Estos resultados presentaron un periodo de decrecimiento entre los años 2004 y 2006, y entre 2009 y 2010, donde en el año 2006 alcanzó el pico más bajo del estudio, posteriormente entre el 2006 y el 2009 presentó un periodo de crecimiento constante, seguido por otro periodo igual entre el 2010 y el 2014, el punto más alto fue el del año 2014 con una probabilidad del 87,7%.

MEDIDAS INDIVIDUALES

1. El Puntaje de Autoridad nos dirá la importancia de los aeropuertos, lo que indica que entre más cerca de 1 más importante es este en la red. Los aeropuertos de Cali (CLO) y Rionegro (MDE) tuvieron un puntaje superior a 0,5 en todo el periodo analizado los cuales son los más altos después del aeropuerto de Bogotá (BOG) el cual mantuvo un puntaje igual a 1 en todos los años. El aeropuerto de Rionegro (MDE) tuvo un crecimiento significativo con respecto al de Cali (CLO) desde el 2004 hasta el 2014 (CLO tuvo un leve decrecimiento). De igual manera nos muestra que el aeropuerto más importante en todo el periodo analizado (2004-2014) siempre fue el aeropuerto de Bogotá (BOG), ya que este siempre recibe el puntaje de 1. Se puede observar que algunos aeropuertos aumentaron su nivel de importancia en la red como, otros disminuyeron la misma.
2. El grado de centralidad cuenta cuántos enlaces relacionados existen con cada uno de los nodos, es por esto que los aeropuertos que cuentan con subredes más amplias tendrán un mayor porcentaje en el grado de centralidad, en general los aeropuertos de Bogotá (BOG), Cali (CLO), Medellín (EOH) y Rionegro (MDE) se mantuvieron en un nivel de centralidad similar durante el periodo analizado, aunque hubo periodos de crecimiento y decrecimiento. Se observa que los únicos aeropuertos que empezaron en el 2004 con un puntaje menor que en el 2014 fueron el aeropuerto de Bogotá

(BOG) y el aeropuerto de Acandí (ACD), de igual manera se podría indicar que el aeropuerto de Bogotá sigue siendo el aeropuerto con mayor influencia con respecto a los demás. Por otro lado, los aeropuertos menos conectados para el año 2004 fueron Acandí (ACD), Caucasia (CAQ) y El Bagre (EBG), para el 2014 fueron Caucasia (CAQ), El Bagre (EBG), Neiva (NVA) y Popayán (PPN) (ambos con un grado de centralidad de 3).

3. Para la medida de Closeness se percibe una tendencia decreciente de esta medida para los años comprendidos entre el 2004 y el 2014 donde sus puntos más bajos son para los años 2010, 2011 y 2014. Los años de mayor magnitud en esta medida son los iniciales (2004, 2005, 2006 y 2007). Esta medida demuestra una baja centralidad de los nodos de la red. En este caso, los aeropuertos con los resultados más altos, con índice más cercano a 1 son: VVC (Aeropuerto Vanguardia), RCH (Aeropuerto Internacional Almirante Padilla) y MDE (El Aeropuerto Internacional José María Córdova); lo que significa que son los nodos con mayor grado de centralidad. Los aeropuertos con resultados más bajos son: CAQ (Aeropuerto Juan H. White), EBG (Aeropuerto El Tomín), MTR (Aeropuerto Internacional Los Garzones) y TCO (El aeropuerto La Florida).
4. En la medida de Excentricidad se observa uniformidad en la mayoría de aeropuertos con ciertas excepciones para aeropuertos que cuentan con un mayor índice de excentricidad (lo que representa una mayor distancia entre un aeropuerto particular i al más lejano j). Estos son: Acandí (ACD), Caucasia (CAQ), El Bagre (EBG), Florencia (FLA), Popayán (PPN), Riohacha (RCH), Tumaco (TCO) y Villavicencio (VVC). Para los demás, la distancia de un aeropuerto particular al más lejano es casi que uniforme y más baja.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por medio del análisis de redes se evaluó el desempeño de la conectividad aérea en Colombia para los años comprendidos entre 2004 y 2014. Se calculan medidas locales (centralidad y Betweenness) globales (Closeness y puntaje de autoridad) y otras ya aludidas a lo largo de este documento para finalmente llegar a conclusiones acerca del comportamiento y evolución de la red, todo esto con el fin de mostrar si la conectividad aérea en Colombia ha mejorado o en su defecto ha desmejorado.

Como se observa en los resultados, se evidencia que la conectividad aérea no ha mejorado entre los aeropuertos analizados, puesto que métricas como la densidad ha presentado niveles inferiores en los últimos años de estudio, de igual manera el puntaje de autoridad ha mostrado una mayor concentración en algunos centros y una alta disminución de conectividad aérea en algunas zonas periféricas del país. Esto lo apoya la distancia promedio que ha aumentado durante el período de análisis indicando un leve aumento en el número de conexiones necesarias para unir dos aeropuertos.

Por otro lado, medidas como Closeness que buscan calcular las rutas más cortas entre dos aeropuertos, nos muestra que a lo largo del tiempo bajó la centralidad de los nodos en la red. Lo anterior evidencia una disminución en la cantidad de subredes, e indica una necesidad mayor de conexiones entre diferentes aeropuertos que representan.

La conectividad aérea doméstica en Colombia desde el año 2004 hasta el año 2014 presentó un retroceso en su comportamiento; los aeropuertos de regiones más apartadas representaron puntos más bajos con respecto al año inicial en su mayoría, y los aeropuertos de regiones céntricas representaron en muchos casos una mejoría en su comportamiento o un comportamiento constante. Todo esto finalmente demuestra una disminución en la conectividad aérea ya que el desempeño no es uniforme en todo el territorio (unos mejoran y otros empeoran).

Después del estudio realizado, encontramos que el uso de estas herramientas en la economía sirve para analizar el desempeño de diferentes actividades tanto del sector público como del privado. Por otro lado, siguiendo el lineamiento del estudio realizado, la implementación de estas herramientas como base para crear políticas públicas debería ser tenido en cuenta, ya que se observó una tendencia en el desempeño de la conectividad aérea en Colombia

7. BIBLIOGRAFÍA

Aerocivil. (2 de Enero de 2019). Gobierno fortalece conectividad aérea en Colombia. *Prensa Aerocivil*, pág. 1.

C, J. C., & Carabali M, J. A. (2019). *Breve tutorial para visualizar y calcular métricas de Redes (Grafos) en R para Economistas*. Cali: Departamento de Economía Universidad Icesi.

Candida, G. G., & Córdoba Ordoñez, J. A. (2013). *Sistemas urbanos en América Latina: Roles y advenimientos de nuevos centros desde la perspectiva del transporte aéreo*. UCM.

Guimera , S., Mossa, A., & Amaral, L. (2005). *The Worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities global roles*. CA: University of California.

IATA. (2017). *El valor de la Aviación en Colombia*. Colombia.

Olariaga, O. D., & Carvajal, A. F. (2016). *Efectos de la Liberación en la geografía del transporte aéreo colombiano*. Creative Commons.

SMITH, D. A., & TIMBERLAKE, M. F. (2001). *World City Networks and Hierarchies, 1977-1997: An Empirical Analysis of Global Air Travel Links*. USA: Sage Journal.

ZANIN, M., & LILLO, F. (2012). *Modelling the air transport with complex networks: A short review*. Madrid, Lisboa, Palermo: The European Physical Journal.

8. ANEXOS

Puntaje de Autoridad											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ACD	0,0004	0,0000	0,0003	0,0014	0,0014	0,0014	0,0007	0,0009	0,0008	0,0012	0,0015
ADZ	0,1353	0,1254	0,1653	0,1455	0,1455	0,1420	0,1362	0,1395	0,1374	0,1461	0,1249
APO	0,0416	0,0370	0,0440	0,0465	0,0465	0,0420	0,0227	0,0237	0,0200	0,0174	0,0202
AXM	0,1476	0,1043	0,1342	0,2066	0,2066	0,1672	0,1304	0,1400	0,1293	0,0854	0,0788
BAQ	0,2692	0,2688	0,3362	0,3183	0,3183	0,2905	0,3139	0,3061	0,2977	0,2909	0,3101
BGA	0,2620	0,2601	0,2463	0,2549	0,2549	0,2518	0,2779	0,2743	0,2572	0,2450	0,2454
BOG	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
CAQ	0,0208	0,0158	0,0209	0,0171	0,0171	0,0128	0,0077	0,0075	0,0061	0,0042	0,0039
CLO	0,5550	0,5136	0,5409	0,5231	0,5231	0,5322	0,5338	0,5165	0,5206	0,5337	0,5313
CTG	0,3138	0,3171	0,3927	0,3467	0,3467	0,3603	0,3517	0,3592	0,4019	0,4187	0,3763
CUC	0,1579	0,1803	0,1470	0,1404	0,1404	0,1591	0,1837	0,1826	0,1820	0,1445	0,1590
CZU	0,0057	0,0164	0,0336	0,0340	0,0340	0,0316	0,0226	0,0220	0,0169	0,0102	0,0119
EBG	0,0097	0,0077	0,0072	0,0064	0,0064	0,0042	0,0026	0,0026	0,0022	0,0015	0,0016
EJA	0,0237	0,0376	0,0535	0,0865	0,0865	0,0867	0,0812	0,1274	0,1195	0,1013	0,0924
EOH	0,2522	0,2451	0,2906	0,3065	0,3065	0,2475	0,1753	0,1511	0,1364	0,1111	0,1135
EYP	0,1211	0,0987	0,1374	0,1543	0,1543	0,1472	0,1661	0,1920	0,1873	0,1821	0,1690
FLA	0,0275	0,0378	0,0228	0,0335	0,0335	0,0352	0,0377	0,0393	0,0378	0,0360	0,0336
IBE	0,1103	0,1049	0,1617	0,1941	0,1941	0,1247	0,0862	0,0930	0,0840	0,0789	0,0825
LET	0,0382	0,0412	0,0378	0,0403	0,0403	0,0455	0,0374	0,0433	0,0404	0,0381	0,0429
MDE	0,5776	0,5504	0,5371	0,5152	0,5152	0,5192	0,5643	0,5655	0,6411	0,6852	0,6516
MTR	0,1305	0,1067	0,1470	0,1687	0,1687	0,1360	0,1317	0,1319	0,1104	0,1163	0,1175
MZL	0,1765	0,1286	0,1615	0,1734	0,1734	0,1479	0,1129	0,1261	0,1164	0,0907	0,0746
NVA	0,1329	0,1635	0,1832	0,2141	0,2141	0,1737	0,1600	0,1647	0,1613	0,1616	0,1377
PEI	0,2339	0,2212	0,2426	0,2520	0,2520	0,2304	0,2183	0,2130	0,1937	0,1736	0,1795
PPN	0,0597	0,0695	0,0642	0,0865	0,0865	0,0793	0,0538	0,0396	0,0404	0,0359	0,0329
PSO	0,0913	0,0933	0,0884	0,0728	0,0728	0,0690	0,0659	0,0692	0,0605	0,0548	0,0570
RCH	0,0283	0,0217	0,0219	0,0194	0,0194	0,0179	0,0150	0,0156	0,0149	0,0219	0,0257
SMR	0,1288	0,1202	0,1356	0,1287	0,1287	0,1392	0,1689	0,1690	0,1745	0,1731	0,1649
TCO	0,0271	0,0248	0,0215	0,0202	0,0202	0,0175	0,0170	0,0211	0,0145	0,0140	0,0198
UIB	0,0711	0,0789	0,0811	0,0866	0,0866	0,0871	0,0766	0,0731	0,0744	0,0769	0,0750
VUP	0,0100	0,0115	0,0570	0,0474	0,0474	0,0499	0,0638	0,0654	0,0643	0,0591	0,0570
VVC	0,0856	0,0847	0,0539	0,0577	0,0577	0,0461	0,0381	0,0308	0,0342	0,0541	0,0607

Centralidad											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ACD	2	5	3	4	4	4	4	4	4	7	4
ADZ	20	22	20	19	16	17	14	12	11	15	14
APO	12	15	9	16	15	12	5	7	19	18	10
AXM	15	23	17	14	16	14	9	8	21	20	10
BAQ	27	28	28	28	28	25	26	22	27	20	24

BGA	25	22	26	21	17	17	17	22	27	28	22
BOG	54	58	58	55	56	56	55	54	53	56	56
CAQ	6	19	9	15	7	5	8	7	17	13	2
CLO	33	35	34	36	37	26	26	33	29	27	31
CTG	31	28	28	28	25	25	27	19	22	22	19
CUC	24	20	26	25	16	13	11	14	24	22	11
CZU	14	13	10	14	15	9	9	9	15	14	5
EBG	4	4	4	4	4	4	2	2	6	6	2
EJA	10	20	14	7	14	7	12	8	5	7	6
EOH	45	47	44	47	44	42	40	32	33	33	32
EYP	10	19	20	11	15	10	12	13	13	6	9
FLA	13	16	9	6	11	9	8	7	7	8	7
IBE	14	24	21	21	19	16	12	7	8	6	5
LET	13	12	15	5	6	6	10	7	5	4	6
MDE	39	43	33	33	37	33	24	27	27	31	27
MTR	23	26	23	18	19	16	11	18	24	25	14
MZL	10	13	11	10	12	12	6	4	21	20	8
NVA	24	24	15	19	17	10	7	7	9	10	3
PEI	26	29	31	30	22	19	13	12	29	29	20
PPN	15	13	13	14	5	5	5	4	3	5	3
PSO	12	16	13	9	7	5	7	5	9	6	4
RCH	9	17	9	10	6	4	5	5	4	7	7
SMR	15	17	22	14	10	9	9	9	12	11	14
TCO	14	20	14	6	9	6	6	4	5	7	4
UIB	14	21	11	16	16	11	10	8	21	23	8
VUP	10	16	15	19	10	11	8	9	5	6	7
VVC	23	39	37	26	19	18	18	27	23	18	12

Closeness											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ACD	0,001078	0,011765	0,004785	0,005618	0,002415	0,002278	0,000644	0,000418	0,007042	0,003546	0,000403
ADZ	0,008547	0,011765	0,011494	0,010870	0,006494	0,008772	0,001422	0,000414	0,007042	0,003953	0,000411
APO	0,008264	0,013158	0,010638	0,011111	0,008772	0,009174	0,001531	0,000452	0,008264	0,003831	0,000408
AXM	0,009804	0,013699	0,013889	0,010870	0,007813	0,010204	0,001845	0,000455	0,010417	0,003876	0,000413
BAQ	0,008850	0,012048	0,010309	0,010526	0,007143	0,007576	0,001946	0,000458	0,009174	0,002778	0,000407
BGA	0,007634	0,012346	0,014085	0,013158	0,008333	0,006494	0,001848	0,000454	0,009434	0,003937	0,000414
BOG	0,003922	0,009434	0,008065	0,008333	0,001984	0,004348	0,001600	0,000084	0,005025	0,002874	0,000151
CAQ	0,007752	0,011905	0,010526	0,014286	0,007874	0,007692	0,001890	0,000458	0,009259	0,003571	0,000031
CLO	0,009346	0,011765	0,012500	0,012346	0,009346	0,007752	0,001953	0,000459	0,009091	0,003937	0,000415
CTG	0,009709	0,012346	0,012500	0,011111	0,007692	0,008130	0,001972	0,000457	0,010989	0,003663	0,000407
CUC	0,010000	0,014085	0,014706	0,011364	0,008696	0,009615	0,001842	0,000460	0,007576	0,003497	0,000405
CZU	0,008696	0,012048	0,012987	0,013158	0,009091	0,005208	0,001862	0,000448	0,010638	0,003571	0,000403
EBG	0,007353	0,004049	0,009346	0,007692	0,005319	0,006250	0,000083	0,000059	0,006579	0,003311	0,000070
EJA	0,006849	0,013333	0,012500	0,011236	0,008264	0,007042	0,001931	0,000456	0,008065	0,003876	0,000410

EOH	0,008475	0,012048	0,010000	0,013333	0,008850	0,007692	0,001908	0,000194	0,009434	0,003333	0,000405
EYP	0,008772	0,014085	0,014706	0,010417	0,008264	0,008621	0,001949	0,000457	0,009615	0,001684	0,000408
FLA	0,008547	0,014085	0,012195	0,008772	0,008621	0,008929	0,001776	0,000454	0,007246	0,003030	0,000410
IBE	0,007692	0,014085	0,012821	0,012195	0,007874	0,010638	0,001908	0,000455	0,011236	0,003731	0,000404
LET	0,008696	0,012048	0,013699	0,005814	0,007752	0,010000	0,001835	0,000456	0,004348	0,003759	0,000406
MDE	0,009434	0,014925	0,012987	0,010309	0,009259	0,010989	0,001894	0,000458	0,007092	0,004184	0,000412
MTR	0,008000	0,013889	0,014706	0,011494	0,009346	0,009804	0,001848	0,000459	0,009434	0,003704	0,000408
MZL	0,008333	0,013514	0,010753	0,010638	0,008621	0,008130	0,001898	0,000045	0,010753	0,003968	0,000412
NVA	0,010526	0,013158	0,013333	0,014085	0,010000	0,008929	0,001818	0,000459	0,007937	0,003984	0,000391
PEI	0,008197	0,012346	0,013158	0,013699	0,002114	0,008929	0,001859	0,000457	0,008850	0,004065	0,000409
PPN	0,009091	0,011905	0,010309	0,011765	0,006803	0,006369	0,001852	0,000453	0,007143	0,003676	0,000302
PSO	0,009009	0,012658	0,013158	0,012195	0,007634	0,004525	0,001862	0,000449	0,010989	0,003509	0,000079
RCH	0,008929	0,015385	0,012195	0,011765	0,008772	0,005181	0,001866	0,000456	0,008197	0,003300	0,000411
SMR	0,007519	0,012500	0,013514	0,012346	0,005952	0,008696	0,001916	0,000457	0,008696	0,003300	0,000402
TCO	0,006757	0,011494	0,011765	0,008772	0,007042	0,009091	0,001838	0,000069	0,005917	0,003484	0,000096
UIB	0,008772	0,012987	0,010309	0,011364	0,008333	0,008403	0,001828	0,000446	0,009901	0,003247	0,000144
VUP	0,008333	0,012821	0,012346	0,012658	0,008264	0,008850	0,001770	0,000458	0,005848	0,000237	0,000397
VVC	0,009434	0,017544	0,016129	0,015873	0,008547	0,010417	0,002008	0,000461	0,012195	0,003788	0,000413

Excentricidad											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ACD	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ADZ	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3
APO	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
AXM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BAQ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BGA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BOG	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CAQ	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
CLO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
CTG	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
CUC	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CZU	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
EBG	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
EJA	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3
EOH	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
EYP	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
FLA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
IBE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LET	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MDE	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
MTR	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MZL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NVA	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3

PEI	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PPN	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
PSO	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3
RCH	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3
SMR	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3
TCO	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
UIB	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
VUP	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
VVC	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3