
Un análisis de la fuga de cerebros desde la teoría de redes sociales

An analysis of brain drain from the social networks theory

MARTHA LILIA DEL RÍO DUQUE

*Economista, Investigadora del grupo de Conflictos Aprendizaje y teoría de juegos de la Universidad del Valle.
marthdelri@gmail.com*

Recibido: 20.05.09
Aprobado 17.11.09

Resumen

La fuga de cerebros es explicada a través de un modelo de decisión en red, en el que los nodos o vértices representan las personas con alto nivel de educación que se encuentran investigando en su campo de conocimiento y los vínculos reflejan las producciones académicas, científicas o investigativas que realicen con sus pares. El científico que desea emigrar tiene en cuenta los siguientes criterios para tomar su decisión: el grado medio de la red, puesto que la productividad de los científicos depende del grado de colaboración científica que desarrollen; la utilidad que les generen los diferentes tipos de vínculos; el efecto que tienen los vecinos sobre las productividades individuales, las valoraciones de las diferentes ubicaciones y la tecnología puesta al servicio de los científicos.

Palabras clave: Fuga de cerebros, teoría de redes sociales, colaboración científica, redes geográficas, grado de la red de colaboración científica.

Abstract

Brain drain is explained through a model of decision in network, the nodes represent people with high level of education who research in their area of knowledge, and the ties describe the academic or scientific productions made with their academic couple. The scientist who hope to emigrate have to take into account the follow criteria: mean degree of scientific network, because the productivity of the scientist depend on degree of scientific collaboration developed, the utility of the different kinds of ties, the effect neighbors have on the individual productivities, the valuations of the different locations and the technology available to the scientists.

Keywords: Brain Drain, Social Networks Theory, Scientific Collaboration, Geographic Networks, Degree of Scientific Collaboration Networks.

1. Introducción

La teoría del crecimiento endógeno sugiere que el capital humano es uno de los recursos más importantes para generar un mayor grado de desarrollo económico. La sociedad del siglo XXI es identificada como la sociedad del conocimiento, así que, el capital humano es el motor de la economía. Por ello, es indispensable estudiar el problema de la fuga de cerebros o “*brain drain*”, el cual hace referencia al traslado de un país a otro de una gran cantidad de personas que poseen un alto grado de capacitación, es decir, cualificación, conocimientos y experiencias. La fuga de cerebros repercute negativamente en las economías expulsoras ya que pierden una proporción del factor de producción más importante. Con la fuga de cerebros el país expulsor sacrifica capacidad de desarrollo y crecimiento endógeno.

Es importante entonces preguntar ¿Por qué los investigadores se trasladan de los países en vías de desarrollo a los países desarrollados? ¿Cómo toman los investigadores la decisión de trasladarse a una red geográfica y de colaboración científica diferente? ¿Cuáles son los criterios de decisión que utiliza el investigador para realizar este tipo de elección? ¿Por qué utilizar el análisis de redes sociales para explicar la decisión de los investigadores de países en vías de desarrollo de trasladarse a países desarrollados? La teoría económica, como lo sugiere Newman (2008), asume que los agentes interactúan directa o indirectamente con otros agentes para lograr un resultado deseado, todas aquellas teorías que ignoren los patrones de conexiones entre los agentes y las redes sociales que surgen entre ellos, son necesariamente incompletas, por ello, las redes han emergido como una herramienta invaluable para describir y cuantificar sistemas complejos (Newman, 2008, b).

Cuando un investigador emigra hacia un país desarrollado, para tomar su decisión, no sólo utiliza patrones de tipo económico como el salario –como lo sugieren Kwok y Leland (1982), y Katz y Stark (1984)–, también emplea criterios sociales como las afinidades intelectuales. El investigador que decide cambiar de red lo hace porque en la nueva red científica puede encontrar una mejor y mayor interlocución, que a su vez le permite incrementar su productividad, ya que una mayor aglomeración de científicos tiene efectos positivos sobre la producción investigativa de cada uno de ellos. Explicar la fuga de cerebros mediante un análisis de redes sociales permite entender cómo los clústers de científicos influyen en la decisión del investigador del país en vías de desarrollo de emigrar hacia un país desarrollado. Las aglomeraciones de científicos generan una mayor colaboración científica – grado promedio de la red mayor– y, ésta a su vez, incrementa la productividad de cada científico, ya que realizar vínculos con otros investigadores mejora el desarrollo del trabajo científico o incrementa la cantidad de productos investigativos obtenidos.

Las redes de colaboración científica generan economías de escala, éstas son las que incentivan a los investigadores a cambiar de red geográfica puesto que se encuentran localizadas, es decir, sólo los científicos ubicados en determinadas áreas geográficas pueden beneficiarse de las economías de escala que generan los clústers del conocimiento.

“Javier Escobar lleva casi cuarenta años viviendo en Estados Unidos. Al principio, su idea era adelantar especializaciones en medicina y psiquiatría, y luego regresar al país. Pero el regreso se fue dilatando: El sistema académico estadounidense, con sus inmensas oportunidades y atractivos me capturó. La factibilidad del ascenso académico, el apoyo a las investigaciones y la existencia de grupos de expertos con quienes podía colaborar contribuyeron a este proceso” (Lalinde, 2008, 2).

Los grupos de expertos, como los llama este científico colombiano radicado en Estados Unidos, promueven en los investigadores el deseo de emigrar. La fuga de cerebros se presenta porque la búsqueda de una mayor colaboración científica exige en muchas ocasiones conexión geográfica, ya que el trabajo investigativo realizado en conjunto debe apoyarse en unos componentes logísticos como la tecnología y el capital puestos al servicio de la investigación, los cuales se encuentran localizados en ciertos lugares en países desarrollados.

Los científicos que más tienden a emigrar *“son aquellos que se encuentran trabajando en investigaciones de punta en alta tecnología o en áreas cuyo desarrollo es apenas incipiente en el país: ingeniería electrónica o biomédica, biomedicina, neurología, o matemáticas aplicadas.”* (Lalinde, 2008, 2). Para ellos, la mayor cantidad de científicos con los que pueden interactuar se encuentran ubicados por fuera de su red geográfica, así que, para aprovechar todos los beneficios que les aporta la red de colaboración científica del país desarrollado deben cambiar de ubicación geográfica y, por ende, cambiar de vecinos.

El modelo que propongo es un modelo de decisión en red, donde los nodos o vértices representan las personas con alto nivel de educación que se encuentran investigando en su campo de conocimiento, y los vínculos reflejan las producciones académicas, científicas o investigativas que realicen con sus pares, con el fin de lograr un mayor desarrollo o una mayor cantidad de productos investigativos. El científico que desea emigrar tiene en cuenta para tomar su decisión los siguientes criterios: el grado medio de la red, puesto que la productividad de los científicos depende del grado de colaboración científica que desarrollen; la utilidad que le generen los diferentes tipos de vínculos; el efecto que tienen los vecinos sobre las productividades individuales; las valoraciones de las diferentes ubicaciones y la tecnología puesta al servicio de los científicos. En el modelo el investigador que desea emigrar toma la decisión de tener como vecinos a los científicos de su misma red local o tener como vecinos a los científicos del país desarrollado, una vez ha realizado el proceso de sustitución de vecinos, los vecinos que escoja generan efectos positivos y complementarios sobre su productividad.

Además, el modelo supone que los científicos que desean emigrar son aquellos que tienen una productividad esperada por lo menos igual a la productividad promedio de la red científica internacional, este criterio es necesario, puesto que sólo éstos tienen éxito en el proceso de inserción en la red científica del país desarrollado.

Los científicos que deciden emigrar lo hacen porque están buscando elevar su productividad. Como la productividad de cada investigador depende de la colaboración científica que puede desarrollar con sus pares, los científicos elegirán aquellos lugares donde haya mayor probabilidad de elevar el grado de cada uno –variable Proxy de la interlocución entre científicos–, es decir, la medida de la red, aproximada por su grado medio, será la variable que utilizará el investigador para decidir en cuál red se ubica. Aquellas redes con un grado promedio más alto representan redes con mayor colaboración científica. La colaboración científica genera rendimientos crecientes, lo que en el modelo se llamará la función de aglomeración; ésta representa los efectos positivos que tiene en la productividad del investigador contar con otros científicos que fortalezcan su trabajo. Además de la colaboración científica, la productividad de los investigadores depende de la infraestructura, los recursos tecnológicos y el capital de inversión que tengan a su disposición. En las economías desarrolladas la función de aglomeración y la infraestructura tecnológica son mayores, si hay una mayor aglomeración de científicos ésta requiere una mayor infraestructura tecnológica, generalmente estos dos argumentos tienen una relación positiva en su comportamiento, el modelo propuesto a continuación trabaja con estos dos argumentos.

Cuando los investigadores del país en vías de desarrollo se trasladan al país desarrollado, su cambio de red geográfica puede ser transitorio o permanente. Si el número de vínculos que desarrolla el investigador es mayor que el grado medio de la red de colaboración científica, su fuga será permanente, mientras que, si el número de vínculos del científico con la red del país desarrollado es menor que el grado medio de la red, la fuga será transitoria, tan pronto realice el proceso de investigación que lo llevó a salir del país retornará, puesto que hay mayor afinidad con los científicos ubicados en el país de origen, con ellos realiza la mayor parte de su trabajo científico.

El documento se divide en tres partes: primero se hace una revisión de los antecedentes teóricos que explican la fuga de cerebros, esta revisión muestra cómo los modelos convencionales no tienen en cuenta los efectos de red como criterio para que un científico de alto nivel decida emigrar, el criterio de decisión que utilizan para justificar la migración de los trabajadores es el diferencial del salario, sin tener en cuenta que el grado de colaboración científica afecta las productividades de los investigadores y por ende, para los científicos son más llamativos aquellos lugares donde es intensiva la interacción entre investigadores. La segunda parte desarrolla un análisis comparativo entre Estados Unidos y Colombia en términos del desarrollo de sus redes científicas. Por último, se presenta el modelo anunciado para explicar la fuga de cerebros mediante el análisis de redes sociales.

2. Antecedentes teóricos

El “Brain Drain”, o fuga de cerebros, hace referencia al flujo entre países de una gran cantidad de personas que poseen un alto grado de capacitación, es

decir, cualificación, conocimientos y experiencia. “El término fuga de cerebros indica la transferencia internacional de recursos en forma de capital humano, en particular la migración de individuos altamente educados desde países en desarrollo a países desarrollados” (Ferro, 2004, 2). Este fenómeno ha sido estudiado durante varias décadas por diferentes autores, y cada vez se incluyen nuevos aspectos en la modelización del fenómeno.

Uno de los primeros autores que trató de plantear esta situación fue Enrique Oteiza con su trabajo “Un replanteo teórico de las migraciones de personal altamente calificado” (1965), en donde explica que algunos factores presentan diferenciales entre distintos países, los cuales pueden ocasionar migraciones. Entre ellos están: el diferencial de ingreso (ΔI), el diferencial de apoyo logístico (Δal) –el cual hace referencia a la diferencia en el apoyo al trabajo profesional entre el país de origen y el país de destino para la migración, es decir, se consideran todas las herramientas o factores complementarios para realizar un trabajo–, el diferencial de prestigio social (Δps) evalúa el grado relativo de importancia de la profesión entre los dos países, y el diferencial de otros factores (Δof) capta la estabilidad política e institucional, criterios de empleo y promoción entre otros. De estos tipos de diferenciales surge el diferencial final o diferencial de preferencia (ΔPr), el cual se expresa como $F(\Delta I, \Delta al, \Delta ps, \Delta of)$.

Este modelo es una buena aproximación a lo que se puede desarrollar mediante la aplicación de la teoría de redes sociales, implícitamente empieza a dar luces acerca de cómo la estructura de la red influye sobre la decisión del investigador de emigrar desde su red local a una internacional. Los diferenciales Δal , Δps , Δof , representarán en el modelo que se expone en este documento, las barreras geográficas. La producción científica requiere que los investigadores involucrados posean un nivel de productividad similar, ésta es imposible de tener si no se cuenta, por ejemplo, con la misma tecnología y con los mismos recursos puestos a disposición de los científicos. El modelo es una aproximación muy sencilla para entender cómo ciertas localizaciones geográficas generan externalidades positivas sobre la productividad de los investigadores. La metodología que se desarrolla en este documento pretende, por medio de la teoría de redes sociales, expresar con mayor exactitud por qué los científicos para incrementar su productividad se localizan en ciertos lugares, lo que desde el modelo de Oteiza significa aprovechar los diferenciales de preferencia positivos.

Viem Kwok y Hayne Leland (1982) modelaron la fuga de cerebros desde el supuesto de información asimétrica. Este modelo sugiere que los graduados en colegios nativos dejan sus países para cursar estudios avanzados en el exterior, pero sólo un pequeño puñado regresa. Debido a la información asimétrica en el mercado laboral, la productividad real de los estudiantes es percibida de mejor manera por los empleadores en el país que los forma frente a los empleadores de su país de origen. Este es un modelo de equilibrios que busca encontrar los casos en los que desaparece la fuga de cerebros, mientras que el modelo que se desarrollará a continuación perpetúa los desequilibrios y por la tanto siempre

existirá fuga de cerebros a menos que haya un agente externo que mejore los diferenciales logísticos que menciona Oteiza. Los clústers de conocimiento que se forman perpetúan las diferencias investigativas entre países, y son precisamente las redes las que elevan las productividades, debido a que los vecinos o colaboradores científicos tienen un efecto positivo sobre la productividad de cada científico, este fenómeno no es cubierto por el planteamiento de Viem Kwok y Hayne Leland. Aunque los diferenciales en productividades siempre serán los que estimulan la migración de investigadores y científicos hacia países desarrollados, es importante analizar el por qué se dan estos diferenciales.

La modelación en red permite captar las causas de la fuga de cerebros y de los diferenciales en productividades, mientras que el modelo anterior asume que las productividades de cada trabajador es la misma, independientemente de dónde decida laborar, lo que cambia es la información que tiene cada país acerca de las productividades de los trabajadores y por ende la remuneración que se ofrece a cada uno de ellos. Cuando se analiza la fuga de cerebros utilizando las redes, se descubre que los científicos no utilizan solamente el salario como patrón de decisión para permanecer en determinada localización geográfica, puede presentarse que los salarios ofrecidos sean iguales tanto en el país expulsor como el país receptor de talento humano, y aún así, los científicos de países subdesarrollados deciden emigrar, puesto que los vecinos que escojan tienen un efecto positivo sobre su productividad.

El problema no se reduce a la información asimétrica de los empleadores sobre las productividades reales de los investigadores y a un matching entre productividades y salarios apropiados; hay que tener en cuenta también los beneficios de información que circulan a través de las redes y que son los que llevan a que un investigador se sitúe en una red concreta. En muchas ocasiones el problema de fuga de cerebros no es entre oferentes y demandantes de trabajo investigativo, sino, entre oferentes de trabajo investigativo. La ubicación en determinada red de colaboración científica incrementa o mejora las ofertas de trabajo investigativo para el científico, así que las redes permiten ver más en detalle cómo los individuos altamente capacitados toman las decisiones acerca de su localización.

Después del modelo de Viem Kwok y Hayne Leland (1982), que incluyó la información asimétrica en el mercado laboral, surgió un comentario o crítica, realizado por Katz y Stark (1984), en donde se muestra que las asimetrías de la información y sus localizaciones influyen en el tipo de inmigrantes, si la información sobre las destrezas la tienen los empleadores del país expulsor quienes emigran serán los trabajadores con menos destrezas, mientras que si la información sobre destrezas de los trabajadores extranjeros la tiene el país receptor se puede producir la fuga de cerebros. Según qué país goce de mejor información se puede producir o no una selección adversa. Esta aclaración, más que dar luces sobre el problema de por qué las productividades son diferentes entre países, explica cómo la información asimétrica puede causar selección adversa. Este modelo sigue siendo insuficiente para el objetivo que se plantea

en este documento acerca de cómo las redes influyen en las productividades de cada investigador.

Otro tipo de modelización sobre la fuga de cerebros hace referencia a las **economías de escala en la educación** (Miyagiwa, 1991). El modelo enfatiza en los rendimientos crecientes a escala en la educación avanzada, así la productividad del trabajo profesional se incrementa con el aumento del número de profesionales similares concentrados en un espacio, estos efectos a escala de la educación avanzada complementan las teorías de fuga de cerebros.

Este modelo va en línea con los planteamientos que se presentan por medio de la teoría de redes ya que las aglomeraciones o clústers que se producen generan economías de escala, es por ello que es más rentable tener relaciones de colaboración con científicos que pertenezcan a estos clústers, ya que ellos transmiten y difunden de manera más rápida la información, cuanto más densa sea una red, más rápido llega la información. El patrón de decisión para emigrar se basa en los rendimientos a escala que produce la aglomeración, aunque esto hace parte de la estructura de la red, el modelo no particulariza sobre la estructura en red de la producción científica mundial.

El modelo de Schaefer (2005), diferencia la formación de talento humano anterior a la migración, es decir la adquirida en el país de origen H_j y el capital humano adquirido en el país de llegada H , en este modelo la tasa de salario (w) se relaciona en forma positiva con el capital humano adquirido. El modelo hace referencia a los niveles de capital humano que se requieren para que sea exitosa la opción de migración y las diferencias salariales que se obtienen insertándose en nuevas redes, sin embargo, no explota el por qué los individuos desean migrar desde sus redes locales. Las explicaciones se centran en factores económicos sin trabajar los beneficios que genera para la adquisición de capital humano estar rodeado de individuos con un nivel de formación y experticia igual o mayor que el del migrante.

Estos modelos manejan la decisión de emigrar de las personas altamente capacitadas como una decisión individual que se basa únicamente en las características individuales del migrante y de su capacidad de insertarse en nuevas redes. Por ejemplo, en el modelo de Kwok y Leland (1982), se desconocen las externalidades positivas que generan las redes, uno de sus supuestos es que la productividad es la misma si los trabajadores laboran en un país como Taiwán o en un país como USA, desconociendo el efecto positivo y complementario de las vecindades. Las productividades se toman como parámetros, es decir, la ubicación de los investigadores en determinadas áreas geográficas donde las redes de colaboración científica presentan una alta densidad no influye en las productividades individuales.

El modelo de Miyagiwa (1991), explota, desde el concepto de economías de escala, los beneficios que suscita el que las personas altamente capacitadas se encuentren reunidas en un mismo lugar; desde esa óptica la aglomeración genera economías de escala. El modelo que se desarrollará en el documento considera estas economías de escala como el factor decisivo para emigrar, sin

embargo, la metodología utilizada difiere de la presentada por Miyagiwa, ya que se empleará la teoría de redes sociales para explicar: el fenómeno de la fuga de cerebros, por qué los vecinos generan efectos positivos y por qué las redes geográficas son una restricción para desarrollar las redes de colaboración científica sin desplazamientos entre países.

3. Hechos reveladores

La fuga de cerebros, que incluye todos los trabajadores nacidos en el extranjero con educación terciaria, es particularizada en este trabajo en aquellos dedicados a las actividades de producción científica, ya que en ellos se encuentra una de las mayores pérdidas de capital humano para sus países de origen. Para que sea considerada fuga de cerebros es necesario que parte de la formación académica o investigativa de estos inmigrantes haya sido adquirida en su país de origen, es decir, que en algún momento tuvieron vínculos con pares nacionales y que éstos posteriormente a su inmigración se convirtieron en vínculos débiles, puesto que la frecuencia de relaciones con pares nacionales disminuyó o en el caso extremo hubo rompimiento de vínculos transformando el tamaño de la red local.

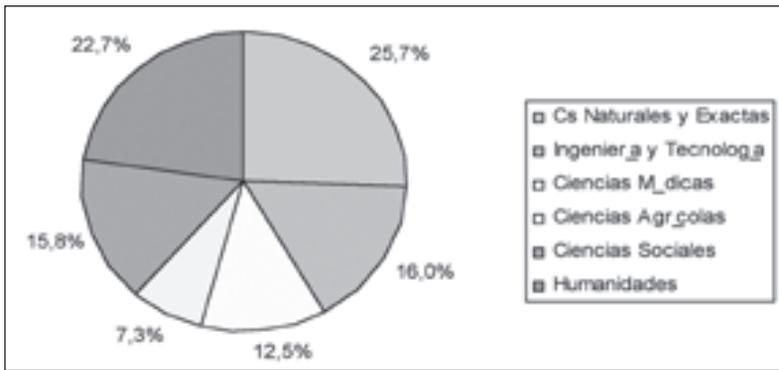
Según reportes de la Fundación Nacional de Ciencia, de los 656,500 doctores que había en los Estados Unidos en el 2001, el 9% no eran ciudadanos y el 14% eran nacionalizados (Schaeffer, 2005). Frente a esta gran cantidad de posibles nodos para la red de producción y colaboración científica en un país desarrollado, se encuentra la red colombiana con menos nodos y por consiguiente con una mayor probabilidad de formar vínculos redundantes, la cual según cifras del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología para ese mismo año sólo contaba con 1,183 doctores. Además, estos doctores que pertenecen a las redes locales, en repetidas ocasiones están vinculados a las redes de generación de conocimiento de los Estados Unidos, lo que refleja un crecimiento de estas redes y una pérdida para las redes locales o expulsoras. Esta migración de personas que generalmente va desde un país en vías de desarrollo hacia un país desarrollado, tiene consecuencias negativas principalmente para el país expulsor, entre las cuales se encuentran: pérdida de la capacidad productiva por la expatriación de estudiantes y trabajadores altamente capacitados y menos ayuda para los fondos públicos destinados para educación de alto nivel, aunque los científicos expatriados conserven la intención de generar conocimiento y desarrollo en su red de origen, la transferencia y aplicabilidad de los diferentes conocimientos está sujeta a barreras geográficas puesto que la tecnología y el capital dispuesto para todos los desarrollos científicos se encuentran localizados y aglomerados.

El supuesto de partida para explicar el fenómeno de la fuga de cerebros ha sido que los países desarrollados tienen redes de conocimiento mucho más desarrolladas e intensivas, que las de los países en desarrollo porque hay un mayor número de personas dedicadas a la actividad científica y un mayor número de vínculos entre ellos, pero, también porque poseen mayor y mejor tecnología al servicio de los científicos e investigadores y de los grupos investigativos. “*Algunos*

de los factores que influyen la decisión de emigrar son oportunidades económicas, oportunidades investigativas, fondos de investigación y un clima para la innovación en el país de destino” (National Science Foundation, 2008).

Si comparamos dos países, por ejemplo, Colombia –que en nuestro caso es un país expulsor de talento humano–, y Estados Unidos, que tiene el rol de receptor de estas personas con altos niveles de conocimiento, podemos contrastar las cifras que demuestran cómo hay una mayor probabilidad de crear nuevos vínculos no redundantes en países desarrollados donde el número de científicos es mayor. Según cifras del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, en el año 2003, en Colombia había 10.845 investigadores repartidos en las siguientes áreas, como se ve en el Gráfico 1.

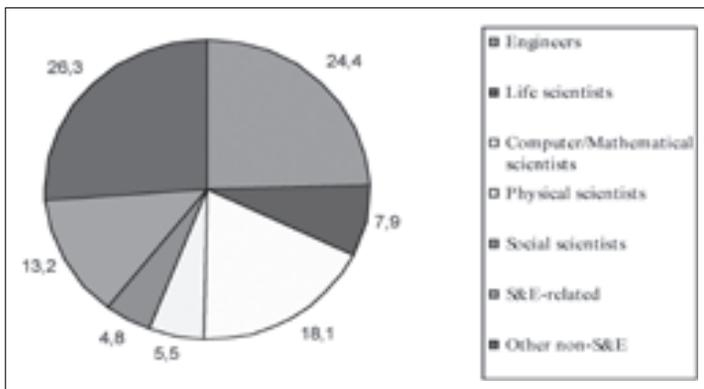
Gráfico 1. Investigadores por área en Colombia



Fuente: http://www.ocyt.org.co/prg_fre.php?id=1

Para el caso de Estados Unidos, el número de investigadores en el año 2003, según la National Science Foundation (2008), era 1.390.301. Si se toma como investigadores a aquellas personas que tienen como principal actividad laboral la investigación y desarrollo, la distribución por ocupación es la siguiente (Gráfico 2).

Gráfico 2. Investigadores por Área en E.E.U.U



Fuente: National Science Foundation (2008)

Para estudiar el fenómeno de fuga de cerebros desde la teoría de las redes sociales, más importante que el número de investigadores son las conexiones que se realicen entre ellos, y analizar cómo se afecta la productividad individual gracias al efecto vecindad, es decir, estudiar al investigador inserto en una red geográfica y de conocimiento concreta. Según este objetivo, resulta fundamental analizar las productividades de los científicos en cada una de las redes escogidas, al igual que el grado de colaboración que hay en ellas. A continuación se muestran algunos de los resultados hallados por diversos autores y que definen en este contexto los dos tipos de componentes que hay en esta estructura de red. Un país en vías de desarrollo como lo es Colombia y un país desarrollado como lo es Estados Unidos.

Los autores Bernal y Llanos construyeron la red de coautorías de investigadores vinculados a instituciones colombianas en el periodo 1964-2004. En este tipo de redes los nodos representaban cada uno de los investigadores, los vínculos representaban la coautoría o colaboración científica, es decir, si había un vínculo entre dos nodos es porque los dos investigadores eran autores de un mismo producto bibliográfico. La productividad de la red colombiana es muy baja: más del 50% de los investigadores ha publicado un solo artículo en el periodo comprendido. “*El promedio es de 2.39 artículos por investigador en 43 años*” (Bernal y Llanos, 3), mientras que como lo señala Newman el promedio internacional es de cuatro artículos por investigador en un periodo de cinco años, 1995-1999, (Newman, 2001). Las productividades nacionales están muy alejadas de las productividades internacionales, en un periodo mucho más corto las redes internacionales de colaboración científica alcanzan una mayor producción. Dado que la coautoría es un indicador de colaboración entre científicos, es importante mostrar estas cifras para los dos países. Para el caso colombiano, la investigación señala un promedio de 3,77 autores por artículo.

Para la red internacional, la National Science Foundation (2008) muestra que el número promedio de autores por artículo para las ciencias y la ingeniería, pasó de ser 3,1 en 1988 a 4,5 en el 2005. Según esta información la red internacional frente a la red colombiana tiene mayor colaboración científica ya que cada artículo tiene en promedio más autores. Entre estos dos periodos los científicos ubicados en el país desarrollado incrementaron el trabajo conjunto y además tuvieron a su disposición un mayor capital y una mejor tecnología puesta al servicio de sus investigaciones.

Según Newman (2001) las redes internacionales de colaboración científica contienen más de un millón de personas. Aunque la medida o desarrollo de la red lo dan las conexiones y no la cantidad de nodos que haya, al incrementarse el número de éstos se incrementa la probabilidad de que la medida de la red aumente, es decir, se hace más probable la realización de coautorías productivas. “*A medida que aumenta el tamaño de la red, incorporando nuevos investigadores, también aumenta su conexidad, es decir, la colaboración entre investigadores*”. (Bernal y Llanos, 5).

4. El modelo

Explicar la fuga de cerebros implica responder el interrogante: ¿Por qué para vincularse a proyectos investigativos, o para realizar producción científica entre investigadores de países subdesarrollados e investigadores de países desarrollados, los primeros deciden salir de su país de origen (en vías de desarrollo) e insertarse en una red cultural diferente?

Este fenómeno migratorio se puede analizar desde la teoría de las redes sociales, ya que cuando las personas deciden emigrar es porque han creado nuevos vínculos en el exterior. Generalmente este fenómeno se evidencia en economías en vías de desarrollo: sus profesionales de alto nivel emigran hacia economías desarrolladas para poder explotar todo su conocimiento, por mejores ofertas laborales o simplemente buscando nuevas conexiones en su campo de trabajo.

Por medio de la teoría de redes este fenómeno puede ser explicado ya que *“el bienestar de una persona depende de sus propias acciones y de las acciones que son tomadas por quienes están muy próximos, por ejemplo los vecinos”* (Galeotti et al., 2006: 1). Así que en este caso el desarrollo de las investigaciones se verá afectado por las posibilidades de articulación que haya alrededor del investigador. La posibilidad de desarrollar nuevas investigaciones depende de la ubicación que tenga dentro de la red de científicos y también del número de conexiones o vínculos directos que pueda formar con otros científicos para potenciar su investigación. Por ejemplo, no es lo mismo hacer investigaciones de nuevas tecnologías en los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) como Japón, Suiza o Estados Unidos donde hay fuertes vínculos entre el gobierno, la industria y la universidad, y la investigación en países en vías de desarrollo donde hay menos recursos materiales y humanos.

Las posibilidades de los trabajos científicos o investigaciones en diferentes campos depende no solamente de quien la asuma, sino también de las posibles conexiones con otros científicos que potencien o sirvan de base para lograr una investigación más profunda y completa, es decir, la información que se difunda por medio de la red juega un papel primordial para el científico o investigador en el momento de elegir en qué red tanto cultural como investigativa se ubica.

Hay dos criterios dentro de la utilidad del investigador, la sustituibilidad que hay entre los nodos ubicados en las diferentes redes geográficas, cuando hay fuga de cerebros es porque sustituye conexiones en su red local por conexiones y producciones científicas con investigadores de redes extranjeras. El segundo criterio es la complementariedad de sus vecinos, es decir, una vez decide insertarse en una red geográfica y científica específica los vecinos incrementarán su utilidad, ya que la colaboración científica arroja economías de escala para el investigador.

La fuga de cerebros atraviesa dos tipos de redes: la red de colaboración científica que hace referencia a los vínculos que forman los investigadores –coautoría–, para realizar una investigación o artículos científicos, y la red geográfica que hace referencia a la localización de la producción (puntos geo-

gráficos). Cuando el fenómeno se presenta es porque las últimas restringen la primeras. Cada país tiene sus propios grupos de investigación con unos recursos establecidos. La fuga de cerebros tiene asociados dos tipos de conjuntos:

$N = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ por comprensión $N = \{x: x \text{ es un científico o investigador de alto nivel}\}$

$P_g = \{1, 2, 3, \dots, l\}$ por comprensión $P_g = \{y: y \text{ es una posición geográfica}\}$

Cada investigador tiene asociada una posición geográfica, es decir, hay una relación entre investigadores y posiciones geográficas. Para nuestro caso el conjunto de posiciones geográficas (P_g), es la unión de dos subconjuntos: País Desarrollado (P_D), y País en Vías de Desarrollo (P_S), tal que $P_g = P_S \cup P_D = \{y \in P_g / (y \in P_S) \vee (y \in P_D)\}$. Cada posible lugar y está dentro de las fronteras de un país en vías de desarrollo o está dentro de las fronteras de un país desarrollado.

Por un lado, están las redes de colaboración científica que hacen referencia a conexiones o producciones intelectuales en conjunto, y por otro lado están las redes geográficas que hablan de conexiones entre científicos que se encuentran en la misma área geográfica, para tal caso diremos que dos investigadores están conectados geográficamente si se encuentran en el mismo espacio geográfico. La fuga de cerebros emerge cuando la falta de conexiones geográficas impide que dos investigadores realicen un trabajo científico en conjunto, lo cual hace necesario un movimiento geográfico o desplazamiento desde su sistema local de interacción hacia otro de mayor desarrollo para realizar el producto investigativo. La ubicación geográfica actúa como una barrera para la colaboración científica mundial. Aunque se puedan formar caminos con distancias geodésicas cortas entre investigadores de países subdesarrollados e investigadores de países desarrollados, los profesionales altamente capacitados deciden emigrar hacia economías con un importante nivel de investigación y colaboración científica, puesto que hay factores –como la infraestructura tecnológica, y el número de científicos en la misma área del conocimiento– que restringen la colaboración entre científicos ubicados en zonas con diferente nivel de desarrollo investigativo. Las distintas ubicaciones geográficas de los investigadores reducen los beneficios de la colaboración científica y en muchas ocasiones exige la transformación de la red. En el país de origen del inmigrante (país subdesarrollado) se rompen vínculos por la desaparición de un nodo y en el país receptor (país desarrollado) se crean nuevos vínculos no redundantes.

Las localizaciones que poseen una mejor infraestructura puesta al servicio de la actividad científica y una mayor aglomeración de científicos, es decir, aquellas localizaciones que generen en los investigadores unos diferenciales de preferencia positivos (Oteiza 1965), serán los elegidos, de este modo se puede decir que cuando un país posee una mejor infraestructura para la investigación y unas mayores relaciones de colaboración científica, y por lo tanto, unos clústers de conocimiento más desarrollados, la ubicación

geográfica será una restricción para desarrollar proyectos de colaboración con investigadores por fuera de este país. En este caso, el investigador tiene preferencias sustitutas entre pares investigadores ubicados en diferentes redes geográficas.

La importancia de la ubicación geográfica es fundamental para el fenómeno *fuga de cerebros*, puesto que las redes de colaboración científica, además de transmitir información comparten infraestructura y tecnología, y éstas no pueden ser aprovechadas completamente si los agentes que desean producir conjuntamente no están vinculados geográficamente. Es decir, para entender por qué es necesario emigrar para producir conjuntamente, diremos que la colaboración científica depende de la conexión geográfica, en esta etapa de elección de conexiones los investigadores tienen que elegir entre seguir desarrollando sus conexiones con los científicos con quienes tienen una proximidad geográfica, o buscar nuevas conexiones dentro de una red geográfica distinta, estas dos clases de conexiones son sustitutas. La función de utilidad que mejor describe la forma como el investigador que está dispuesto a emigrar cambia de vecinos, es la función de utilidad de relaciones sustitutas, $U_x(V_D, V_S) = aV_D + bV_S$. El científico x al emigrar tiene un grado de sustitución de vínculos con investigadores nacionales ubicados en S por vínculos con investigadores del país desarrollado ubicados en D .

Para determinar los beneficios que obtiene el científico x con cada una de las dos posibles decisiones que toma sobre su ubicación geográfica, siguiendo a Kleinberg (2007), se puede afirmar que el científico x tiene una valoración que le reporta estar ubicado en determinada red. El investigador x tiene su propia valoración de ubicarse en un país p , que puede ser desarrollado (D), o en vías de desarrollo (S). Esta valoración será denotada por U_{px} . Además de la valoración que haga por ubicarse en determinado país, tiene un costo de ubicación C_p . Si el investigador está ubicado en su país de origen el costo es cero, si se ha trasladado su costo es positivo, $C_{px} > 0$. C_{px} representa el costo por cambio de red geográfica. El criterio para elegir su ubicación espacial se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterio de ubicación del investigador x

	País en vías de desarrollo	País desarrollado
Investigador de un país en vías de desarrollo (x)	U_{Sx}	$U_{Dx} - C_{Dx}$

Dado que el investigador x busca maximizar su utilidad: si permanece en su país de origen es porque la utilidad que le generan sus contactos locales es mayor que la utilidad que le reportan los contactos que obtendría si se trasladara, así, $(U_{Sx}) > (U_{Dx} - C_{Dx})$. Si el investigador x sale del país es porque la utilidad que le genera estar ubicado en la red científica del país desarrollado, aún teniendo unos costos de traslado positivos, es mayor que la utilidad que le generan los

contactos locales, de este modo $(U_{Dx} - C_{Dx}) > (U_{Sx})$. Es decir, al investigador x le reporta mayor utilidad trasladarse, generando fuga de cerebros.

Cuando hay fuga de cerebros al científico x le genera mayor utilidad insertarse en una red de investigadores en el exterior, en lugar de trabajar la misma investigación con pares en el país de origen, es decir, la utilidad depende de la clase de vínculos, los vínculos formados por nodos o científicos en D reflejan mayor utilidad que los vínculos con nodos de S . Debido a que la aglomeración de científicos es mayor en el país desarrollado y por ende hay mayores economías de escala en este país, el científico x prefiere crear vínculos con investigadores que pertenezcan a estos clústers científicos. Las funciones de utilidad de cada agente potencial a emigrar dependen de “la suma de sus propios esfuerzos y los esfuerzos de los vecinos” (Galeotti, et al., 2006: 8). Estas funciones de utilidad dependen del número y de la clase de vínculos que puedan realizar para desarrollar la investigación científica.

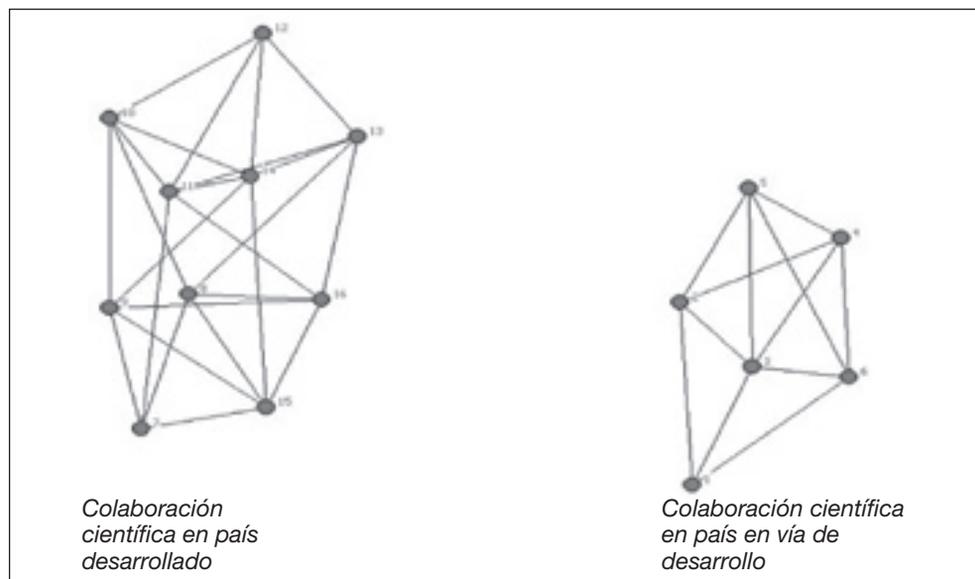
Una vez el investigador ha establecido en cuál red geográfica permanecerá, las preferencias entre vínculos ya no tienen el carácter de sustitutos sino más bien de complementariedad, los vecinos empiezan a aportar beneficios de información y además incrementan la productividad de cada investigador. La sustituibilidad se da entre los vínculos en diferentes áreas geográficas, mientras que la complementariedad se da entre los vínculos de la misma red geográfica. Todos los vínculos dentro de una misma ubicación geográfica, generan efectos positivos sobre el investigador.

De ahora en adelante, los nodos o vértices representan las personas con alto nivel de educación que se encuentran investigando en su campo de conocimiento. Los vínculos reflejan las producciones académicas, científicas o investigativas que realicen con sus pares, con el fin de lograr un mayor desarrollo o una mayor cantidad de productos investigativos. Los grafos utilizados serán no dirigidos, todos los nodos que se relacionen aportan en la misma proporción.

Se denota el conjunto de personas altamente capacitadas que desarrollan producciones científicas e investigativas a nivel mundial y el tipo de vínculos que realizan de la siguiente forma: $G = (N, V)$, donde $N = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ es el conjunto de nodos y $V = \{(x, x') / x, x' \in N\}$ es el conjunto de vínculos. La fuga de cerebros puede ser explicada en dos fases. Fase 1, es la etapa inicial, el momento $t = 0$. En esta etapa el grafo “Producción investigativa, científica e intelectual mundial” no es conexo, es decir, no hay la posibilidad de crear un camino entre cualquier par de vértices del grafo. Los científicos sólo tienen productos investigativos con pares ubicados dentro de la misma zona geográfica. En la fase 2, el momento $t = 1$, los primeros científicos que emigran permiten conectar las redes, a través de ellos fluye información sobre las capacidades de investigadores ubicados en redes geográficas diferentes, en esta fase el grafo es conexo gracias a los investigadores que emigraron en $t = 0$, éstos se convierten en puentes, sin embargo en esta fase se siguen presentando migraciones, lo que indica que los puentes –que transmiten información sobre las capacidades de los investigadores de distintas áreas geográficas– no son suficientes para lograr que

haya colaboración científica, independientemente de la ubicación geográfica de los científicos (Gráfico 3).

Gráfico 3. Fase 1: Componentes conexas del grafo producción investigativa, científica e intelectual mundial



Fuente: Elaboración propia

La fase 1 muestra la ausencia de puentes o de puntos de articulación entre investigadores ubicados en países con diferentes niveles de desarrollo. No hay la posibilidad de crear un camino entre dos investigadores ubicados en diversos subgrafos.

La colaboración científica exige que los investigadores reconozcan a sus posibles vecinos. La posibilidad de crear vínculos con científicos ubicados por fuera de las fronteras nacionales se ve limitada por la falta de información sobre pares situados en otras localizaciones geográficas. Los investigadores de países en vías de desarrollo, que quieren tener producción investigativa con extranjeros deben trasladarse a redes científicas más intensivas, puesto que la información sobre sus capacidades y aptitudes no fluye a través de la red, debido a que el grafo no es conexo. Es decir, para desarrollar vínculos con científicos que se encuentran por fuera de la componente conexas, el investigador deberá emigrar para darse a conocer y para producir con extranjeros. La falta de puentes o vínculos débiles entre las componentes del grafo impide que la información sobre posibles contactos fluya rápidamente. En esta fase la fuga de cerebros se presenta porque no hay una senda eficiente que conecte cualquier par de vértices.

Supongamos que hay dos tipos de países: un país desarrollado D , que a su vez está en un subgrafo conexo de G y un país en vías de desarrollo, S , subgrafo conexo de G . El grafo G que representa la producción o colaboración científica

mundial no es conexo, ya que no hay la posibilidad de crear producción científica entre personas que se encuentran en países con diferentes grados de desarrollo, y con condiciones y beneficios para la investigación tan disímiles.

$$N = N_D \cup N_S$$

$$V_{D \cap S} = \{x, x' / (x \in N_D) \wedge (x' \in N_S)\} = \emptyset$$

“Un sistema de interacción local describe como interactúan los jugadores y los pagos de esas interacciones” (Morris, 2000, 59). Definido el conjunto de investigadores N y la relación \sim binaria sobre los N . $\forall x \wedge x' \in N$, si $x \sim x'$ diremos que el investigador x tiene vínculos de producción científica con el investigador x' . Siguiendo a Morris (2000), uno de los supuestos que debe cumplir el sistema de interacción local para todos los $x, x' \in N$ es la conectividad, existe $\{x_1, x_2, \dots, x_k\} \subseteq N$ tal que $x_1 = x \wedge x_k = x'$ y $x_k \sim x_{k+1}$ para cada $k = 1, \dots, k - 1$, lo que quiere decir que hay alguna senda que conecta a cualquier par de investigadores que pertenecen al grafo G . Como el grafo G no es conexo, no es un sistema de interacción local, no hay la posibilidad de trazar un camino entre un investigador que se encuentra en un país subdesarrollado y un investigador que se encuentra en un país desarrollado. El conjunto de vecinos en N_D , $\Gamma(N_D)$, y el conjunto de vecinos en N_S , $\Gamma(N_S)$, no poseen ningún vecino en común, es decir:

$$\Gamma(N_D) \cap \Gamma(N_S) = \emptyset$$

Dentro de la fase en estudio existe condicionalidad entre las dos premisas, hay colaboración científica y producción intelectual conjunta si hay conexión geográfica.

$$i, j \in N \wedge i \in N_D, j \in N_S \rightarrow \Gamma(N_D) \cap \Gamma(N_S) = \emptyset$$

Si se presenta la fuga de cerebros es porque las dos componentes conexas se transformaron. Uno de los nodos del Subgrafo S rompió sus vínculos y pasó a ser un nodo del subgrafo D . Al científico migrante le representa mayor utilidad trasladarse de red e incorporarse en una nueva región geográfica que crear un puente con la componente conexa D , y además, existe un grupo científico que está dispuesto a recibirlo como uno de sus investigadores. Encontrar el camino más corto implica identificar en cuáles ocasiones es más rentable crear un puente y en cuáles es más eficiente crear un nuevo vínculo en el subgrafo D .

Fase 2

Los primeros científicos que emigraron en $t = 0$ sirven de puente para conectar las componentes en $t = 1$. Es posible que en esta etapa haya colaboración científica entre investigadores ubicados en diferentes áreas geográficas, sin embargo, sigue presentándose la fuga de cerebros. A continuación se explica el criterio de decisión del investigador x para salir de su red local.

Como la infraestructura tecnológica y los recursos para las investigaciones, y los clústers de científicos están sujetos a una localización espacial, la ubicación geográfica siempre va ser un limitante para la colaboración entre científicos, debido a esta restricción es que se presenta la fuga de cerebros, ya que la colaboración científica *per se* no tiene barreras, las barreras están en los clústers de científicos que hay en el país desarrollado que incrementan la productividad de quienes pertenecen a ellos, en los recursos y apoyos logísticos puestos al servicio de la red de científicos e investigadores.

Gráfico 4. Grafo conexo de la colaboración científica mundial



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4 hay 37 científicos, de ellos el conjunto $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\} \in N_S$, representa a los nativos del país en vías de desarrollo, y $\{10,11,12,\dots,37\} \in N_D$, los nativos del país desarrollado. Los vínculos representan la relaciones de colaboración entre ellos, es decir, dos científicos están vinculados si son coautores de un artículo científico o si han participado en un mismo proyecto de investigación. Los investigadores etiquetados con los números 4 y 5 realizan producciones científicas con pares ubicados en su red de origen –país en vías de desarrollo– y a la vez tienen coautorías con científicos pertenecientes a la red del país desarrollado. Hay vínculos de colaboración entre estas dos redes. Sin embargo, los científicos 4 y 5 tienen dos alternativas mutuamente excluyentes para incrementar su productividad, que a su vez, está relacionada con la probabilidad de incrementar su grado y con tener la tecnología e infraestructura adecuada y necesaria para sus investigaciones. Los científicos etiquetados como 4 y 5 que son los que tienen mayor probabilidad de emigrar, pues sus capacidades y aptitudes son conocidas en ambas redes de colaboración –la red del país desarrollado y la red del país en vías de desarrollo–, deben decidir qué les da mayor utilidad: si realizar nuevas conexiones

con científicos de su red local o buscar nuevas conexiones con científicos del país desarrollado. Dado que hay limitaciones para crear nuevos vínculos con científicos extranjeros desde su posición geográfica original, si la utilidad que les reporta un nuevo vínculo con un científico extranjero es mayor que la utilidad que les reporta un nuevo vínculo con un científico de su país de origen, estos científicos cambiarán de red geográfica para realizar la búsqueda de nuevos contactos.

Los científicos cambian de red geográfica para incrementar la probabilidad de acceder a nuevos clúster de científicos. La búsqueda de mayores relaciones de colaboración y el deseo de incrementar su productividad individual gracias a los beneficios que generan las mayores aglomeraciones de científicos que hay en el país desarrollado, hacen que el científico del país en vías de desarrollo cambie de red geográfica.

El grado de cada científico –aunque es una de las medidas más básicas de centralidad–, se convierte en un factor determinante puesto que la productividad del científico x es función de su grado. Las relaciones de colaboración con otros científicos que trabajen en un tema determinado incrementa el desarrollo del trabajo investigativo de cada científico. La valoración que hace el científico x de estar ubicado en determinada red geográfica depende, como se ha mostrado anteriormente, del número de conexiones directas que puede alcanzar el investigador con otros científicos para desarrollar procesos investigativos, es decir, depende de su grado $k_x(g)$ y de las probabilidades de incrementar éste. El grado $k_x(g)$ es el número de conexiones directas que puede alcanzar un investigador x con otros científicos para realizar procesos investigativos. Los vínculos adyacentes cobran gran importancia para el científico que decide emigrar, dan mayor utilidad los vínculos directos que puedan surgir con científicos ubicados en el país desarrollado que conectarse por medio de caminos cortos a ellos.

En nuestro caso, el país desarrollado tiene un número mayor de vínculos frente al país en vías de desarrollo.

$\sum_{i \in N_D} k_i$ Número de Vínculos de colaboración científica en D (País desarrollado)

$\sum_{x \in N_S} k_x$ Número de Vínculos de colaboración científica en S (País en vías de desarrollo)

$$\sum_{i \in N_D} k_i > \sum_{x \in N_S} k_x$$

$P(k)$ es la frecuencia de nodos con grado k , $Ep(k)$ es el grado medio en la red, para un país con altos niveles de investigación se espera que el grado medio sea mucho más alto porque la probabilidad de que haya más investigadores y que además hayan formado vínculos es mayor, es decir, el número de aristas o vínculos de colaboración científica en un país desarrollado es mayor que el

número de vínculos de este tipo en un país en vías de desarrollo, por ejemplo, hay más comunidades científicas en un país desarrollado, comparado con un país en desarrollo.

La probabilidad para el investigador de formar nuevos vínculos y así elevar su productividad, tiene una relación positiva con el grado medio de la red: Si la frecuencia de investigadores con grado k es mayor en el país desarrollado entonces $Ep_D(k) > Ep_S(k)$, la probabilidad para el científico x de formar nuevos vínculos es mayor en el país desarrollado.

El grado que alcance cada científico determinará su productividad. Siguiendo a Newman (2003), se define k como el grado objetivo que desean alcanzar los científicos y m como el número de científicos en la red que tienen un grado mayor o igual que k , así, la probabilidad de que haya m científicos con grado mayor o igual que k responde a una función de probabilidad binomial de la forma:

$$f(m) = \binom{n}{m} p_k^m (1 - p_k)^{n-m} \rightarrow \text{Probabilidad de encontrar exactamente } m \text{ científicos con grado mayor o igual que } k .$$

Donde, $(1 - p_k) = \sum_{k^*=1}^{k^*=k-1} p_{k^*}$ probabilidad de que un científico tenga un grado menor que k .

$$Y, \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

m : número de científicos con grado mayor o igual que k entre los n científicos que pertenecen a la red, y puede ser visto con el número de veces que se encuentran científicos que satisfagan esta condición (éxitos), entre los n posibles científicos que hay en la red.

Debido a que el número de científicos (n) en un país desarrollado siempre será mayor que en un país en vías de desarrollo, $f(m)$ será mayor en el país desarrollado. Los científicos de la red local decidirán emigrar puesto que la probabilidad de realizar trabajos investigativos con más cantidad y diversidad de investigadores es mayor en el país desarrollado.

Para los científicos las alianzas con otros investigadores generan externalidades positivas, ya que “*las acciones de un individuo crean un efecto positivo sobre los pagos de otros individuos*” (Kleinberg, 2007 1). El efecto vecindad es positivo en este tipo de redes porque los estudios, innovaciones y técnicas de cada investigador pueden potenciar los de los demás, es decir, la colaboración científica genera mayores beneficios que estar aislado. Como la productividad está asociada al grado del nodo, cuanto mayores probabilidades haya de realizar nuevos vínculos de producción científica e investigativa, mayor será la producción científica de cada investigador y por ende la red será mucho más desarrollada, generará, en conjunto, mayores conocimientos. Un científico que no pueda acceder a clústers de científicos tiene menor probabilidad de

encontrar conexiones que le reporten igual o mayor utilidad a la que tendría estando dentro del cluster.

El nivel de conocimiento que genera un científico depende de la red y de su posición en ella, como lo señala Emerson (1983: 281) “*El poder es una función de la posición en la red*”. Al incrementarse la cantidad de vínculos de un científico x , su productividad se incrementa, lo que da origen a unos rendimientos crecientes provenientes de la aglomeración de científicos.

Las diferencias de grado y las economías de escala que surgen por la aglomeración de científicos en determinados espacios geográficos dan un cierto tipo de jerarquía en las redes. Entonces, a pesar de que se superen las limitantes de la primera fase donde los conjuntos de intelectuales y científicos de los diferentes países eran disjuntos, seguirán presentándose migraciones de científicos hacia países desarrollados. Los puentes o vínculos débiles entre las redes de científicos de los dos componentes, que surgen gracias a la migración de científicos, no son suficientes para frenar el drenaje de otros científicos, es decir, no basta con transmitir conocimientos a las redes locales a través de los expatriados, ya que los clústers de científicos, la tecnología y los diferenciales logísticos a los que se refiere Oteiza (1965) –factores fundamentales para la producción científica– están localizados geográficamente. Los vínculos débiles no frenan la fuga de cerebros, más bien ayudan a elevar la probabilidad del científico local de insertarse en nuevas redes de conocimiento.

Además del deseo del científico local de incrementar su productividad buscando un mayor grado, es decir, incrementar la productividad por los efectos que genera la red, la infraestructura tecnológica y el capital de inversión que tenga a su disposición también son responsables de la productividad del científico. Así pues, la decisión de emigrar de un investigador está influenciada por la infraestructura puesta a su disposición y por unos efectos de red.

Siguiendo a Arthur (1997), se puede afirmar que la productividad del investigador x ubicado en el país p está compuesta de dos argumentos:

$$r_p^x = q_p^x + g(\gamma_p)$$

La red de científicos en el país desarrollado, que en este caso actúa como el empleador de talento humano, utiliza el criterio de la productividad esperada de los científicos potenciales a emigrar como el criterio de selección para saber quiénes tendrán éxito y quiénes no en el proceso de migración. Es decir, además de la decisión del investigador x de emigrar desde un país en vías de desarrollo hacia un país desarrollado, donde el trabajo científico es más intensivo, hay que tener en cuenta la decisión del cluster de científicos de aceptar a x dentro de su grupo de investigadores. La productividad esperada del investigador x ubicado en el país en vías de desarrollo debe ser igual o mayor a la productividad promedio de la red de científicos del país desarrollado, ya que el país desarro-

llado sólo estará dispuesto a recibir a aquellos científicos que puedan realizar aportes a la red y a aquellos que tengan una capacidad investigativa similar a los investigadores de su país. La productividad que se compara es la esperada puesto que el científico sólo puede desarrollarla si tiene toda la tecnología y los contactos a su disposición. Así:

$$E[r_s^x] \geq \frac{\sum_{i \in N_D} r_i}{N_D}$$

En este documento se maneja el supuesto de que el conjunto de científicos del país en vías de desarrollo cumple con esta condición, cada uno de ellos puede considerar la opción de cambiar de red dentro de su conjunto de posibilidades de elección. Así que la fuga de cerebros se concentra en los criterios de decisión del investigador migrante.

Por medio de los argumentos que tiene la función de productividad del investigador, el científico x analiza cuál red le reporta una mayor productividad. A continuación se explica cada argumento: q_p^x es la productividad asociada a la infraestructura que posee el país p , mide los efectos positivos que genera sobre la producción científica del investigador x contar con una infraestructura adecuada; $g(y_p)$ es la función de aglomeración, representa los efectos positivos que tiene sobre la productividad de los investigadores el que estos se encuentren concentrados en p y desarrollando el mayor grado posible de asociatividad investigativa, ésta es una función creciente en y , ya que cuando se incrementan los investigadores y los vínculos entre ellos, se generan economías de aglomeración que llevan a un incremento en la capacidad y producción científica de cada investigador.

La parte $g(y_p)$ es la que se ha desarrollado en este trabajo, ya que es la que mide los cambios en la productividad debido al efecto red (grado de los vértices), mide la colaboración científica que hay en la red, por ejemplo, si aumenta la cantidad de vínculos es porque la producción investigativa obtenida a través de la colaboración científica es mayor. Las diferencias en productividad que obtiene el investigador x si se ubica en un país desarrollado o si se ubica en un país en vías de desarrollo, se pueden dar por:

$$\begin{aligned} \text{Si } q_D^x > q_S^x &\rightarrow r_D^x > r_S^x \\ \text{Si } g(y_D) > g(y_S) &\rightarrow r_D^x > r_S^x \\ \text{Si } (q_D^x > q_S^x) \wedge (g(y_D) > g(y_S)) &\rightarrow r_D^x > r_S^x \end{aligned}$$

En el caso a) el científico x logra una mayor productividad científica en el país desarrollado puesto que tiene a su disposición una mayor infraestructura tecnológica y un mayor capital de inversión. Estos stocks son los causantes de que el conocimiento se encuentre localizado en ciertas regiones geográficas y que la colaboración científica no se pueda dar, independientemente de la ubicación de los investigadores.

En el caso b) las diferencias en productividades que obtiene el científico x dependiendo de la red donde se ubique, se deben a las aglomeraciones de científicos. La función $g(y_p)$ mide el efecto red desarrollado a lo largo de este trabajo; la aglomeración hace referencia al mayor número de científicos que se encuentran produciendo en conjunto. Si la función de aglomeración es mayor en el país desarrollado, entonces $Ep_D(k) > Ep_S(k)$, y la probabilidad de formar nuevos vínculos es mayor en el país desarrollado, ya que esta probabilidad tiene una relación positiva con el grado medio de la red. Además, la probabilidad de encontrar exactamente m científicos con grado mayor o igual que k es mayor en el país desarrollado que en el país en vías de desarrollo.

En el caso c) las diferencias en productividades se dan por ambas razones, por el efecto red y por la infraestructura puesta a disposición del científico x en cada una de las redes geográficas señaladas. Es la combinación de los dos casos anteriores. Generalmente este es el caso que se presenta cuando hay diferencia en productividades entre los dos tipos de países, ya que la aglomeración de científicos y las economías de escala que esta aglomeración produce, incentiva y obliga a la adquisición de mayor infraestructura para el servicio de estos investigadores de alto nivel.

Estos tres casos que producen diferencias en las productividades estimulan la fuga de cerebros ya que pueden incrementar la producción científica e investigativa de x con sólo cambiar de red geográfica. Los casos b) y c) fueron los que se desarrollaron a lo largo del documento.

Cuando los científicos de países en vías de desarrollo emigran para incrementar su productividad, su ubicación en el país desarrollado puede ser de dos tipos: transitoria o permanente. Si es transitoria, los investigadores migrantes estarán únicamente en el país desarrollado durante el tiempo que dure la investigación o producto de coautoría que los obligó a trasladarse.

Si la ubicación en el país desarrollado de los investigadores provenientes del país subdesarrollado es permanente, éstos seguirán desarrollando en el país receptor nuevos productos científicos una vez terminen la investigación que los obligó a trasladarse. Ahora bien, ¿de qué depende que la estadía en el país desarrollado del científico proveniente del país en vías de desarrollo sea temporal o permanente?, depende de la cantidad de vínculos que logre crear en el país desarrollado, puesto que éstos indican la cohesión que tiene el científico x con la red de colaboración científica del país desarrollado.

Si suponemos que x es un investigador ubicado en un país desarrollado que proviene de un país en vías de desarrollo, entonces:

$Vl_x = \{(x, x') / (x \in N_S) \wedge (x' \in N_D)\} \Rightarrow$ Vínculos de colaboración científica de x con pares del país desarrollado. Producción investigativa que desarrolla x una vez se ha trasladado al país desarrollado.

$\sum Vl_x = k_{xD} \Rightarrow$ Grado del nodo x en el país desarrollado, sólo se tienen en cuenta los vínculos de colaboración que tenga con investigadores del país

desarrollado. Esta variable mide la influencia de la colaboración científica internacional en la producción investigativa de x .

$$\text{Si } \sum VI_x \geq Ep_D(k)$$

El investigador x se ubicará permanentemente en el país desarrollado porque tiene un número de vínculos con científicos internacionales al menos igual al grado medio de la red de ese país. La productividad alcanzada por el científico x una vez se ubica en el país desarrollado es mayor o igual a la productividad promedio del país receptor. $Ep_D(k)$ es un umbral que le permite al científico x decidir en cuál red geográfica debe permanecer para incrementar su productividad aún cuando pueda tener productos de coautoría con científicos ubicados dentro o fuera de su red geográfica.

$$\text{Si } \sum VI_x \leq Ep_D(k)$$

El científico x se ubicará transitoriamente en el país desarrollado y, tan pronto termine la investigación por la cual decidió emigrar, retornará a su país de origen. El número de vínculos con científicos ubicados en el país desarrollado es menor que el grado medio de la red científica de ese país. La cohesión de x con la red científica del país desarrollado es baja ya que tiene menos lazos de colaboración científica que lo que tiene esa red en promedio y, por ende, la productividad que obtiene el científico x en el país desarrollado será menor que la productividad media de la red, lo que hace que el investigador retorne a su país de origen.

5. Conclusiones

- El modelo que se presentó muestra que la decisión de un investigador de emigrar en un contexto de red depende de que el grado medio de la red del país desarrollado sea mayor, ya que la productividad de cada investigador está asociada al grado del nodo. Entre mayor sea el grado asociado a cada investigador mayores probabilidades hay de incrementar la productividad de cada científico. Aunque el grado es la medida más básica de centralidad, para el modelo desarrollado es muy importante ya que las alianzas que realiza el científico con otros investigadores tienen un efecto positivo, es decir, la colaboración científica genera mayores beneficios que estar aislado y a su vez promueve el traslado de investigadores desde países en vías de desarrollo hacia países desarrollados.
- La colaboración científica se ve limitada por la ubicación geográfica de los investigadores ya que, por ejemplo, el país desarrollado posee mayor tecnología y mayor capital de inversión puesto al servicio de la investigación, además en el país desarrollado se generan clústers de científicos que incrementan la productividad de quienes están dentro de él. Los clústers de científicos y la tecnología actúan como barreras para que la colaboración

científica se realice, independientemente de la ubicación geográfica de los científicos.

- La productividad de cada científico depende de la infraestructura tecnológica puesta a su servicio y del desarrollo de su red de investigación –clústers de científicos–. Los interlocutores generan un mayor grado de desarrollo en el proceso investigativo de cada científico, lo que lleva a que la red en su conjunto sea mucho más desarrollada. Generalmente la interlocución que pueden lograr algunos científicos en los países en vías de desarrollo es baja, por ello, deciden emigrar, mientras que en los países desarrollados los científicos tienen en promedio mayores conexiones con otros científicos, es decir, el grado medio de la red científica de un país desarrollado comparada con el grado medio de la red científica de un país en vías de desarrollo es mayor.
- En países desarrollados el orden y la medida de las redes científicas son mayores, es decir, hay un mayor número de científicos –nodos–, y un mayor número de relaciones de colaboración científica –vínculos–, lo que permite que la producción de artículos y/o patentes sea mayor. Hay una relación directa entre el desarrollo de la red científica y la productividad de cada investigador.
- El tiempo de estadía en el país desarrollado del científico que emigra desde el país en vías de desarrollo, depende de la cantidad de vínculos que haga en la nueva red. Si el número de vínculos que desarrolla el investigador es mayor que el grado medio de la red de colaboración científica su fuga será permanente, mientras que si el número de vínculos del científico con la red del país desarrollado es menor que el grado medio de la red, la fuga será transitoria.
- Los modelos convencionales para explicar la fuga de cerebros no tienen en cuenta el análisis de red para explicar cómo toman los científicos la decisión de emigrar. El modelo de Miyagiwa (1991) es el único modelo que tiene en cuenta los efectos que genera en la productividad del científico tener otros investigadores alrededor suyo, por eso, se convirtió en un punto de referencia importante para explicar por qué los clúster de científicos generaban economías de escala e incrementaban los diferenciales de preferencia entre el país en vías de desarrollo y el país desarrollado.
- Los datos sobre la producción investigativa y la colaboración científica revelaron que existen grandes brechas entre un país como Colombia –que se puede clasificar en el modelo como un país en vías de desarrollo–, y un país como Estados Unidos –país desarrollado–. La productividad, medida en el número de artículos publicables, de los científicos ubicados en Estados Unidos es muy superior a la productividad de los científicos ubicados en Colombia. Además, el número de científicos es mucho mayor en el país desarrollado, lo que incrementa la probabilidad de que se formen nuevos vínculos entre ellos y que la red científica sea mucho más intensiva y desarrollada.

Bibliografía

- Arthur, W B. (1997): "Industry Location Patterns and the Importance of History", en *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*. The University of Michigan Press. p. 49-67.
- Bernal, A.; Llanos, E. "Redes de coautoría en la ciencia colombiana: 1999-2004". *Observatorio colombiano de ciencia y tecnología*, en: www.ocyt.org.co/esocite/Ponencias_ESOCITEPDF/2COL030.pdf
- Emerson, R. M; et al. (1983): "The distribution of power in exchange networks: Theory and experimental results". *American Journal of Sociology* 89. p. 275–305.
- Ferro, A. (2004): "Brain Drain and the Academic and the Intellectual Labour Market in South East Europe". *UNESCO – CEPES*. Vol. 23, No 3. Pp. 1-30.
- Galeotti, A; et al .(2006): "Network Games". *The Review of Economic Studies*. Pp. 1-37
- Katz, E. y STARK, O. (1984): "Migration and asymmetric information:Comment". *The American Economic Review*. Vol.74, No 3. Pp. 533-534
- Kleinberg, J.; Easley, D. (2007): "Matching Buyers and Sellers". *Networks: Spring 2007* (2007 b): "Network Effects". *Networks: Spring 2007*. Pp. 1-10.
- Kwok, V. y Leland H. (1982): "An economic model of the brain drain". *The American Economic Review*. Vol.72, No 1. Pp. 90-100.
- Lalinde, A. (2008): 50 Cerebros fugados. *Revista Poder*, en: http://www.poder360.com/article_detail.php?id_article=524.
- Miyagiwa, K. (1991): "Scale economies in education and the brain drain problem" *International Economics Review*. Vol. 32, No 3. Pp. 743-759.
- Morris, S. (2000): "Contagion". *Review of Economic Studies* 67. Pp. 57-78.
- National Science Foundation. (2008): *Science And Engineering Indicators 2008*, en: <http://www.nsf.gov/statistics/seind08/c0/c0s4.htm>.
- Newman, M. (2001): "The Structure of Scientific Collaboration Networks". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98 Pp. 404 – 409.
- (2003): "Why social networks are different from other types of networks". *Physical Review E* 68, 036122. Pp. 1-9.
- (2008): "The mathematics of Networks". *The New Palgrave Encyclopedia of Economics*, 2nd edition, L. E. Blume and S. N. Durlauf (eds.), Palgrave Macmillan, Basingstoke. Pp. 12.
- (2008, b): "Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks". *Nature* 453. Pp. 98–101.
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, en: http://www.ocyt.org.co/prg_fre.php?id=2
- Oteiza, E. (1971): "Un replanteo teórico de las migraciones de personal altamente calificado", En busca de un encuadre analítico cap II. En Adams Walter (comp). *El drenaje de talento*. Pp. 184-202.
- Schaeffer , P. (2005): "Human Capital, Migration Strategy, and Brain Drain". *J. Int. Trade & Economic Development*. Vol. 14, No. 3. Pp. 319-335.