**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS**

**DOCTORADO**

# TESIS

# FLUJOS DE CONOCIMIENTO Y CAPACIDADES LOCALES PARA LA DIVERSIFICACIÓN E INNOVACIÓN, EN CIUDADES DE LATINOAMÉRICA

Alumno: Sergio Palomeque
Director de Tesis: Carlos D. Heymann
Codirectora: Viktoriya Semeshenko
Miembros del Tribunal de Tesis: Valeria Arza, Gabriel Montes Rojas y Gabriel M. Palazzo
Fecha de defensa de laTesis: 11 de diciembre de 2024

**Universidad de Buenos Aires**

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

# FLUJOS DE CONOCIMIENTO Y CAPACIDADES LOCALES PARA LA DIVERSIFICACIÓN E INNOVACIÓN, EN CIUDADES DE LATINOAMÉRICA

*Tesis de Doctorado*

Autor:

M.Sc. Sergio Palomeque

Dirigida por:

Dr. Daniel Heymann y Dra. Viktoriya Semeshenko

2024

# Dedicatoria

*A mi tía Eli y mi tío Elio. Su amor incondicional, su constante apoyo, y su capacidad de ver en mi lo que no se veía, me impulsaron a llegar hasta acá.*

# Agradecimientos

Para ser justo con los agradecimientos, pensando en las personas e instituciones que me han apoyado en este proceso, esta sección debería ser las más larga de la tesis. Pero incluso así, seguramente, no lograría evitar cometer muchas omisiones. Es por eso que, en algunos casos, agradeceré a instituciones o colectivos por más que en ellos hayan personas que merecerían ser mencionadas en particular.

En primer lugar agradezco a mis supervisores, Daniel Heymann y Viktoriya Semeshenko, por su apoyo constante a lo largo de estos años. Este apoyo se manifestó, no solo en la guía académica y la disposición constante a responder mis dudas, incluso durante el período de la pandemia de COVID 19, sino que también se expresó en la confianza que mostraron a medida de que yo iba tomando mi propio rumbo. Daniel y Victoria me presentaron una literatura que yo no conocía y que despertó mi interés, pero luego me impulsaron a seguirla desde otra perspectiva, incluso cuando esto implicara mayores cuotas de trabajo para ellos. Su impronta plural y receptiva, su mirada amplia de los problemas complejos, y su calidad humana, son cualidades de mis supervisores que quiero destacar y espero haberlas hecho mías en el proceso, y en el futuro poder transmitirlas.

El vínculo con mis supervisores se dio en el marco institucional del programa de Doctorado en Economía, de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires. A esta institución y, en particular, dentro de ella, al Instituto Interdisciplinario de Economía Política, le estoy enormemente agradecido. El gran talento de las personas que conocí allí, en estos años, aportó muchísimo a mi crecimiento académico. Ademas esto se dio dentro de un marco interdisciplinario que no restringió el enfoque de mis trabajos, tanto en lo teórico como en lo metodológico. Esta impronta de la institución, reflejada y promovida por mis supervisores, fue clave para que pudiera mirar los problemas desde la perspectiva que lo hago.

Otro de los aspectos en los que me sentí apoyado fue en la posibilidad de seguir viviendo en Uruguay, y trabajando el Instituto de Economía de la Facultad de Ciencias Economías de la Universidad de la República. Es por ello que esta institución también ha jugado un papel importante en mi formación como doctor. Desde mis comienzos en el Grupo de Investigación en Dinámica Económica, antes de desembarcar en el Instituto de Economía, y luego en el Grupo de Investigación en Desarrollo, tuve la oportunidad de trabajar con grandes colegas que sin dudas también moldearon mi forma de entender el trabajo académico. El grupo

humano con el que tengo el gusto de trabajar es magnífico. Desde lo intelectual me desafían constantemente, pero siempre en un ambiente respetuoso y amigable.

Entre estos colegas hay dos a quienes quiero agradecer particularmente, mis amigos y coautores, Carlos Bianchi y Pablo Galaso. Ambos han sido grandes mentores en mi formación académica. Ellos fueron parte, junto con Viktoriya, de mi tribunal de tesis de maestría. Desde entonces empezamos a pensar juntos problemas que nos resultan interesantes, que nos desafían intelectualmente y a los que nos merece la pena dedicarle mucho tiempo. Ellos han tenido una enorme generosidad intelectual para conmigo, brindando su apoyo y experiencia, pero permitiéndome trabajar con autonomía. Sería imposible enumerar aquí las ideas, actividades y proyectos en los que me han acompañado sin titubear. Soy una persona afortunada en muchos aspectos, pero sin duda que tener la oportunidad de trabajar con colegas como Carlos y Pablo aporta mucho a mi fortuna.

La actividad académica es, así lo entiendo yo y muchos, una actividad colectiva. Es por ello que los vínculos de colaboración son un elemento clave para poder desarrollar investigación de calidad. En este sentido, a lo largo de mi formación doctoral he tenido la oportunidad de participar en muchas actividades académicas a nivel internacional, las cuales hicieron posible que comenzara a sembrar vínculos que han ido creciendo y en este momento me permiten estar trabajando en proyectos de investigación con colegas de varias instituciones a nivel mundial. Muchos de estos colegas son hoy amigos y amigas, con los cuales compartimos ámbitos académicos, pero también me brindan un sentido de comunidad cuando participo en estos eventos en distintas partes del mundo. Mientras escribo me doy cuenta de que esta lista es realmente larga, lo cual me alegra mucho pero me deja ante el riesgo de omitir a personas queridas. Es por eso que, en estas páginas les dejo un agradecimiento a esa comunidad en general, y les agradeceré personalmente en el próximo evento.

Como dije, los vínculos son importantes y, en el ámbito académico, solemos desarrollarlos en el marco de eventos que ocurren en instituciones. No podría aquí mencionar a todas las universidades que afortunadamente he tenido la oportunidad de visitar, en muchas de ellas escribí partes de este trabajo. Pero sin embargo, hay dos instituciones que me recibieron por períodos prolongados, dándome la oportunidad de experimentar la vida académica en otros contextos, así como también apreciar la aplicación del conocimiento que se genera en la investigación académica. Por eso, quiero agradecer especialmente a la sección de Economía de la Innovación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, donde me recibieron y me dieron la oportunidad de explorar nuevas líneas de investigación en base al enorme trabajo que allí realizan. La experiencia fue magnífica gracias a la calidad humana de los anfitriones. En segundo lugar, quiero agradecer al Departamento de Geografía Humana y Planificación Espacial de la Universidad de Utrecht. Con ellos tuve la oportunidad de tener dos estadías, en las cuales me dieron la posibilidad de discutir con los referentes de mi campo sobre los resultados de mi trabajo de investigación, participar como un miembro más del grupo en sus actividades académicas y planificar líneas de trabajo en colaboración. Mi

experiencia con el grupo de Utrecht, más allá de lo académico, me mostró que incluso en la frontera del conocimiento se puede trabajar en entornos humanos distendidos, cordiales e intelectualmente generosos.

El trabajo académico que he realizado en estos años requiere recursos, por eso quiero reconocer a algunas de las instituciones que me han apoyado para hacer posible este trabajo. La Agencia Nacional de Innovación e Investigación de Uruguay financió en gran medida el proyecto que permitió llevar adelante la mayor parte de esta investigación. A lo largo de este tiempo también tuve el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica de Uruguay con distintos programas que me permitieron dedicar tiempo a la investigación, presentar trabajos a nivel internacional y organizar eventos académicos. Obviamente el Instituto de Economía y la Facultad de Ciencias Económicas de la UdelaR me brindaron apoyo en este sentido, además del entorno académico que fue determinante. Más recientemente he recibido el apoyo de la Regional Studies Assosiation, una organización internacional, de referencia en mi campo, que me ha apoyado a expandir mis vínculos académicos y a establecer una red de investigación en torno a los temas en los que trabajo. Fuera de estas un gran número de instituciones académicas me han apoyado de distintas maneras, a todas ellas mi agradecimiento.

Esta tesis no solo se escribió en escritorios de universidad y en bibliotecas. Hay muchos cafés y bares, instituciones se podría decir, que me han servido de refugio y me han dado un espacio para sentirme cómodo estando lejos de casa, o simplemente para cambiar de aire. Entre estos voy a mencionar solo dos, en los cuales he pasado más horas comiendo, tomando café y escribiendo. Bazar Café y el bar Las Flores, son lugares que he sentido como una extensión de mi casa y no sería justo que los dejara afuera.

A lo largo de este camino he tenido la suerte de contar también con el apoyo incondicional del entorno afectivo que me rodea. Este apoyo, que en muchos momentos se volvió contención, fue fundamental no solo para atravesar este proceso, sino que también para hacerlo con alegría. Es por eso que quiero cerrar esta sección agradeciendo a algunas de estas personas que integran este entorno. En este aspecto, tal vez más que en lo profesional, estoy seguro de que voy a cometer omisiones de las que me daré cuenta cuando el documento ya esté publicado, por eso voy a incluir algunos colectivos que aplaquen esta omisión.

Voy a empezar agradeciendo a una hermana y un hermano que me han dado la vida, Pato y Chino (tienen nombres pero sentiría que hablo de otras personas si los usara). Tanto *la* Pato como *el* Chino han sido pilares del proceso que me ha traído hasta acá, no solo desde que empecé el doctorado sino desde mucho antes. Ellos han tenido que escuchar muchas veces sobre los desafíos que parecían insalvables desde que comencé mi formación profesional. En todo ese camino, su presencia, su escucha, su charla, su amistad, han hecho que las fuerzas me dieran y que el proceso siguiera siendo con alegría. Mencionando solo a ellos estoy dejando por fuera a muchos amigos y amigas, que sin duda me han dado mucho para que yo sea yo, pero todos ellos y todas ella saben cuánto les quiero. Algunas de estas personas

son anónimas, y son las que hace ya mucho tiempo me mostraron cómo pararme, y hacer mi camino. A ellos, solo por hoy, muchas gracias.

Desde mucho antes del inicio del proceso que culmina con este trabajo, mi familia ha jugado un rol determinante para que yo recorriera este camino. Hace mucho tiempo, cuando yo engrosaba las estadísticas de jóvenes que habían abandonado la educación por varios años, la idea de llegar a convertirme en Doctor era impensable. Desde ese entonces, Eli, Elio y Fabi fueron pilares para que yo terminara el liceo, me vieron meterme a facultad, cambiar de carreras, hacer la maestría y el doctorado. En el camino Fabi sumó a Yama y ambos trajeron a mi sobrina y ahijada Agata. Gracias a eso, con Agata he podido compartir muchas meriendas, comiendo torta o tomando helado, hablando de sistemas complejos y de elaboración de argumentos. Esta familia elegida, que se junta los domingos a almorzar con muchas risas y charlas a los gritos en las que Agata dice no entender nada, han sido sin dudas un factor determinante para hacerme la persona y el profesional que soy al día de hoy, por eso y por mucho más mi infinito agradecimiento.

En los últimos años comencé a compartir mi vida con Maite, quien es hoy mi pareja, mi compañera. Ella llegó en una etapa muy intensa de este proceso, donde yo estaba tratando de acelerar luego de que la pandemia hiciera los tiempos mucho más lentos. Maite trajo consigo a Moro, nuestro "*perrijo*", y a su familia que es un grupo de personas hermoso que me hizo sentir parte desde el primer día. Todo esto contribuyó a que yo tuviera no solo el apoyo, sino que la compañía para hacer de este proceso, y de los sacrificios que implica en muchos momentos, una experiencia gratificante y alegre. Maite transformó mi vida en muchos sentidos, en todos la hizo mejor, y me brindó el apoyo necesario para culminar este proceso. Mi agradecimiento hacia ella no tiene límites, y espero ser capaz de expresar este agradecimiento en el camino que tenemos por delante.

# Resumen

Esta tesis estudia cómo el acceso a flujos de conocimiento y las capacidades locales para aprovecharlos, han afectado los procesos de innovación en las principales ciudades de Latinoamérica durante los últimos años. Para ello se analiza cómo afecta la posición que ocupan estas ciudades, en las redes de colaboración, a sus niveles de innovación; la relación existente entre los niveles de complejidad de la base de conocimientos, con su capacidad de intermediar o vincularse con intermediarios; y de qué manera la base de conocimientos disponible afecta sus posibilidades de diversificarse hacia nuevas y más complejas tecnologías. La tesis se apoya en la literatura que aborda los problemas de la innovación en economías relativamente menos desarrolladas, desde una perspectiva que considera a las aglomeraciones urbanas como un factor central en los flujos de conocimiento. De esta forna, los conceptos principales del trabajo provienen del enfoque de los sistemas de innovación, los estudios de innovación abierta, la economía de la complejidad y geografía de la innovación. Se hace uso de datos de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos, se construyen redes de colaboración entre ciudades de Latinoamérica, se analiza la cercanía de conocimiento entre campos tecnológicos, y se conducen análisis econométricos para contrastar las hipótesis. Los resultados muestran una asociación positiva entre la centralidad de las ciudades en la red de colaboración, y su desempeño innovador. Sin embargo, no todo tipo de centralidad impulsa la innovación, ya que la intermediación entre ciudades de la región y fuera de ella, parece implicar costos que afectan negativamente los niveles de innovación. Por otro lado, conectar a otras ciudades, relativamente aisladas en las redes de colaboración, muestra tener una asociación positiva con los niveles de complejidad de la base de conocimientos de la ciudad que oficia de nexo y de las que se conectan con esta. Por último, los resultados muestran que la estabilidad de las tecnologías presentes en una ciudad, así como las alternativas de las que dispone para elegir su camino de diversificación, son relevantes para entender los procesos de diversificación tecnológica en Latinoamérica. Este trabajo contribuyen a entender los factores que afectan el desempeño innovador de la región, y muestran la relevancia de seguir investigando en esta línea. El análisis del vínculo entre las características internas de la base de conocimiento de las ciudades y su acceso a flujos globales de conocimiento, se presenta como una línea futura de investigación que puede ser de particular relevancia.

**Palabras clave:** redes de colaboración, ciudades, base de conocimiento, Latinoamérica
**Códigos JEL:** O31, O34, O36

# Índice general

**1. Introducción, literatura y métodos** **1**

1.1. Introducción . . . . . 1

1.2. Antecedentes y revisión de literatura . . . . . 4

1.3. Metodología . . . . . 9

**2. Ventajas y desventajas de la intermediación** **13**

2.1. Introducción . . . . . 13

2.2. Marco teórico . . . . . 16

2.3. Datos y metodología . . . . . 21

2.4. Resultados . . . . . 25

2.5. Discusión y Conclusiones . . . . . 29

**3. Complejidad e intermediación** **33**

3.1. Introducción . . . . . 33

3.2. Marco teórico . . . . . 36

3.3. Datos y metodología . . . . . 42

3.4. Resultados . . . . . 48

3.5. Discusión y Conclusiones . . . . . 53

**4. Proximidad y diversificación** **57**

4.1. Introducción . . . . . 57

4.2. Marco teórico . . . . . 61

4.3. Datos y metodología . . . . . 69

4.4. Resultados . . . . . 76

4.5. Discusión y Conclusiones . . . . . 81

**5. Conclusiones** **85**

5.1. Vínculos en las redes de colaboración entre ciudades . . . . . 86

5.2. El rol de la intermediación . . . . . 87

5.3. La dimensión interna de la ciudad . . . . . 88

5.4. Futuras líneas de investigación . . . . . 89

**A. Apéndice del capítulo 2** **93**
A.1. Análisis de multicolinealidad . . . . . 93
A.2. Análisis factorial . . . . . 94
A.3. Ciudades de Latinoamérica . . . . . 95
A.4. Descriptivas . . . . . 95

**B. Apéndice del capítulo 3** **97**
B.1. Estadísticas descriptivas de las redes de ciudades . . . . . 97
B.2. Evolución de la estructura de la red . . . . . 97
B.3. Ciudades consideradas en los modelos econométricos . . . . . 99

**C. Apéndice del capítulo 4** **101**
C.1. Efectos marginales y ejercicios de robustez . . . . . 101

**Bibliografía** **105**

**Índice de figuras** **122**

**Índice de tablas** **123**

# Capítulo 1

# Introducción, literatura y métodos

## 1.1. Introducción

El problema de investigación que motiva esta tesis consiste en estudiar de qué manera la base de conocimientos y el acceso a flujos globales y regionales de conocimiento, han afectado el desempeño innovador de Latinoamérica en los últimos años. De esta manera se espera contribuir a entender cómo las ciudades de Latinoamérica pueden hacer uso de su posición en las redes de intercambio de conocimiento, para mejorar sus resultados en materia de innovación, así como también, aportar a la identificación de senderos de diversificación disponibles para estas ciudades. Los resultados de este trabajo mejoran nuestro entendimiento, desde el punto de vista teórico y empírico, acerca de cómo enfrentar las limitaciones en materia de innovación de la región.

Para abordar este problema, en este trabajo, se pone el foco en las principales aglomeraciones urbanas de Latinoamérica, como espacios de acumulación de conocimiento que condicionan las trayectorias de innovación. El alcance temporal de la tesis abarca las dos primeras décadas del siglo XXI, período durante el cual la región vivió la salida de la crisis que atravesó hasta principios de siglo, así como un contexto internacional que en general le fue favorable debido al auge de precios de las materias primas.

Para ordenar al abordaje del problema de investigación, se plantea como objetivo general estudiar cómo el acceso a flujos de conocimiento, así como las capacidades locales para aprovecharlos, han afectado los procesos de innovación en las principales ciudades de Latinoamérica durante los últimos años. Como forma de operacionalizar este objetivo general, se plantean tres objetivos específicos.

El primer objetivo específico consiste en analizar cómo afecta la posición que ocupan las principales ciudades de Latinoamérica, en los flujos de conocimiento, a sus niveles de innovación. La hipótesis general que guía el abordaje de este objetivo es que las ciudades que ocupen posiciones centrales, en los flujos de conocimiento, mostrarán un mejor desempeño innovador gracias a su capacidad de acceder a una mayor variedad de tipos de conocimiento.

Sin embargo, no todas las posiciones centrales serán favorables, ya que algunas implican acceso a conocimiento redundante o altos costos para mantener los vínculos.

En segundo lugar, se plantea como objetivo estudiar la relación existente entre los niveles de complejidad de la base de conocimientos de estas ciudades, con su capacidad de intermediar o vincularse con intermediarios en los flujos de conocimiento globales. Como hipótesis general, en este caso se plantea que la intermediación en los flujos de conocimiento ofrece ventajas en cuanto al grado de complejidad de las innovaciones que se desarrollan, pero además las ciudades pueden beneficiarse manteniendo vínculos con las que ocupan posiciones de intermediación relevantes.

Finalmente, como tercer objetivo, se busca comprender de qué manera la base de conocimientos disponible afecta las posibilidades de las ciudades de diversificarse hacia nuevas y más complejas tecnologías. En este sentido, la hipótesis orientadora es que resulta más probable diversificarse hacia tecnologías para las cuales la ciudad cuenta con conocimientos cercanos, especialmente si se pretende alcanzar tecnologías de mayor complejidad, pero a su vez el exceso de cercanía puede disminuir esta probabilidad.

Por medio de estos objetivos, la tesis realiza contribuciones a distintos niveles. Desde el punto de vista académico existe un vacío relativo en materia de investigación sobre los efectos de las redes de colaboración, en los desempeños innovadores de la región. La literatura con la que dialoga este trabajo a estudiado, mayoritariamente, países desarrollados. En este aspecto, las contribuciones de la tesis buscan echar luz en las dificultades específicas que enfrentan las ciudades de Latinoamérica para sostener ciertas posiciones en las redes de colaboración internacional. El acceso a flujos de conocimiento externo, que pueda ser utilizado para la generación de conocimiento local, es un factor central para el fortalecimiento de los sistemas de innovación de la región. Sin embargo, esta necesidad puede ser un elemento que debilite los vínculos internos de la región, ya sea por la falta de diversidad de conocimiento o capacidades, así como también por el costo de intermediar entre la región y el exterior.

En esta línea, la tesis aporta elementos teóricos para entender el problema que enfrenta la región, pero su alcance no se limita a ella. Para esto se aplican metodologías de análisis de redes sociales, que permiten identificar posiciones relevantes en las redes de colaboración, para estudiar el rol que ocupan las ciudades. Esto permite avanzar en la elaboración teórica, sobre la asociación entre los roles de intermediación, ampliamente estudiados a nivel de los países desarrollados, y el desempeño innovador de ciudades en países en desarrollo.

Por su parte, el trabajo no se limita a entender la asociación entre la topología de la red de colaboración y los niveles de patentamiento, como proxy de innovación, sino que también con las posibilidades de complejización de la economía. Este es un elemento que se ha mostrado asociado a procesos de desarrollo exitoso, pero que aún no ha sido suficientemente estudiado para regiones en desarrollo. En este aspecto la contribución se centra en la elaboración teórica del rol que juegan las ciudades que ocupan posiciones de intermediación en las redes de colaboración, para ellas y para las ciudades que son capaces de conectarse con ellas.

Este aspecto es central para Latinoamérica, ya que un camino para superar las restricciones al desarrollo de nuestros sistemas de innovación puede ser la colaboración interna para la resolución de problemas comunes, mediante la innovación local. Pero además, para impulsar procesos de innovación de alto nivel, dada la posición periférica de la región, es fundamental el acceso a flujos de conocimiento externo. Por lo cual es necesario mejorar nuestra comprensión sobre el rol de las ciudades intermediarias en la complejización del conocimiento técnico producido regionalmente.

Por otro lado, la literatura con la que busca dialogar este trabajo ha avanzado considerablemente en explicar de qué manera la complejidad de los territorios se asocia con distintos tipos de desempeño económico, pero sin embargo no se ha avanzado de igual manera en entender los factores que afectan el nivel de complejidad que desarrollan las ciudades. En este sentido la investigación realizada busca enriquecer este cuerpo teórico, más allá de su aplicación para Latinoamérica, al aportar elementos para entender el vínculo entre las estructuras de colaboración y la complejidad de los territorios.

A su vez, la tesis también contribuye con la literatura sobre diversificación, desde la perspectiva de la geografía económica evolucionista, aportando conceptos que permiten la búsqueda de senderos de diversificación que vayan más allá de la cercanía directa entre un territorio y la tecnología que se quiere alcanzar. Este es un elemento central en esta literatura, donde se ha estudiado ampliamente la importancia de elaborar estrategias de diversificación que tengan en cuenta las capacidades locales. En este sentido esta tesis va más allá en el estudio de las redes de cercanía entre tecnologías, ampliando la variedad de características topológicas a ser consideradas.

Este avance en la riqueza de conceptos teóricos y estrategias metodológicas contribuye a que este enfoque sea capaz de abordar un mayor número de problemas. En este sentido, esta literatura ha mostrado tener ciertas limitaciones al tratar de entender de qué manera los territorios menos desarrollados, pueden evitar quedar bloqueados en el desarrollo de actividades de baja complejidad. Este es un problema relevante no solo para Latinoamérica, por lo cual se han realizado esfuerzos para abordarlo a nivel global. Profundizar en el análisis de la topología de las redes de cercanía entre actividades, como se aborda en este trabajo para la red de cercanía de tecnologías, puede contribuir al desarrollo teórico y el diseño de políticas públicas en economías menos desarrolladas.

En cuanto a la estructura del documento, el resto de este capítulo continúa, en la sección 1.2, con una presentación de los antecedentes y la literatura más relevante para esta investigación. Con ello se pretende exponer el marco conceptual y el debate en el que se inserta el trabajo. El capítulo concluye, en la sección 1.3, con una presentación general de la metodología empírica aplicada en esta investigación. Ambas secciones describen aspectos generales, que luego son profundizados en los capítulos siguientes. Los objetivos y aportes de este trabajo se realizan en los capítulos 2, 3 y 4, donde cada uno se corresponde con un objetivo específico. Los capítulos 2 y 3 se basan en artículos publicados en coautoría. El capítulo 2

en Bianchi, C., Galaso, P., & Palomeque, S. (2023). The trade-offs of brokerage in inter-city innovation networks. *Regional Studies*, 57(2), 225–238. Mientras el capítulo 3 en Bianchi, C., Galaso, P., & Palomeque, S. (2023). Knowledge complexity and brokerage in inter-city networks. *The Journal of Technology Transfer*, 48(5), 1773–1799. Por su parte el capítulo 4 es un trabajo de autor único que se encuentra en proceso de edición para ser sometido a revisión de pares. La tesis culmina en el capítulo 5 donde se articulan las conclusiones generales del trabajo que resultan de una mirada transversal de los distintos capítulos, así como también se plantean futuras líneas de investigación que se desprenden de este trabajo.

## 1.2. Antecedentes y revisión de literatura

Este trabajo dialoga con la literatura que aborda los problemas de la innovación en economías relativamente menos desarrolladas, desde una perspectiva que considera a las aglomeraciones urbanas como un factor central en los flujos de conocimiento. Por tanto, es posible identificar antecedentes a este trabajo desde el enfoque de los sistemas de innovación, los estudios de los procesos de innovación abierta, la economía de la complejidad y los aportes de la economía geográfica de la innovación. A continuación se presentan algunos de los aportes relevantes desde estas perspectivas, que sirven de antecedentes, y brindan conceptos centrales para esta tesis.

La innovación es la base del cambio técnico y estructural, los cuales son claves para el desarrollo económico (Schumpeter, 1934, 1943). A su vez la innovación se sustenta, en gran medida, en la generación de nuevo conocimiento técnico, científico y práctico (Nelson y Winter, 1977, 1982). Más allá de la forma en la que clasifiquemos el conocimiento, en todo caso se trata de la capacidad humana de transformar su entorno. A su vez, el nuevo conocimiento puede ser visto como la recombinación de conocimiento previamente disponible (Fleming y Sorenson, 2001; Sorenson, Rivkin, y Fleming, 2006), por lo tanto la base de conocimientos de una sociedad afecta sus posibilidades de generación de nuevo conocimiento y, por medio de esto, la capacidad de innovar. Debido a ello podemos decir que, la diversificación de la base de conocimientos de una sociedad es un elemento central para su desarrollo económico. Este trabajo estudia procesos de generación de nuevo conocimiento, para contribuir a entender de qué manera las economías menos desarrolladas pueden diversificar su base de conocimientos para que esta sirva a su desarrollo económico. Esto conduce a enfrentarse a ciertos desafíos teóricos.

La diversificación de la base de conocimientos es un concepto central dentro del enfoque de la economía evolucionista, en la cual se entiende que la empresa no puede describirse mediante una función de producción que deba optimizarse, ya que opera con racionalidad limitada. Es por ello que la firma genera rutinas para llevar adelante su producción, las cuales va ajustando a lo largo del tiempo en base a sus resultados económicos y el aprendizaje que genera de su entorno. La actualización de las rutinas de la firma se produce mediante un

proceso de aprendizaje adaptativo que la vuelve dependiente de su trayectoria previa. Por su parte, este mismo proceso adaptativo lleva a recombinaciones de su base de conocimientos que pueden resultar en innovaciones que modifiquen sus rutinas (Antonelli, 2011; Nelson y Winter, 1982).

En dialogo con estas ideas, la geografía económica evolucionista (GEE) (Boschma y Frenken, 2006; Boschma y Lambooy, 1999; Martin, 1999; Martin y Sunley, 2006) aporta otros elementos para entender de qué manera los territorios pueden modificar su base de conocimientos. Este enfoque busca abordar ciertas limitaciones de otros enfoques de la geografía económica, incorporando conceptos de la economía evolucionista (Dosi, 1988; Nelson y Winter, 1982), la escuela francesa de la proximidad (Balland, Boschma, y Frenken, 2015; Boschma, 2005) y el enfoques de la complejidad (Martin y Sunley, 2007). La GEE pone su foco en el estudio del desarrollo y la transformación económica, condicionada por procesos históricos que no solo generan una dependencia del pasado, sino también del territorio.

Dentro de este marco conceptual, es posible estudiar a las ciudades como unidades económicas que compiten por el desarrollo de nuevas actividades que les permitan impulsar el desarrollo local. Esto plantea una dificultad conceptual ya que en el enfoque evolucionista la entrada y salida de firmas es central, pero las regiones son entidades que no entran o salen del sistema. Sin embargo sí es posible analizar a las regiones como unidades que compiten por la instalación de actividades económicas, donde la pérdida o ganancia de estas afecta su desempeño económico (Boschma, 2004). Estas actividades son vistas como materializaciones de la base de conocimientos disponibles en el territorio, por lo tanto su diversificación y complejización muestra el desarrollo de la base de conocimientos disponibles subyacente (Balland y Rigby, 2017; Frenken, Van Oort, y Verburg, 2007).

Es posible pensar en distintas formas por las cuales se generan flujos de conocimientos que modifican la base de conocimientos de una ciudad, pero en este trabajo se analizan dos. Por un lado los flujos en los que intervienen distintas ciudades, las cuales modifican su base de conocimientos mediante la colaboración. Por otro lado se considerarán modificaciones de la base de conocimientos que surgen a partir de la recombinación de capacidades presentes en la ciudad.

El enfoque sistémico de la innovación tiene en su base la idea de que los sistemas de innovación (SI) son redes dinámicas de interacción entre agentes, en los cuales se intercambia, usa y reproduce conocimiento interno y externo (Freeman, 1991). A su vez este enfoque enfatiza que los distintos SI presentan senderos de evolución diferenciados, donde distintos componentes del sistema juegan distintos papeles y dan paso a las innovaciones, que son vistas como fenómenos emergentes (Erbes, Robert, y Yoguel, 2010) y son observables en una variedad ámbitos (Katz y Ronda-Pupo, 2019).

Por su parte, Johnson (2008) plantea que las ciudades trabajan como un entorno de resolución de problemas para los SI nacionales y regionales. De acuerdo a esta perspectiva, las ciudades funcionan como un SI cuya dinámica interna se determina por su especialización,

los beneficios que esa especialización genera a los agentes del SI y la dinámica de interacciones entre personas y organizaciones para la producción y el intercambio de conocimiento. En esta misma línea otros trabajos (Breschi y Lenzi, 2015; Makkonen, Merisalo, y Inkinen, 2018) han enfatizado que el entorno generado por las ciudades está relacionado a la acumulación de conocimiento que surge de las interacciones entre agentes, las cuales a su vez están asociadas a procesos históricos que no son fácilmente transferibles a otros territorios. Estas interacciones involucran actores presentes en la ciudad, pero también a otros fuera de ella, creando redes de colaboración entre ciudades (Fan, Lian, y Wang, 2020; Maisonobe, Grossetti, Milard, Eckert, y Jégou, 2016). Esta interacción genera beneficios, pero también costos dependiendo del rol que juega la ciudad en la red.

En línea con esta idea, dentro de la geografía económica se ha desarrollado un cuerpo de literatura (Bathelt, Malmberg, y Maskell, 2004) que enfatiza la relevancia de la interacción entre las capacidades de absorción internas del territorio, y los vínculos con el exterior a los que tenga acceso. La interacción interna permite la difusión de ideas, el intercambio de conocimiento tácito y el fortalecimiento de clusters que promuevan la innovación (Porter, 1990; Saxenian, 1994). Pero esta estructura interna puede conducir a situaciones de bloqueo por la circulación de conocimiento homogéneo y redundante (Bettencourt, Lobo, y Strumsky, 2007; Lobo y Strumsky, 2008), por lo cual resulta fundamental la capacidad de introducir conocimiento externo participando en canales globales. Esta interacción entre capacidad interna y vínculo externo genera un proceso de cambio evolutivo que modifica la base de conocimientos del territorio (Antonelli, Crespi, y Quatraro, 2020; Graf y Kalthaus, 2018).

Para economías menos desarrolladas la diversificación de su base de conocimientos, como medio para mejorar su desempeño económico, es un elemento central. Desde la perspectiva de la GEE, la dependencia de la trayectoria y del territorio puede conducir a situaciones de bloqueo que hacen especialmente difícil que las regiones menos desarrolladas mejoren su situación (Hartmann, Guevara, Jara-Figueroa, Aristarán, y Hidalgo, 2017; Hartmann, Zagato, Gala, y Pinheiro, 2021; Isaksen, 2015). Un importante número de trabajos aplicados estudian este fenómeno para distintas regiones y desde variadas perspectivas. Estos muestran que los territorios pueden quedar atrapados en una estructura productiva, entendida como el conjunto de actividades que se desarrollan en él, que limite su desarrollo económico. Estos territorios, al estar especializados en actividades de menor complejidad, no disponen de las capacidades que les permitirían desarrollar actividades más complejas, lo cual los deja entrampados. La búsqueda de estrategias que permitan superar este bloqueo es clave para la implementación de políticas públicas.

Por su parte, esto es sumamente relevante para Latinoamérica, donde los desafíos de la región para construir y sostener sistemas de innovación, que impulsen su desarrollo, han sido ampliamente estudiados. Trabajos previos muestran que la región se caracteriza por tener sistemas de innovación frágiles y fragmentados, ocupando una posición periférica a nivel global (Bianchi, Galaso, y Palomeque, 2021; Chaves, Leonardo Costa Ribeiro, Ulisses Pe-

reira, dos Santos, y Albuquerque, 2020; Cimoli y Katz, 2003; Cimoli, Primi, y Ferraz, 2005). En este sentido, Crespi y Dutrénit (2014) señalan que los sistemas de innovación a nivel nacional en Latinoamérica son pequeños, en relación al tamaño de los países, y sufren de falta de financiamiento público y privado, todo lo cual lleva a que la región principalmente adapte tecnologías desarrollada fuera de ella. Otros trabajos también han hecho énfasis en que la región es extremadamente dependiente de los flujos de conocimiento externo (Delvenne y Thoreau, 2017; Montobbio y Sterzi, 2011).

Pese a estas características generales, la literatura también ha identificado polos con grandes capacidades en materia de investigación e innovación (Arocena y Sutz, 2010; Castellacci y Natera, 2016; Confraria y Vargas, 2019; Reis, Gonçalves, y Taveira, 2018), principalmente localizados en ciudades que concentran la mayor cantidad de centros de investigación, disponen de importantes servicios públicos y de la presencia de las principales universidades (de Araújo y cols., 2019). Esto se alinea con cambios recientes en la producción de conocimiento, donde se observa una mayor participación de regiones periféricas, así como una marcada interacción entre conocimiento local y global (Adams, 2013; WIPO, 2018).

El papel preponderante de las ciudades no es exclusivo de Latinoamérica (Balland y cols., 2020; Bergquist, Fink, y Raffo, 2018; Maisonobe y cols., 2016), pero en la región se ve reforzado por un proceso de regionalización de la educación superior y los centros de investigación, lo que ha llevado a que las ciudades ocupen un lugar central en este sentido (Rama y Cevallos, 2016). Estos aspectos llevan a que se impulse una reflexión académica acerca de la necesidad de abordajes específicos para la región en materia de políticas públicas, que contemplen esta estructura territorial (Duque Franco, 2021; Marchetti, Oliveira, y Figueira, 2019).

El interés por el rol que juegan las ciudades, en cuanto aglomeraciones urbanas, en los procesos de innovación ha sido abordado previamente por medio del estudio de interacciones a la interna de las ciudades, analizando estructuras de colaboración e interacción entre ciudades, así como también observando la relevancia del balance entre estos dos niveles (Cao, Derudder, Dai, y Peng, 2021; Fan y cols., 2020; Guan, Zhang, y Yan, 2015; Maisonobe y cols., 2016; Yao, Li, y Li, 2020). En esta literatura se entiende que los territorios se favorecen de ciertas estructuras en sus redes de colaboración a la interna, las cuales permiten que los conocimientos circulen con facilidad. Pero por otro lado, se requiere de vínculos con fuentes de conocimiento externas al territorio para que el conocimiento circulante no se vuelva redundante y conduzca a un bloqueo en los procesos de innovación. Estos bloqueos han sido estudiados para países de bajo desarrollo, donde incluso se llegan a observar procesos de desacumulación (Cimoli y Porcile, 2009; Yoguel y Robert, 2010).

Los resultados previos en esta línea muestran que la centralidad de los actores en el intercambio de conocimiento, con fuentes externas a su territorio, puede favorecer su desempeño (Bathelt y cols., 2004; Owen-Smith y Powell, 2004; Wolfe y Gertler, 2004). Este efecto se ve condicionado por las capacidades internas de absorción de conocimientos, pero también

por la capacidad de distribuir los costos que implica el mantenimiento de un alto número de vínculos (de Araújo y cols., 2019; Giuliani y Bell, 2005; Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013; Yao y cols., 2020).

Gran parte de esta literatura se ha enfocado en los efectos de red sobre los resultados de los procesos de innovación (Bettencourt y cols., 2007; Breschi y Lenzi, 2015; Cao y cols., 2021; Y. Li y Rigby, 2023), así como también se ha estudiado la relación entre la base de conocimientos del territorio con su estructura de innovación (Cantner, Meder, y ter Wal, 2010), pero el foco se ha centrado en países desarrollados. A su vez la literatura también ha buscado entender el efecto de la complejidad de la base de conocimientos del territorio, sobre los resultados en materia de innovación (Y. Li y Rigby, 2023; Mewes y Broekel, 2020; van der Wouden, 2022). Este es un elemento central para países en desarrollo ya que la diversificación y sofisticación de las capacidades se asocian a trayectorias de desarrollo virtuosas (Hartmann y cols., 2021; Pinheiro, Hartmann, Boschma, y Hidalgo, 2021).

Trabajos previos han corroborado la fuerte asociación entre el nivel de complejidad de las unidades económicas (países, territorios, ciudades, firmas), con el crecimiento económico (Hausmann y Hidalgo, 2011), el desarrollo regional (Antonelli, Crespi, Mongeau Ospina, y Scellato, 2017), los procesos de cambio estructural (Hartmann y cols., 2021) y la desigualdad de ingresos (Hartmann y cols., 2017). Por su parte varios trabajos han investigado las consecuencias de la complejidad de la base de conocimientos a distintos niveles (firmas, región, país), con un reciente y marcado énfasis en el rol de las ciudades (Balland y cols., 2020; Boschma, Balland, y Kogler, 2015; Breschi y Lenzi, 2015; Y. Li y Rigby, 2023; Nepelski y De Prato, 2015; van der Wouden, 2022).

En dialogo estrecho con los desarrollos revisados en los párrafos anteriores, durante las dos últimas décadas se ha producido un importante número de investigaciones que estudian procesos de diversificación económica y sus desafíos. En esta línea se entiende que la búsqueda de diversificación económica se puede transitar mediante el desarrollo de actividades cercanas a las que están presentes en el territorio (diversificación relacionada), intentando alcanzar algunas que sean distantes a las habilidades disponibles (diversificación no relacionada), o con una combinación de ambas estrategias que se ajuste a las características de la región estudiada (Boschma, 2022).

Estos trabajos han mostrado que una actividad se comenzará a desarrollar con mayor probabilidad en un territorio, si previamente existen otras que son cercanas a ellas. Del mismo modo, las actividades que se desarrollan en un territorio tienen menos probabilidad de desaparecer, cuanto mayor es el número de actividades relacionadas en el mismo territorio. Es por ello que la diversificación relacionada ha sido propuesta como la base de las políticas de especialización inteligente, ampliamente promovidas en Europa (Balland, Boschma, Crespo, y Rigby, 2019; Boschma, 2022; Foray, 2014).

Pero la diversificación no relacionada también ha recibido gran atención dado que se asocia con procesos de transformación potencialmente más disruptivos, aunque también más

riesgosos (Alshamsi, Pinheiro, y Hidalgo, 2018; Castaldi, Frenken, y Los, 2015; Grillitsch, Asheim, y Trippl, 2018; Janssen y Frenken, 2019; Pinheiro y cols., 2021; Zhu, He, y Zhou, 2017). Esto ha llevado a que la literatura avance en la comprensión de las características y la relación entre estos dos conceptos (Asheim, Boschma, y Cooke, 2011; Content y Frenken, 2016; Juhász, Broekel, y Boschma, 2021; Whittle y Kogler, 2020).

Este abordaje ha sido aplicado para entender la cercanía, por ejemplo, entre bienes exportables (Hausmann y cols., 2013; Hidalgo, Klinger, Barabási, y Hausmann, 2007), áreas de conocimiento (Guevara, Hartmann, Aristarán, Mendoza, y Hidalgo, 2016; Lyu, Zhou, y Leydesdorff, 2020), tecnologías (Alstott, Triulzi, Yan, y Luo, 2017; Kogler, Rigby, y Tucker, 2013), marcas (Drivas, 2022), ocupaciones (Farinha, Balland, Morrison, y Boschma, 2019; Muneepeerakul, Lobo, Shutters, Goméz-Liévano, y Qubbaj, 2013) o sectores industriales (Breschi, Lissoni, y Malerba, 2003; De Raco y Semeshenko, 2019; Essletzbichler, 2015; Neffke, Henning, y Boschma, 2011).

## 1.3. Metodología

Para abordar los objetivos de esta investigación, siguiendo la línea de los trabajos referidos en la sección anterior, es necesario contar con datos que permitan establecer redes de colaboración para la generación de conocimiento, así como también medidas de las capacidades locales en las ciudades estudiadas. Para ello, en este trabajo, se utilizan datos de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés)[1], obtenidos a través de la plataforma PatentsView[2], donde se cuenta con información desambiguada sobre los inventores y propietarios de las patentes, así como las tecnologías en las que clasifica a cada patente. Si bien los registros de patentes no incluyen un identificador único para los inventores y propietarios, el proceso de desambiguación realizado por PatentsView (Monath, Jones, y Madhavan, 2021; Monath y McCallum, 2015) permite identificarlos y seguirlos a lo largo de todos los registros, además de contar con información sobre su residencia. Estos elementos son claves para la localización de las patentes, para lo cual se considerarán aquellas en las que al menos un inventor resida en Latinoamérica.

El uso de patentes ha sido discutido en la literatura como indicador de resultados de innovación (Archibugi, 1992; Griliches, 1990), pero es un indicador consistente, si bien acotado al conjunto de conocimientos patentables, para el análisis de relaciones e interrelaciones en las actividades de invención. Además, los registros de patentes en la USPTO son ampliamente utilizados para investigación académica (Balland y Rigby, 2017; Boschma y cols., 2015; Kogler y cols., 2013; Perruchas, Consoli, y Barbieri, 2020; Petralia, Balland, y Morrison, 2017), no solo por su amplia disponibilidad y cobertura, sino porque así se evitan los problemas de comparabilidad que enfrenta el uso de datos de oficinas nacionales, debido a los

[1] https://www.uspto.gov/

[2] https://patentsview.org/, esta plataforma es de libre acceso.

distintos marcos jurídicos a los que responden.

Haciendo uso de esta información, para analizar los flujos globales de conocimiento, se construyen redes de ciudades a partir de la localización de los propietarios de las patentes. De esta forma, dos ciudades podrán tener un vínculo si existen propietarios de la misma patente en ambas ciudades. Algunas de las patentes seleccionadas pueden ser propiedad de actores (individuos, centros de investigación, universidades, agencias públicas, etc) localizados fuera de Latinoamérica. Esto lleva a que nuestras redes tengan en cuenta los flujos globales de conocimiento, lo cual permite analizar los vínculos regionales y extra regionales de las ciudades estudiadas.

Este tipo de estructuras pueden ser vistas como redes de co-ocurrencia, ya que dos actores están vinculados si participan en la misma actividad (la patente). Este tipo de vínculos puede significar una colaboración puntual, que no conlleve flujos de conocimiento entre los actores, por ello la literatura de análisis de redes ha desarrollado herramientas analíticas para aproximarnos a vínculos de colaboración denominas "backbone extraction" Neal (2013, 2014). Estas permiten establecer un vínculo entre dos ciudades solo si el número de patentes compartidas entre ambas supera el esperado en una distribución de probabilidad condicionada por el número de patentes de cada una.

Dado que los actores que intervienen en el proceso de co-patentamiento colaboran antes y después de la aplicación de la patente, en nuestro trabajo, al igual que en los trabajos empíricos en esta literatura Andersson, Galaso, y Sáiz (2019); Breschi y Lenzi (2015); Fleming, King, y Juda (2007), se tomarán ventanas temporales para la construcción de las redes de colaboración. Para cada ventana se construirá una red, lo cual permitirá analizar la evolución temporal de la topología de la red de colaboración para calcular indicadores que permitan contrastar las hipótesis planteadas.

Los indicadores obtenidos mediante el análisis de las redes de colaboración nos servirán para operacionalizar la medición de la capacidad de la ciudad para acceder a flujos regionales y extra regionales de conocimiento, pudiendo diferenciar la asociación de uno u otro con el desempeño de la ciudad. Además, será posible calcular indicadores de intermediación que identifiquen las ciudades que juegan papeles críticos en la circulación, dentro de la región, de conocimientos provenientes de otras regiones del mundo. Esto nos dará la posibilidad de analizar si los costos asociados a la intermediación son cubiertos por los beneficios de esta, así como los efectos que puede tener para otras ciudades vincularse con ellas. De esta manera será posible abordar el primer objetivo específico del trabajo, operacionalizando el desempeño de la ciudad por medio de su nivel de patentamiento.

Para abordar el segundo objetivo específico será necesario operacionalizar el concepto de complejidad de la base de conocimientos de las ciudades. Para ello es posible utilizar el "Método de los Vectores Propios", siguiendo a Hidalgo y Hausmann (2009) y Balland y Rigby (2017). Este es un indicador estándar en esta literatura y su uso está ampliamente generalizado (Hidalgo, 2021). En términos intuitivos, este método tiene en cuenta la ubicuidad

de la tecnología al considerar el número de ciudades que la producen, así como la diversidad de capacidades que requiere al tener en cuenta las otras tecnologías producidas en esas ciudades. Algebraicamente este indicador se mide mediante el segundo vector propio de la transposición de la matriz bipartita de tecnologías y ciudades. Para definir las tecnologías, entre las clasificaciones disponibles en la base de datos utilizada, se usará la de la International Patent Classification (IPC)[3], de World Intellectual Property Organization (WIPO). Esta clasificación tecnológica permite una desagregación a nivel de sección, clase y subclase. La base permite identificar el orden de aparición de cada campo tecnológico en la patente. Esto es relevante ya que podemos considerarlo como un orden de relevancia para trabajar con un único campo. Ese es el procedimiento seguido por la USPTO para determinar los técnicos a los que se le asignará el análisis de cada patente.

Para abordar el tercer objetivo específico no se utilizará la red de colaboración entre ciudades ya que no se analizará la interacción entre estas. En cambio, será necesario operacionalizar las capacidades de las ciudades para desarrollar nuevas tecnologías. Para ello se utilizará el "Principio de Cercanía" (Hidalgo y cols., 2018). La intuición detrás de este principio es que, observando transiciones de inventores, entre tecnologías, es posible inferir la cercanía de estas, mediante el uso de análisis de redes.

A los efectos de este trabajo, hay un tipo particular de cercanía que resulta relevante, la que se denomina cercanía de habilidades. Este concepto surge de los trabajos de Neffke y Henning (2013); Neffke y cols. (2011); Neffke, Otto, y Weyh (2017), donde se utiliza el movimiento de trabajadores entre industrias como insumo para estimar la cercanía de habilidades. Con esta información, se busca inferir si las transiciones de trabajadores entre dos industrias ocurren con más frecuencia de lo que cabría esperar en un proceso aleatorio. En caso de que esto suceda los autores plantean que ambas industrias presentan cercanía de habilidades.

Esta aplicación del principio de cercanía resulta apropiada para inferir la cercanía de conocimientos entre tecnologías. Diremos que, si el número de inventores que se mueven de la tecnología X a la tecnología Y (primero registran una patente clasificada en X y después una en Y), está por encima de lo que podemos esperar en una distribución de probabilidad condicionada a los tamaños relativos de la producción de ambas, entonces la tecnología Y tiene una cercanía de conocimientos con la tecnología X. Podemos pensar que este resultados nos estaría mostrando que, la experiencia adquirida en el desarrollo de la tecnología X brinda conocimientos que son requeridos para desarrollar la tecnología Y.

La cercanía de conocimientos nos brinda un marco para considerar si dos tecnologías son o no cercanas, en cuanto a las habilidades requeridas para desarrollarlas. De esta forma podemos analizar al conjunto de tecnologías como una red, en la cual cada tecnología es un nodo y un par de nodos está conectado si hay un vínculo de cercanía entre las tecnologías que representan. Por otro lado, ubicando geográficamente a los inventores, podemos conocer las

[3] https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/

tecnologías en las que la ciudad ha patentado. Combinando estos dos elementos contamos con una forma de saber qué tecnologías son más cercanas que otras para la ciudad.

Para testear las hipótesis se utilizarán modelos econométricos de datos de panel, en los cuales se incluirán controles que permitan recoger otras características de las ciudades que puedan afectar su desempeño. Las ciudades consideradas en los modelos econométricos serán aquellas que participen en las redes de colaboración, en los primeros dos objetivos, pero además estén presentes en todos los períodos considerados. Esto permite evitar la inclusión de aglomeraciones urbanas que patenten solo de forma esporádica. Para el tercer objetivo se tendrán en cuenta las ciudades que presenten un mayor nivel de patentamiento y representen, de forma agregada, más del 90 % de las patentes de cada país.

# Capítulo 2

# Ventajas y desventajas de la intermediación en redes de innovación entre ciudades

Este cpaítulo se basa en un artículo publicado en coautoría. La referencia al mismo es: Bianchi, C., Galaso, P., & Palomeque, S. (2023). The trade-offs of brokerage in inter-city innovation networks. *Regional Studies*, 57(2), 225–238.

## 2.1. Introducción

Las ciudades han ganado creciente atención en la agenda de investigación de los estudios regionales y de innovación (Cooke, 2001; Florida, Adler, y Mellander, 2017; Johnson, 2008; Neal, 2012). Estos cuerpos de literatura intrínsecamente entrelazados han analizado las ciudades como redes integradas localmente, donde los vínculos interactivos transmiten y reproducen el conocimiento dentro de la red y desarrollan canales de colaboración con redes globales. En estos trabajos, las características de aglomeración asociadas a la densidad demográfica, las instalaciones de infraestructuras y los procesos de creación de capacidad localizada se consideran mecanismos que determinan el rendimiento innovador de las ciudades. En este sentido, una extensa y plural corriente de investigación ha analizado las redes de ciudades como un recurso crítico para el desarrollo local, las políticas territoriales y la movilidad humana, entre otros temas relevantes (Fischer, Queiroz, y Vonortas, 2018; Johnson, 2008; Rantisi, 2002; Sigler y Martinus, 2017; Simmie, Sennett, Wood, y Hart, 2002; Verginer y Riccaboni, 2020).

Un número menor pero creciente de estudios ha analizado recientemente las redes entre ciudades, arrojando luz sobre el papel de las ciudades como componentes de redes de conocimiento nacionales, regionales o globales(Cao y cols., 2021; Fan y cols., 2020; Guan y cols., 2015; Maisonobe y cols., 2016; Yao y cols., 2020). Siguiendo un enfoque sistémico,

nuestro trabajo pretende contribuir a esta literatura analizando la intermediación en las redes de patentes entre ciudades latinoamericanas. Revisamos las contribuciones recientes que destacan los efectos positivos de la centralidad y la intermediación en las redes de innovación (Yao y cols., 2020) añadiendo el análisis de los costes relativos de la creación de redes, inspirado principalmente en el debate actual sobre los efectos no lineales de la obtención de conocimiento externo a partir de los estudios de innovación de la empresa (Arora, Athreye, y Huang, 2016; Laursen y Salter, 2014). En consecuencia, nuestra pregunta de investigación general pretende identificar los efectos de la red de colaboración interurbana en los procesos de innovación.

Laursen y Salter (2014) utilizaron la expresión "paradoja de la apertura"para describir, sobre todo en el caso de las empresas, los compromisos a los que se enfrentan los agentes que innovan cuando buscan conocimientos externos. El conocimiento externo es un recurso fundamental para los sistemas de innovación (SI). Sin embargo, acceder a él y utilizarlo conlleva costes y requiere capacidades internas (Arora y cols., 2016; Laursen y Salter, 2014). Por lo tanto, en función de sus capacidades, los distintos agentes se enfrentarán a diferentes costes relativos en estos procesos. Además, debido a los atributos del conocimiento, las redes estimularán efectos heterogéneos en todo el sistema en lugar de influir únicamente en el agente conectado (Antonioli, Marzucchi, y Savona, 2017; Grimpe y Kaiser, 2010; Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013). Por lo tanto, desempeñar el papel de intermediario -es decir, mediar entre agentes desconectados- implica beneficios, en su mayoría asociados al acceso a conocimientos diversos y no redundantes. Sin embargo, también implica costes relacionados con el tiempo y los recursos necesarios para mantener vínculos con diferentes agentes desconectados entre sí (Antonioli y cols., 2017; Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013).

Nuestro objetivo es contribuir a la literatura mediante la adaptación de estos conceptos sobre las ventajas y desventajas de la creación de redes, que se desarrollaron para analizar las estrategias de innovación abierta de las empresas (Arora y cols., 2016; Bogers, Chesbrough, y Moedas, 2018; Laursen y Salter, 2014), a los estudios sobre SI regionales. También pretendemos centrarnos en el papel de intermediación que pueden desempeñar determinadas ciudades en las redes entre ciudades a escala continental. Por lo tanto, consideramos a las ciudades como agentes de innovación que participan en los flujos de conocimiento colaborativo dentro de los SI latinoamericanos. Nos centramos en el papel de intermediación de las ciudades latinoamericanas, comparando sus conexiones intrarregionales con sus colaboraciones extrarregionales. Analizar el papel de las ciudades intermediarias ubicadas en una región periférica, como es el caso de América Latina, es particularmente relevante dada la gran dependencia que el continente tiene de las conexiones con el exterior en sus procesos de innovación (Delvenne y Thoreau, 2017; Montobbio y Sterzi, 2011).

Utilizando datos de patentes, construimos redes de colaboración entre ciudades entre 2006 y 2017. Basándonos en el trabajo de Gould y Fernandez (1989), distinguimos dos tipos de roles de intermediación que pueden desempeñar las ciudades: (1) aquellos intermedia-

rios que intermedian entre otras ciudades de la región (coordinadores), y (2) aquellos que intermedian entre ciudades latinoamericanas y extra-regionales (gatekeepers) [1]. Estimamos modelos binomiales negativos que nos permiten comprender la influencia de las redes, en particular los efectos de intermediación, en los resultados de patentamiento obtenidos por las ciudades. También estimamos la influencia de los vínculos intrarregionales frente a los extrarregionales en los niveles de patentamiento de las ciudades latinoamericanas.

En línea con investigaciones anteriores, nuestros resultados muestran que las ciudades que ocupan una posición central en la red son más propensas a ser innovadoras. Además, mostramos que la mayoría de las ciudades más importantes de América Latina mantienen vínculos con el exterior. Por tanto, hay una serie de ciudades latinoamericanas que parecen desempeñar un papel especialmente relevante en la configuración de la red regional, así como en la conexión de la región con los centros mundiales de innovación. Estas ciudades latinoamericanas pueden considerarse, por tanto, ciudades relacionales, es decir, ciudades que intermedian entre las redes de conocimiento globales y regionales (Sigler y Martinus, 2017).

Sin embargo, observamos que no todos los vínculos de colaboración tienen el mismo efecto sobre la innovación: mientras que los vínculos con otras ciudades latinoamericanas no parecen influir en la innovación, las conexiones con ciudades de otras partes del mundo sí generan impactos positivos. Además, encontramos que ser una ciudad intermediaria o *gatekeeper* parece afectar negativamente a los niveles futuros de patentamiento. Por lo tanto, mientras que las redes de conocimiento pueden ser beneficiosas para todo el sistema, aquellas ciudades que intermedian tanto dentro de la región como entre la región y otras partes del mundo experimentan efectos negativos en sus resultados de innovación.

Analizando estos resultados sobre el telón de fondo del conocimiento actual del funcionamiento de los SI latinoamericanos, encontramos evidencias que destacan las debilidades sistémicas y la orientación hacia el exterior de estos SI. Los SI latinoamericanos han sido caracterizados como inmaduros, con actores y territorios que operan principalmente de manera aislada (Rapini y cols., 2009). Dichos sistemas están compuestos por agentes heterogéneos, y la mayor parte de las actividades dinámicas se han concentrado generalmente en torno a nodos regionales, compuestos regularmente por institutos públicos de investigación y empresas dinámicas. Esta situación ha recibido gran atención, en particular en lo que respecta a la concentración y el desarrollo desigual de las capacidades de investigación e innovación a nivel regional (de Araújo y cols., 2019; Fischer y cols., 2018; German-Soto y Gutiérrez Flores, 2015; Montaño y González, 2007; Niembro, 2020). Sin embargo, este tema rara vez ha sido estudiado desde un enfoque sistémico continental (Confraria y Vargas, 2019).

Nuestros resultados corroboran que, aunque un número creciente de innovadores colaboran desde distintas ciudades de la región, la red de innovación latinoamericana sigue refle-

[1] Se usa este término en inglés porque es el más usado en la literatura y su traducción (portero) no resulta igual de informativa.

jando una gran concentración en sus principales regiones metropolitanas. Aportamos a esta extensa literatura mostrando que los agentes más dinámicos (es decir, las ciudades intermediarias) se enfrentan a elevados costes asociados a los esfuerzos de coordinación, así como al acceso y difusión del conocimiento. Por lo tanto, destacamos la relevancia de las políticas públicas orientadas a tratar la incertidumbre inherente al proceso de apertura y a apoyar el coste del trabajo en red.

## 2.2. Marco teórico

Según los componentes básicos del enfoque sistémico de la innovación, los SI son redes dinámicas de interacciones entre agentes, en las que se intercambian, utilizan y reproducen conocimientos internos y externos (Freeman, 1991). Este enfoque también hace hincapié en las trayectorias de evolución desiguales de los SI, en las que los distintos componentes desempeñan papeles diferentes, lo que permite un resultado emergente (es decir, la innovación) que no es igual a la suma de los componentes (Erbes y cols., 2010).

Estos atributos de los SI son pilares básicos del enfoque sistémico, y son potencialmente observables en cualquier sistema (Katz y Ronda-Pupo, 2019). Sin embargo, es particularmente relevante para el estudio de los SI latinoamericanos. A partir de la extensa literatura sobre innovación y desarrollo en América Latina, sabemos que en el continente prevalece la heterogeneidad. El conjunto del sistema regional muestra, en promedio, una baja intensidad innovadora, especialmente asociada a la falta de articulación sistémica entre las esferas de investigación e innovación. Mientras tanto, también existen polos de notable desarrollo de capacidades de investigación e innovación (Arocena y Sutz, 2010; Castellacci y Natera, 2016; Confraria y Vargas, 2019). Estos polos han surgido alrededor de las ciudades, en las que generalmente se ubican las principales universidades, centros de investigación, industria o servicios públicos (de Araújo y cols., 2019). Además, debido a su posición periférica en la red global de conocimiento, el SI latinoamericano depende críticamente de los flujos externos de conocimiento (Delvenne y Thoreau, 2017; Montobbio y Sterzi, 2011). Para comprender mejor estas dinámicas de interacción, proponemos estudiar las redes de conocimiento entre ciudades.

### Las ciudades como nodos de las redes de conocimiento

Como ha afirmado Johnson (2008), las ciudades funcionan como un entorno de resolución de problemas en un SI nacional o regional. Según esta visión, las ciudades son un tipo de SI cuya dinámica interna está determinada por: la especialización de la ciudad; los beneficios que dicha especialización genera para los agentes que componen el SI y, especialmente, por la dinámica interactiva entre personas y organizaciones que intercambian y producen conocimiento. La aportación de Johnson está en línea con trabajos más recientes

de estudios urbanos y regionales que destacan las ciudades como agentes colectivos complejos. Según esta visión, las ciudades consiguen construir un entorno particular asociado a su especialización, que suele estar apoyado por las principales organizaciones ubicadas en la ciudad y las políticas públicas tanto a nivel regional como local. Además, dicho entorno está relacionado con la interacción acumulativa de conocimientos que está intrínsecamente asociada al proceso histórico de cada territorio urbano y es difícilmente transferible a otros lugares (Breschi y Lenzi, 2015; Makkonen y cols., 2018).

Muchos de estos intercambios de conocimientos tienen lugar a nivel local, conectando a actores situados en el mismo territorio. Sin embargo, otras colaboraciones trascienden los territorios y conectan a actores situados en diferentes ciudades e incluso países. Estas conexiones crean redes entre ciudades en las que los nodos son localidades y los enlaces representan relaciones de colaboración asociadas a procesos de innovación llevados a cabo por actores ubicados en diferentes ciudades (Fan y cols., 2020; Maisonobe y cols., 2016). Los vínculos en las redes entre ciudades, al igual que en otras redes de innovación, pueden generar tanto beneficios como costes para las ciudades interconectadas, que, a su vez, dependerán del papel que desempeñe la ciudad en la red.

En este sentido, se espera que las distintas ciudades desempeñen papeles diferentes y que el funcionamiento del SI urbano dependa de con quién interactúe e intercambie conocimientos la ciudad (Johnson, 2008). Esta sencilla pero coherente base teórica del enfoque de los SI se ajusta a las aportaciones de los estudios de redes, que identifican diferentes papeles, así como diferentes efectos internos y externos asociados a la posición de los nodos en las redes.

Como hipótesis general proponemos que las redes entre ciudades son relevantes para determinar los resultados de la innovación en la ciudad. La literatura sobre clusters ofrece argumentos teóricos que pueden contribuir a enmarcar esta hipótesis general. Los clusters, entendidos como aglomeraciones territoriales de empresas y organizaciones con una determinada especialización sectorial (Porter, 1990), pueden favorecer los procesos de innovación, especialmente cuando son clusters dinámicos y basados en conocimiento (Koo, 2005; Saxenian, 1994). Según el denominado enfoque "buzz-pipeline" (Bathelt y cols., 2004), la innovación en los clusters depende de que se combinen adecuadamente las interacciones locales (*buzz* local) con las conexiones fuera del territorio (*pipelines* globales). El *buzz* local permite discutir y contrastar ideas, difundir el conocimiento tácito dentro del territorio y, por tanto, permite enriquecer el ambiente industrial (Marshall, 1879). Por lo tanto, los vínculos de colaboración que conectan a las empresas ubicadas en clústeres pueden ser un recurso valioso para potenciar las exportaciones (Brache y Felzensztein, 2019; Felzensztein, Deans, y Dana, 2019) y la innovación (Galaso, Rodríguez Miranda, y Picasso, 2019; Innocenti, Capone, y Lazzeretti, 2020). Sin embargo, estas interacciones locales por sí solas pueden conducir a situaciones de bloqueo derivadas de la recirculación de conocimientos homogéneos y redundantes (Bettencourt y cols., 2007; Lobo y Strumsky, 2008). Las *pipelines* globales son fundamentales para hacer frente a este problema, ya que consiguen introducir en el territorio

nuevos conocimientos externos que pueden ser vitales en los procesos de innovación (Bathelt y cols., 2004; Owen-Smith y Powell, 2004; Wolfe y Gertler, 2004).

Los clústeres basados en conocimiento, con altos niveles de innovación, no se distribuyen homogéneamente en el territorio. La concentración de patentes y publicaciones científicas en determinados territorios se ha utilizado ampliamente para identificar este tipo de clusteres (Bergquist y cols., 2018), que parecen localizarse mayoritariamente en las grandes ciudades (Balland y cols., 2020). En consecuencia, los vínculos de nuestras redes entre ciudades pueden considerarse *pipelines* globales y, por tanto, cabe esperar que sean un factor determinante de los resultados de la innovación en las ciudades.

El número de enlaces que conectan con un nodo determina su centralidad en la red. Esta propiedad, ampliamente estudiada por la literatura sobre análisis de redes sociales, refleja esencialmente la prominencia o importancia relativa de los nodos, su capacidad para influir en otros actores y también su capacidad para acceder a los recursos que fluyen a través de la red (Borgatti, 2005; Wasserman y Faust, 1994). Por lo tanto, cabe esperar que ocupar una posición central en la red, a través del mantenimiento de diferentes vínculos de colaboración con otras ciudades, mejore los resultados de la innovación.

Hipótesis 1: *La centralidad en la red de colaboración mejora los resultados de la ciudad en materia de innovación*

Sin embargo, ser central por tener muchos vínculos no significa necesariamente desempeñar un rol de intermediario. El concepto y las tipologías de intermediación nos permiten comprender cómo determinados actores contribuyen a difundir el conocimiento entre los componentes de los SI y/o consiguen introducir conocimiento externo en el SI local. Definimos a las ciudades intermediarias como aquellas que vinculan a otras desconectadas entre sí, intermediando en los flujos de conocimiento dentro del SI regional. Este rol está asociado a la formación de una red regional, y contribuye a la difusión del conocimiento a nivel latinoamericano. El desafío ahora es analizar los efectos de las redes de conocimiento a la luz de los costos y beneficios que implica desempeñar ese rol.

### Las ventajas y desventajas de la intermediación

La innovación es un proceso esencialmente interactivo que depende en gran medida de las redes de colaboración (Freeman, 1991). Los vínculos de una red funcionan como una especie de canal en el que se intercambian conocimientos e información en una composición de flujos más o menos de entrada y salida.

Atributos críticos del conocimiento afectan tanto a la estructura como a los efectos de estos canales y procesos. Un rico y prolongado debate sobre las propiedades codificadas y tácitas del conocimiento ha convergido en una definición no dicotómica sino gradualista y continua del conocimiento, en la que el conocimiento puramente tácito o codificado es

una herramienta teórica raramente observada en la investigación empírica (Johnson, Lorenz, y Lundvall, 2002; Malerba y Orsenigo, 2000). Por lo tanto, los canales de intercambio de conocimientos e información abarcan tanto el conocimiento codificado como el tácito, lo que implica capacidades y costes diferentes. Mientras que la codificación del conocimiento suaviza las barreras de acceso a principios generales potencialmente utilizables en muchos contextos, el conocimiento tácito suele requerir altas capacidades y repetidas interacciones, pero, salvo en escenarios teóricos, el acceso al conocimiento siempre exige un umbral mínimo de capacidades para comprender el código (lenguaje) y recursos para sostener los canales (vínculos interactivos) (David y Foray, 1996).

Considerando los atributos del conocimiento como bien económico, muchos autores han destacado que los beneficios sociales (sistémicos) pueden ser mayores que los privados debido a las propiedades de no rivalidad y parcialmente excluibles del conocimiento (Foray, 2004). Estos atributos del conocimiento pueden explicar por qué los agentes más conectados pueden incurrir en costes relativamente más elevados porque reducen los costes de acceso para sus seguidores. Al conectar a otros agentes que de otro modo estarían desconectados, los agentes que desempeñan el papel de intermediarios pueden contribuir de forma especialmente valiosa a la difusión del conocimiento.

A escala micro, esta cuestión se ha analizado en la literatura sobre innovación empresarial y redes. Aunque las redes interorganizacionales son cruciales para los procesos de innovación, ni todas las empresas contribuyen por igual a la cohesión general de las redes, ni todas se benefician por igual de sus flujos de conocimiento (Giuliani y Bell, 2005). Algunos estudios han señalado que ser intermediario influye positivamente en los procesos de innovación de las empresas que ocupan esta posición, ya que da acceso a diversas fuentes de conocimiento (Ahuja, 2000; Belso-Martinez, Molina-Morales, y Martínez-Cháfer, 2015; Galaso y cols., 2019). Sin embargo, otros estudios señalan los costes asociados a esta posición debido al tiempo y los recursos que la empresa debe dedicar a mantener los vínculos (Giuliani y Bell, 2005), y porque puede implicar fugas de conocimiento a los competidores Khanna, Gulati, y Nohria (1998). Ciertas organizaciones que interactúan con las empresas, como las cámaras empresariales, las agencias gubernamentales o los centros de investigación, desempeñan un papel fundamental de intermediación no sólo contribuyendo a la cohesión general de las redes, sino también fomentando el rendimiento innovador de las empresas entre las que intermedian (Galaso y Rodríguez Miranda, 2020). Proponemos aquí un enfoque similar al de los intermediarios, pero pasando de la perspectiva micro (de empresas y organizaciones) a una perspectiva meso, en la que consideramos las ciudades como nodos de redes de colaboración entre ciudades.

Esta mirada sobre las funciones de las ciudades como intermediarias del conocimiento puede contribuir a analizar las implicaciones políticas de los SI locales (Bogers y cols., 2018). Desde una perspectiva clásica de fallas de apropiación, la brecha entre los beneficios sistémicos y los de la ciudad justificaba el interés público en apoyar los canales de

conocimiento del sistema. Sin embargo, como ha enfatizado la literatura sobre empresas e innovación abierta del sector público, en lugar de igualar el retorno local y el del sistema, las políticas públicas para las prácticas de innovación abierta deberían contribuir a la creación de una infraestructura sistémica y flujos de conocimiento (de Jong, Kalvet, y Vanhaverbeke, 2010).

En este sentido, hay dos razones por las que los intermediarios son especialmente relevantes en regiones periféricas de la economía mundial como América Latina. En primer lugar, porque, debido a la orientación externa de los flujos de conocimiento, las redes de estas regiones suelen tener menos conexiones internas entre sus nodos. En este sentido, los intermediarios contribuyen a mantener la red conectada a nivel regional. En segundo lugar, porque los procesos de innovación dependen sustancialmente de otras regiones del mundo. En este sentido, los intermediarios pueden traer flujos de conocimiento a la región desde ciudades líderes de otras partes del mundo (Confraria y Vargas, 2019; Reis y cols., 2018).

Las posiciones de intermediación en las redes pueden conllevar tanto costes como beneficios para el intermediario (Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013). En cuanto a los beneficios, las ciudades intermediarias pueden tener un buen acceso a conocimientos no redundantes, que pueden ser muy valiosos en los procesos de innovación (de Araújo y cols., 2019; Yao y cols., 2020). Sin embargo, ocupar una posición de intermediario conlleva una alta orientación a la apertura, manteniendo vínculos con ciudades desconectadas entre sí, lo que requiere importantes esfuerzos de coordinación para hacer frente a una elevada incertidumbre. En el caso particular de las ciudades periféricas, estos costes de coordinación asociados a la intermediación pueden superar los beneficios en términos de acceso a los flujos de conocimiento. Hay dos razones que apoyan este argumento. En primer lugar, por el lado de los costes, la heterogeneidad y la desconexión inherentes a los SI latinoamericanos requieren mayores esfuerzos de coordinación para mantener conectados a los agentes del sistema en comparación con los esfuerzos requeridos en SI más desarrollados. En segundo lugar, por el lado de los beneficios, la riqueza y diversidad del conocimiento que fluye en las colaboraciones intrarregionales puede tener un valor limitado, dado el retraso estructural de la región en actividades de investigación e innovación.

Hipótesis 2: *Ser intermediario en la red entre ciudades reduce los resultados de la innovación.*

Los efectos que las redes pueden generar sobre la innovación en las ciudades dependerán sustancialmente de dónde se encuentren las ciudades interconectadas, ya que el conocimiento disponible y las capacidades innovadoras varían sustancialmente de una región del mundo a otra. En nuestro estudio, la red integra tanto ciudades latinoamericanas como ciudades ubicadas fuera de la región, algunas de ellas en los centros mundiales de desarrollo de innovación. En consecuencia, podemos preguntarnos si los vínculos intrarregionales influyen

en la innovación del mismo modo que los vínculos que conectan con ciudades de fuera de América Latina.

Dadas las debilidades de la región en la generación de conocimiento e innovaciones, cabe esperar que los efectos de las redes en las ciudades latinoamericanas sean diferentes, según consideremos los vínculos que mantienen con otras ciudades de la región o los que las conectan con ciudades de otras partes del mundo, en particular con centros globales de desarrollo tecnológico.

Hipótesis 3: *Las colaboraciones extrarregionales mejoran la innovación, mientras que las colaboraciones intrarregionales no lo hacen.*

## 2.3. Datos y metodología

Utilizamos datos de la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO) extraídos de la base de datos PatentsView. Dicha base de datos incorpora identificadores desambiguados de inventores e innovadores, lo cual es fundamental para crear redes de colaboración. Dado que nuestra investigación se centra en las ciudades latinoamericanas, buscamos patentes en las que participe al menos un inventor ubicado en un país latinoamericano.

Los nodos de nuestras redes son las ciudades donde se encuentran los propietarios de las patentes seleccionadas. Los propietarios de patentes son en su mayoría empresas, pero también pueden serlo centros de investigación, universidades, organismos públicos e incluso particulares. Algunas invenciones son copatentadas por diferentes innovadores (es decir, propietarios de patentes), lo que a menudo refleja un proceso de innovación colaborativo en el que participan diferentes actores. Cuando estos actores se encuentran en ciudades diferentes, establecemos un vínculo de colaboración entre dichas ciudades. Algunas de las patentes seleccionadas son copropiedad de actores situados fuera de América Latina. Esto nos lleva a incluir en nuestras redes no sólo ciudades latinoamericanas, sino también ubicaciones de otras partes del mundo, lo que permite analizar los vínculos de colaboración intrarregionales frente a los extrarregionales.

Para centrarnos en los nodos y vínculos más relevantes, aplicamos métodos de extracción de *backbone*, que permiten determinar vínculos estadísticamente significativos entre los innovadores (titulares de patentes), basándose en el número de copatentes (Neal, 2014). El enfoque que seguimos para la extracción del *backbone* es el "umbral condicionado por el grado del agente", que compara el número observado de copatentes con un modelo nulo que controla el número de patentes que tiene cada innovador (Neal, 2013). Una vez determinada la existencia de cada conexión entre ciudades mediante este método, nuestras redes solo tienen en cuenta los vínculos binarios no ponderados.

Entre 2006 y 2017, particularmente hasta 2014, la región experimentó un proceso de crecimiento económico, impulsado en gran medida por el aumento de la demanda internacional

y de los precios de las materias primas. Junto con el crecimiento económico, la región incrementó sus niveles de patentamiento durante esos años (Bianchi, Galaso, y Palomeque, 2020; WIPO, 2018). Esta es la principal razón para elegir este periodo de análisis, ya que, aunque se dispone de datos anteriores a 2006, el número de invenciones latinoamericanas es muy bajo, por lo que las redes anteriores a nuestro periodo tienen muy pocas ciudades y están muy desconectadas.

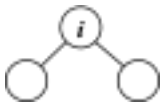
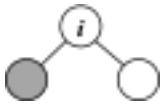
Trabajamos con ventanas de cuatro años y construimos una red para cada ventana temporal. Las ventanas temporales se utilizan en la bibliografía, ya que se supone que los actores implicados en las copatentes colaboran antes y después de la fecha de solicitud de la patente (Andersson y cols., 2019; Breschi y Lenzi, 2015; Fleming y cols., 2007). A continuación, calculamos diferentes estadísticas de red que miden los roles de intermediación de cada ciudad y comparamos las colaboraciones intrarregionales con las conexiones con otras regiones del mundo.

Comprobamos nuestras hipótesis utilizando modelos de regresión de datos de panel que nos permiten estimar cómo la intermediación y las conexiones intrarregionales frente a las extrarregionales pueden influir en los resultados innovadores de las ciudades. La variable dependiente de nuestros modelos es un indicador de los resultados de innovación de las ciudades: el número de patentes registradas por agentes ubicados en cada ciudad en cada subperiodo. El uso de patentes como indicador de innovación ha sido ampliamente discutido en la literatura (Archibugi, 1992; Griliches, 1990) y ha sido utilizado por estudios similares (De Noni, Ganzaroli, y Orsi, 2017; Yao y cols., 2020). Siendo conscientes de sus limitaciones, consideramos que este indicador es consistente ya que capta la creación de conocimiento en la que participan los innovadores latinoamericanos y, aun subregistrando la gran variedad de resultados de innovación no patentables, ofrece información homogénea para todo el SI regional. Además, a nivel latinoamericano, no existen otros indicadores que permitan comparar la evolución de las actividades de innovación en las ciudades.

Las variables independientes utilizadas en nuestros modelos miden la posición relativa de cada ciudad en la red, así como las conexiones que mantiene con distintas regiones del mundo. Todas estas variables (junto con las variables de control que se explicarán más adelante) se calculan con un rezago de un periodo. De este modo, nuestros modelos estiman si las características de la red en el momento $t$ influyen en el nivel de patentes obtenido por las ciudades en el momento $t+1$.

Para probar nuestra primera hipótesis, medimos la centralidad de las ciudades latinoamericanas en la red y su papel de intermediación. La centralidad de grado mide el número de vínculos adyacentes a cada ciudad. Se utiliza como medida de su importancia relativa en la red (Wasserman y Faust, 1994). El rol de intermediación desempeñado por las ciudades se mide utilizando los indicadores de Gould y Fernandez (1989). Para ello, agrupamos las ciudades en dos grandes categorías: Latinoamericanas y no latinoamericanas. Esto nos permite medir dos roles de intermediación diferentes. En primer lugar, el papel de coordinador

da cuenta de la intermediación entre pares de ciudades latinoamericanas. En segundo lugar, el papel de gatekeeper mide la intermediación entre ciudades extrarregionales y ciudades latinoamericanas. Los detalles sobre el cálculo y la interpretación de estas variables de red presentan en el cuadro 2.1.

| Indicador | Cálculo | Explicación |
|---|---|---|
| Centralidad de grado | $DC(i) = \frac{d(i)}{n-1}$: Donde $d(i)$ es el número de vínculos adyacentes al nodo $i$ y $n$ es el número de nodos de la red y, por tanto, $n-1$ es el valor máximo que puede alcanzar el numerador. | En nuestro estudio, $d(i)$ es el número de ciudades con las que colabora la ciudad $i$ y $n$ es el número de ciudades de la red. |
| Coordinador |  En una red en la que los nodos pueden clasificarse en dos grupos (por ejemplo, nodos blancos y grises), el nodo $i$ ocupa una posición de coordinador entre otros dos nodos cuando: (1) conecta dos nodos que están desconectados entre sí, y (2) los tres nodos pertenecen a la misma categoría (por ejemplo, los tres son blancos). $C(i)$ es la suma de pares de nodos para los que $i$ es un coordinador de este tipo. | En este artículo, las dos categorías de nodos son ciudades latinoamericanas y no latinoamericanas. El nodo $i$ es siempre una ciudad latinoamericana. |
| Gatekeeper |  En una red en la que los nodos pueden clasificarse en dos grupos (por ejemplo, nodos blancos y grises), el nodo $i$ ocupa una posición de gatekeeper entre otros dos nodos cuando (1) conecta dos nodos que están desconectados entre sí, y (2) los nodos entre $i$ pertenecen a categorías diferentes (uno es gris, el otro es blanco). $G(i)$ es la suma de pares de nodos para los que $i$ es un gatekeeper de este tipo. | |

Cuadro 2.1: Indicadores de red.

Para probar nuestra tercera hipótesis, utilizamos variables que tienen en cuenta las conexiones intrarregionales frente a las extrarregionales. En concreto, calculamos el número de conexiones que unen a cada ciudad con otras ciudades latinoamericanas, y el número de

conexiones con ciudades situadas en otras partes del mundo. Por último, desagregamos esta última variable, diferenciando entre conexiones con ciudades europeas, conexiones con ciudades situadas en Estados Unidos y Canadá y conexiones con ciudades de Asia Oriental.

Por supuesto, hay otros factores que pueden determinar la propensión a patentar en las ciudades. Para tener en cuenta estos factores, nuestros modelos incluyen las siguientes variables de control. En primer lugar, para controlar el tamaño de la ciudad en términos de innovadores, consideramos el número de inventores y el número de titulares de patentes ubicados en cada ciudad. En segundo lugar, tenemos en cuenta el número de campos tecnológicos en los que patenta la ciudad para controlar la especialización y diversificación tecnológica de las ciudades. En tercer lugar, el número de patentes del año anterior se utiliza para tener en cuenta otros tipos de heterogeneidad no observada en la propensión de las ciudades a patentar, como la evolución de la actividad económica local o las inversiones en tecnología. Por último, en línea con el argumento desarrollado anteriormente, incluimos efectos fijos de ciudad para controlar dimensiones estructurales no observadas de las ciudades relacionadas con su acumulación de capacidades que puedan estar influyendo en sus niveles de patentamiento (por ejemplo, el nivel educativo, el marco institucional o el ambiente industrial).

El número de patentes, inventores, innovadores y tecnologías están fuertemente correlacionados, lo que puede dar lugar a problemas de multicolinealidad[2]. Por lo tanto, realizamos un análisis factorial para agruparlas en menos dimensiones. Encontramos que un único factor es adecuado para sustituir a estas cuatro variables de control, manteniendo incluso más del 90 % de la varianza que aportan[3]. En consecuencia, creamos la variable factor que se incluye en los modelos, como variable de control, junto con los efectos fijos a nivel de ciudad.

Dado que la variable dependiente (es decir, el número de patentes) es una variable de conteo que toma valores enteros estrictamente positivos y presenta sobredispersión, los modelos binomiales negativos son los más adecuados para nuestras regresiones. Estos modelos se utilizan ampliamente en la literatura que estudia los datos de patentes (Fleming y cols., 2007; Galaso y Kovářík, 2021; Owen-Smith y Powell, 2004; Schilling y Phelps, 2007; Yao y cols., 2020). El uso de datos sobre patentes tanto como variable dependiente como para construir indicadores de red puede dar lugar a problemas de endogeneidad. Aunque la escasez de datos disponibles a nivel de ciudad en América Latina reduce las opciones para tratar estos problemas, varios aspectos de nuestro estudio pueden mitigarlos. Por un lado, los posibles problemas de endogeneidad causados por la causalidad inversa o la omisión de variables que varían en cada periodo pueden mitigarse mediante el uso de variables de control que varían entre cada periodo y mediante el uso de variables explicativas de interés rezagadas con respecto a la variable dependiente. Por otro lado, nuestra estrategia econométrica controla el efecto de las variables omitidas relacionadas con las características estructurales de las ciudades, que pueden considerarse constantes a lo largo de los periodos seleccionados,

[2]El apéndice de la sección A.1 ilustra los problemas de multicolinealidad entre estas cuatro variables.
[3]Los resultados de los análisis de MSA y Bartlett se pueden consultar en el apéndice de la sección A.2

mediante la inclusión de efectos fijos a nivel de ciudad (Allison, 2009; Hill, Johnson, Greco, O'Boyle, y Walter, 2021; M. Li, 2013). Estas estrategias econométricas se han utilizado ampliamente en la literatura empírica sobre redes de patentes que se enfrentan a problemas de endogeneidad similares (de Araújo y cols., 2019; Fleming y cols., 2007; Galaso y Kovářík, 2021; Schilling y Phelps, 2007; van der Wouden y Rigby, 2019); sin embargo, los resultados deben evaluarse con cautela.

Nuestra elección de utilizar variables rezagadas no es una mera estrategia econométrica. También se basa en nuestro marco teórico, en el que argumentamos que la posición de la ciudad en la red facilitará el acceso a conocimientos y oportunidades para innovar que llevarán a la ciudad a generar más patentes en el futuro. Por lo tanto, de acuerdo con (Bellemare, Masaki, y Pepinsky, 2017), el uso de variables explicativas rezagadas está justificado en nuestro caso, ya que tiene fundamentos teóricos.

Además, en nuestras estimaciones seguimos el denominado enfoque *within-between* (Allison, 2009; Bell, Fairbrother, y Jones, 2019; Schuknecht y Siegerink, 2020). Este enfoque nos permite modelizar explícitamente las variaciones en los niveles de patentes explicadas por las características de las ciudades, así como por las variaciones de dichas características a lo largo del tiempo. Los modelos *within-between* combinan las ventajas de los modelos de efectos fijos y aleatorios, al tiempo que compensan parcialmente sus respectivas desventajas (Schulz, 2020).

## 2.4. Resultados

En el cuadro 2.2 se presenta un análisis descriptivo de nuestras redes. Las ciudades latinoamericanas representan sólo entre una cuarta y una quinta parte de los nodos de las redes. Además, los vínculos extrarregionales (es decir, las colaboraciones entre ciudades latinoamericanas y ciudades de otras partes del mundo) son tres veces más numerosos que las conexiones intrarregionales. Estos datos nos ofrecen una primera visión general de la escasa colaboración entre las ciudades de la región y demuestran que la innovación en América Latina depende en gran medida de las conexiones con otras partes del mundo.

La figura 2.1 muestra la red en el último periodo (entre 2014 y 2017)[4]. El mapa de la red corrobora la desconexión entre las ciudades latinoamericanas que se vinculan principalmente con ciudades de Estados Unidos y (aunque en menor medida) con ciudades de Europa y otras partes del mundo. El mapa también permite observar ciertas conexiones fuertes entre ciudades latinoamericanas, como los vínculos entre Ciudad de México y ciudades sudamericanas, en particular con Buenos Aires (Argentina), lo que podría decirse que es el resultado de la larga tradición de investigación mexicana en redes de colaboración latinoamericanas tanto hacia afuera como hacia adentro Morales Valera y Sifontes (2014).

[4]La lista de las ciudades latinoamericanas que forman parte de nuestra red, junto con sus niveles de patentamiento, puede consultarse en la tabla A.5 del apéndice A.

| Dimensiones | 2006-2009 | 2010-2013 | 2014-2017 |
|---|---|---|---|
| Número de ciudades (nodos) | 254 | 348 | 284 |
| Ciudades de América Latina (AL) | 62 | 71 | 51 |
| Ciudades europeas | 70 | 86 | 72 |
| Ciudades de Norteamérica | 111 | 151 | 149 |
| Ciudades de Asia Oriental | 5 | 26 | 3 |
| Ciudades del resto del mundo | 6 | 14 | 9 |
| % Ciudades de AL | 24.4 | 20.4 | 18.0 |
| % Ciudades de no AL | 75.6 | 79.6 | 82.0 |
| Vínculos | 623 | 979 | 762 |
| AL - AL | 47 | 75 | 42 |
| AL - Europa | 46 | 89 | 76 |
| AL - Norteamérica | 115 | 124 | 127 |
| AL - Asia Oriental | 0 | 10 | 4 |
| AL - no AL | 163 | 233 | 216 |
| no AL - no AL | 413 | 671 | 504 |
| % AL - AL | 7.5 | 7.7 | 5.5 |
| % AL - no AL | 26.2 | 23.8 | 28.4 |
| % no AL - no AL | 66.3 | 68.5 | 66.1 |

Cuadro 2.2: Características de la red entre ciudades

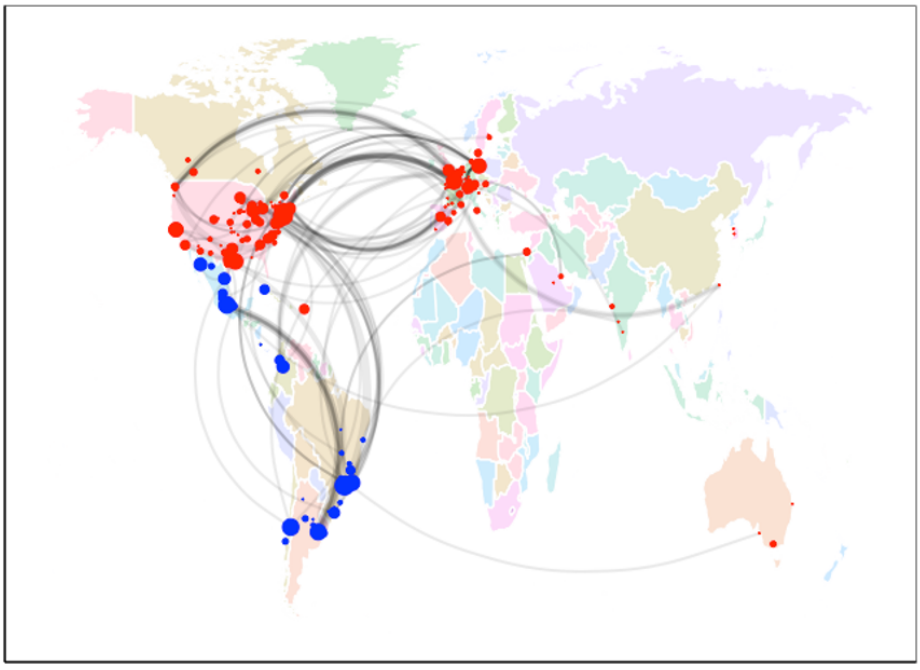


Figura 2.1: Red de colaboración entre ciudades de América Latina

Para probar nuestras hipótesis, estimamos la influencia de distintas variables de red en los resultados en materia de patentes[5]. Los modelos 1-3, recogidos en la tabla 2.3, nos permiten probar las dos primeras hipótesis analizando los efectos de la centralidad y la intermediación

[5]Los estadísticos descriptivos y las correlaciones entre variables están disponibles en la tabla A.6 del apéndice A.

en los resultados de las patentes. Los efectos entre ciudades indican cómo influye el nivel medio registrado por las ciudades para cada variable independiente en su nivel medio de patentamiento. Por otro lado, los efectos dentro de la ciudad pueden interpretarse como la influencia de las variaciones que cada ciudad registra en sus variables independientes sobre los cambios en su nivel futuro de patentes.

| | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 |
|---|---|---|---|
| Constante | 2.486 *** | 2.488 *** | 2.482 *** |
| | (0.109) | (0.097) | (0.096) |
| *Efectos entre ciudades* | | | |
| Centralidad de grado | 0.357 | 0.939 *** | 0.927 ** |
| | (0.255) | (0.273) | (0.298) |
| Coordinador | -1.019 *** | | -0.055 |
| | (0.245) | | (0.374) |
| Gatekeeper | | -1.758 *** | -1.693 ** |
| | | (0.317) | (0.561) |
| Factor | 1.597 *** | 1.793 *** | 1.794 *** |
| | (0.278) | (0.251) | (0.251) |
| *Efectos intra ciudad* | | | |
| Centralidad de grado | 0.035 | 0.089 | 0.130 * |
| | (0.059) | (0.081) | (0.056) |
| Coordinador | 0.073 | | 0.056 |
| | (0.054) | | (0.038) |
| Gatekeeper | | -0.111 | -0.091 |
| | | (0.069) | (0.059) |
| Factor | -0.103 . | -0.049 | -0.097 ** |
| | (0.056) | (0.038) | (0.034) |
| Pseudo-$R^2$ (fixed effects) | 0.774 | 0.823 | 0.811 |
| Pseudo-$R^2$ (total) | 0.946 | 0.946 | 0.947 |
| AIC | 431.969 | 423.065 | 435.081 |
| BIC | 451.113 | 442.209 | 458.480 |
| Log Likelihood | -206.985 | -202.532 | -206.541 |
| Num. obs. | 62 | 62 | 62 |
| Num. groups: ciudad | 31 | 31 | 31 |
| Var: name (Intercept) | 0.263 | 0.187 | 0.212 |

Errores estándar en paréntesis; *** p<0.001; ** p<0.01; * p<0.05; . p <0.1.

Cuadro 2.3: Regresiones binomiales negativas: Modelos 1, 2 y 3

Las estimaciones muestran que los efectos entre ciudades son claramente más relevantes que los efectos dentro de una misma ciudad. Y lo que es más importante, estos resultados aportan evidencia empírica en apoyo de nuestras dos primeras hipótesis. Observamos que ser una ciudad central en la red (medido por su centralidad de grado) está asociado a la obtención de mejores resultados innovadores (medidos por su número de patentes). En segundo lugar, observamos que ser intermediario en la red parece influir negativamente en los niveles de patentes de las ciudades. El efecto negativo de ser intermediario se observa para ambos tipos

de roles: coordinador y gatekeeper. Sin embargo, el modelo 3 revela que desempeñar un papel de gatekeeper, es decir, de intermediario entre las ciudades extrarregionales y las ciudades latinoamericanas, parece ser especialmente costoso en términos de los menores niveles de patentes implicados.

Investigando más a fondo el alcance geográfico de las colaboraciones, encontramos que los efectos de las redes sobre la innovación varían cuando diferenciamos entre vínculos de colaboración intrarregionales y extrarregionales. Esta evidencia, recogida en la tabla 2.4, apoya nuestra tercera hipótesis: los vínculos con otras ciudades latinoamericanas no parecen influir en la innovación a partir de las patentes, mientras que las conexiones con ciudades de fuera del continente sí generan impactos positivos en los niveles de patentes. De nuevo, sólo los efectos entre ciudades son relevantes.

Dado el papel crucial que parecen desempeñar las colaboraciones extrarregionales en la innovación latinoamericana, finalizamos nuestro análisis estudiando la orientación de estas conexiones entre ciudades. Para ello, analizamos por separado los efectos de colaborar con ciudades situadas en Europa, la Norteamérica Anglosajona y Asia.

La tabla 2.5 resume los resultados de este análisis. Tal y como se recoge aquí, observamos que los vínculos extrarregionales también tienen diferentes efectos sobre el rendimiento innovador, dependiendo de la región del mundo con la que estén conectadas las ciudades latinoamericanas. En particular, observamos que los vínculos con las regiones occidentales, Europa y Norteamérica, que históricamente desempeñan un papel central en el panorama latinoamericano de la investigación y la innovación, parecen estar asociados a niveles de patentes más elevados. Sin embargo, las conexiones con Asia se asocian con peores resultados de innovación de las ciudades. Este hallazgo parece indicar una especie de efecto acumulativo que los intercambios de conocimiento podrían tener sobre los resultados de patentamiento de las ciudades de la región.

En estos modelos, también obtenemos un hallazgo interesante -e inesperado- al comparar los efectos entre ciudades y dentro de las ciudades: los resultados muestran resultados opuestos para estos efectos. En concreto, observamos que mientras que mantener un elevado número de vínculos con ciudades europeas y norteamericanas está asociado a tener altos niveles de patentes, aumentar el número de vínculos con dichas regiones reduce los niveles de patentes en periodos posteriores. En el caso de los vínculos con Asia, ocurre exactamente lo contrario. Complementando la conjetura presentada en el último párrafo, estos resultados parecen indicar diferencias entre los costes y beneficios adicionales de establecer nuevas colaboraciones extrarregionales y los costes y beneficios adicionales de tener conexiones extrarregionales ya consolidadas.

Finalmente, obtenemos un resultado análogo respecto al papel de coordinador: se mantiene el efecto negativo y significativo entre ciudades (como en el resto de nuestros modelos), mientras que los modelos 8 y 10 también reportan resultados positivos y significativos en el efecto dentro de la ciudad de este papel de intermediario. Este resultado matiza ligeramente

| | Modelo 4 | Modelo 5 | Modelo 6 |
|---|---|---|---|
| Constante | 2.487 *** | 2.488 *** | 2.486 *** |
| | (0.106) | (0.097) | (0.097) |
| *Efectos entre ciudades* | | | |
| Vínculos intra-regionales | 0.463 | 0.203 | 0.138 |
| | (0.281) | (0.220) | (0.282) |
| Vínculos extra-regionales | 0.075 | 0.771 ** | 0.877 * |
| | (0.229) | (0.239) | (0.371) |
| Coordinador | -1.213 *** | | 0.219 |
| | (0.285) | | (0.595) |
| Gatekeeper | | -1.737 *** | -1.987 ** |
| | | (0.327) | (0.760) |
| Factor | 1.622 *** | 1.760 *** | 1.759 *** |
| | (0.278) | (0.257) | (0.258) |
| *Efectos intra ciudad* | | | |
| Vínculos intra-regionales | -0.064 | -0.059 | -0.100 |
| | (0.069) | (0.066) | (0.079) |
| Vínculos extra-regionales | -0.025 | -0.156 | -0.153 |
| | (0.075) | (0.167) | (0.163) |
| Coordinador | 0.058 | | 0.080 |
| | (0.089) | | (0.089) |
| Gatekeeper | | 0.084 | 0.133 |
| | | (0.150) | (0.154) |
| Factor | -0.044 | -0.010 | -0.044 |
| | (0.065) | (0.051) | (0.062) |
| Pseudo-$R^2$ (fixed effects) | 0.786 | 0.822 | 0.821 |
| Pseudo-$R^2$ (total) | 0.946 | 0.946 | 0.946 |
| AIC | 433.896 | 427.716 | 430.814 |
| BIC | 457.294 | 451.114 | 458.467 |
| Log Likelihood | -205.948 | -202.858 | -202.407 |
| Num. obs. | 62 | 62 | 62 |
| Num. groups: name | 31 | 31 | 31 |
| Var: name (Intercept) | 0.245 | 0.189 | 0.192 |

Errores estándar en paréntesis; *** p<0.001; ** p<0.01; * p<0.05; . p <0.1.

Cuadro 2.4: Regresiones binomiales negativas: Modelos 4, 5 y 6

nuestra conclusión respecto a nuestra segunda hipótesis, indicando que aunque ocupar puestos de coordinación se asocia a registrar en promedio niveles más bajos de patentes, lograr mejoras a nivel de coordinador puede llevar a las ciudades a incrementos posteriores en sus resultados de patentes.

## 2.5. Discusión y Conclusiones

La investigación sobre innovación y desarrollo regional sigue un camino fascinante que, a menudo, en lugar de ofrecer respuestas concluyentes, plantea más preguntas. Las redes

| | Modelo 7 | Modelo 8 | Modelo 9 | Modelo 10 |
|---|---|---|---|---|
| Constante | 2.848 *** | 2.482 *** | 2.483 *** | 2.481 *** |
| | (0.269) | (0.097) | (0.094) | (0.094) |
| *Efectos entre ciudades* | | | | |
| Vínculos intra-regionales | -0.235 * | 0.073 | 0.025 | -0.014 |
| | (0.098) | (0.311) | (0.274) | (0.303) |
| Vínculos con Europa | 0.043 | 0.101 | 0.235 * | 0.256 . |
| | (0.058) | (0.115) | (0.118) | (0.143) |
| Vínculos con Norteamérica | 0.074 * | 0.227 | 0.572 *** | 0.640 * |
| | (0.037) | (0.183) | (0.173) | (0.297) |
| Vínculos con Asia Oriental | -1.059 *** | -0.402 * | -0.125 | -0.097 |
| | (0.306) | (0.182) | (0.212) | (0.247) |
| Coordinador | | -0.903 ** | | 0.169 |
| | | (0.291) | | (0.676) |
| Gatekeeper | | | -1.463 *** | -1.676 . |
| | | | (0.403) | (0.975) |
| Factor | 1.589 *** | 1.841 *** | 1.856 *** | 1.847 *** |
| | (0.292) | (0.271) | (0.261) | (0.260) |
| *Efectos intra ciudad* | | | | |
| Vínculos intra-regionales | -0.035 | -0.140 * | -0.022 | -0.120 . |
| | (0.044) | (0.059) | (0.051) | (0.063) |
| Vínculos con Europa | -0.036 * | -0.051 . | 0.093 | 0.018 |
| | (0.014) | (0.028) | (0.087) | (0.092) |
| Vínculos con Norteamérica | -0.069 * | -0.075 | -0.099 | -0.047 |
| | (0.034) | (0.098) | (0.102) | (0.104) |
| Vínculos con Asia Oriental | 0.233 * | 0.163 * | 0.328 ** | 0.236 * |
| | (0.113) | (0.073) | (0.114) | (0.119) |
| Coordinador | | 0.185 ** | | 0.165 ** |
| | | (0.058) | | (0.063) |
| Gatekeeper | | | -0.336 . | -0.146 |
| | | | (0.172) | (0.186) |
| Factor | -0.100 | -0.077 * | -0.022 | -0.075 * |
| | (0.258) | (0.036) | (0.030) | (0.036) |
| Pseudo-$R^2$ (fixed effects) | 0.751 | 0.806 | 0.819 | 0.820 |
| Pseudo-$R^2$ (total) | 0.948 | 0.946 | 0.946 | 0.947 |
| AIC | 449.894 | 435.796 | 439.017 | 436.298 |
| BIC | 477.547 | 467.703 | 470.924 | 472.460 |
| Log Likelihood | -211.947 | -202.898 | -204.508 | -201.149 |
| Num. obs. | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Num. groups: name | 31 | 31 | 31 | 31 |
| Var: name (Intercept) | 0.314 | 0.218 | 0.198 | 0.198 |

Errores estándar en paréntesis; *** p<0.001; ** p<0.01; * p<0.05; . p <0.1.

Cuadro 2.5: Regresiones binomiales negativas: Modelos 7, 8, 9 y 10

de conocimiento han sido ampliamente estudiadas desde diferentes enfoques que han realizado aportaciones relevantes al tema. En este sentido, recientes investigaciones sobre redes entre ciudades analizaron los efectos de las redes de conocimiento en el desempeño de las

localidades. Este artículo contribuye a esta corriente de investigación arrojando luz sobre los efectos de las ventajas y desventajas que las redes de conocimiento pueden tener sobre las ciudades que desempeñan roles de intermediación.

Interpretamos el rol de intermediación que desempeñan algunas ciudades como una función que construye y sostiene la infraestructura para los flujos de conocimiento (David y Foray, 1996). Basándonos en algunos elementos básicos del enfoque de la sociedad de la información y en contribuciones recientes sobre clusters, innovación empresarial y estudios de innovación abierta, examinamos las ventajas y desventajas de la intermediación desde una perspectiva no dicotómica. En resumen, más allá de considerar los costes o beneficios de la intermediación, tratamos de comprender los complejos efectos no lineales sobre los procesos de innovación que llevan a cabo agentes heterogéneos de distintas ubicaciones geográficas. Además, aprovechamos los recientes avances metodológicos del análisis de redes sociales para profundizar en esta compleja interacción, identificando vínculos de conocimiento intra e interregionales y distinguiendo diferentes roles de intermediación.

En este sentido, la evidencia aquí reportada permite corroborar algunas características estructurales del SI latinoamericano, ampliamente expresadas en investigaciones previas. En particular, nuestras redes revelan la orientación extra-regional de los vínculos de colaboración, lo cual está en línea con una posición periférica de la región en las redes globales de conocimiento (Bianchi y cols., 2021).

Sin embargo, en lugar de describir las ya conocidas dependencias externas y heterogeneidades internas de la región, analizamos el papel de las ciudades como agentes sistémicos. En lo que respecta a los SI latinoamericanos, corroboramos los efectos positivos sobre el patentamiento mostrados por los nodos centrales en las redes entre ciudades (Yao y cols., 2020). Sin embargo, a diferencia de estos autores, arrojamos luz sobre las ventajas y desventajas a las que se enfrentan las ciudades intermediarias de la región. Estas ciudades parecen enfrentarse a costes relativamente más elevados que los beneficios que obtienen de las redes de conocimiento. Aunque estas conclusiones son coherentes con los amplios antecedentes de investigación sobre los SI regionales y nacionales en América Latina, hasta donde sabemos, los efectos de compensación aquí reportados no han sido medidos o estimados previamente a nivel continental.

En nuestro último grupo de modelos, también hallamos resultados opuestos para los efectos intraurbanos e interurbanos de los vínculos extrarregionales sobre la innovación. Vale la pena analizar estos resultados desde una perspectiva dinámica y a la luz de los estudios sobre innovación a nivel de empresa. Basándonos en este enfoque, podemos conjeturar que los vínculos con ciudades situadas en regiones avanzadas tienen un efecto no lineal en la producción de patentes de las ciudades latinoamericanas, un efecto que varía en función del tiempo y de la acumulación de capacidad interactiva local. Por ejemplo, el mantenimiento de vínculos con Norteamérica y/o Europa parece afectar positivamente al rendimiento de la innovación hasta cierto punto. A partir de ese momento, las nuevas colaboraciones pueden implicar un

esfuerzo de inversión y asignación de capacidades que aumenta desproporcionadamente el coste de la colaboración hasta reducir la probabilidad de obtener resultados patentables en el periodo siguiente. Por otro lado, las nuevas colaboraciones establecidas con países asiáticos emergentes parecen aportar aún más beneficios que costes, ya que se asocian a mejoras en los niveles de patentabilidad durante los años siguientes a la colaboración.

En diálogo con la literatura sobre la red de ciudades mundiales (Derudder y Taylor, 2016), nuestros hallazgos indican que la intermediación entre redes globales y redes regionales parece traer ventajas y desventajas a las ciudades intermediarias. Para entender las redes entre ciudades latinoamericanas, además de estas ventajas y desventajas, valdría la pena considerar la gran heterogeneidad no solo entre sus ciudades sino también dentro de cada una de ellas, donde sectores altamente competitivos e innovadores pueden coexistir con grandes bolsas de informalidad y pobreza (Arocena y Sutz, 2010; Bianchi y cols., 2021; Castellacci y Natera, 2016; Confraria y Vargas, 2019). Entender el dualismo y la heterogeneidad en las redes entre ciudades podría ser una interesante vía de investigación futura y, para ello, se pueden explotar los datos de tecnología de patentes, que permitirían analizar las especializaciones sectoriales y tecnológicas de las ciudades latinoamericanas y sus conexiones con las redes globales.

También es esencial seguir investigando sobre las redes entre ciudades desde un enfoque de SI regional, en particular porque, a diferencia de las redes a nivel nacional, en los sistemas regionales continentales las ciudades no interactúan de acuerdo con un coordinador sistémico único -es decir, de acuerdo con un estado nacional- como puede ser el caso de las ciudades en países de tamaño continental pero con estrategias de desarrollo planificadas centralmente (Fan y cols., 2020; Wen, Zhang, Zhu, y Huang, 2021; Yao y cols., 2020). Este tipo de investigación es especialmente relevante para la región latinoamericana a la luz del gran esfuerzo realizado por los gobiernos regionales para promover la innovación y el patentamiento durante las últimas décadas, en particular en relación con la preocupación secular en la región por proyectos continentales integradores que contribuyan a dichos planes nacionales.

Así, futuras investigaciones en esta área pueden arrojar nueva luz sobre estrategias de políticas de innovación que aborden los desafíos específicos de la apertura relacionados con la incertidumbre inherente a la cooperación y la distribución desigual de beneficios y costos de las estrategias abiertas.

# Capítulo 3

# Complejidad del conocimiento e intermediación en redes entre ciudades

Este capítulo se basa en un artículo publicado en coautoría. La referencia al mismo es: Bianchi, C., Galaso, P., & Palomeque, S. (2023). Knowledge complexity and brokerage in inter-city networks. *The Journal of Technology Transfer*, 48(5), 1773–1799.

## 3.1. Introducción

El conocimiento científico y tecnológico es una herramienta fundamental para el desarrollo socioeconómico. Varios estudios a diferentes escalas de análisis han demostrado que el acceso a los flujos externos de conocimiento es un requisito para sostener el crecimiento y la diversificación de la base de conocimiento de naciones, territorios y empresas (Bathelt y cols., 2004; Britto, Ribeiro, Araújo, y Albuquerque, 2021; Capone, Lazzeretti, y Innocenti, 2021; Françoso y Vonortas, 2022). En la otra cara del mismo proceso, el acceso a los flujos de conocimiento requiere capacidades para interactuar, comprender y transcodificar el conocimiento externo al interno (Breschi y Lenzi, 2015; Miguelez y Moreno, 2015).

Los investigadores especializados en estudios de innovación, geografía económica y estudios de desarrollo han analizado ampliamente la relación entre el desarrollo de capacidades localizadas y el acceso a los flujos de conocimiento externo. Este cuerpo de investigación destaca que esta relación es de naturaleza endógena y puede entenderse como un proceso evolutivo de cambio donde el desarrollo de la base de conocimiento resulta de la evolución de las capacidades locales que interactúan con agentes externos (Antonelli y cols., 2020; Graf y Kalthaus, 2018).

Abordamos este tema desde la perspectiva de las ciudades como tipo particular de territorio donde se concentra una gran cantidad de población que requiere cada vez más servicios complejos y actividades económicas y de producción de conocimiento (Balland y cols., 2020; Boschma, 2004). Estos territorios desempeñan distintas funciones en variadas redes de inter-

cambio, como el comercio, los movimientos de población, la información y el conocimiento (Pain y Shi, 2021). Desde una perspectiva evolutiva, estas redes evolucionan sistémicamente ganando en complejidad, tanto en lo que respecta a las capacidades internas de los nodos (territorios) como al tipo y número de vínculos entre ellos (Bottai y Iori, 2022).

Nuestro objetivo es contribuir al estudio de las capacidades innovadoras a nivel de ciudad. En particular, nos sumamos a la literatura reciente sobre el papel de las aglomeraciones urbanas en los procesos de innovación localizada mediante el análisis de las conexiones de redes interurbanas y los efectos de la intermediación en el nivel de complejidad del conocimiento de las ciudades latinoamericanas.

Trabajos anteriores se han centrado sobre todo en la influencia de las redes en los resultados de la innovación -por ejemplo, las patentes- (Bettencourt y cols., 2007; Breschi y Lenzi, 2015; Cao y cols., 2021; Galaso y Kovářík, 2021; Y. Li y Rigby, 2023). También se ha estudiado la relación entre la base de conocimientos de los territorios y la estructura de las redes de innovación (Cantner y cols., 2010). Sin embargo, este rico y creciente cuerpo de literatura ha analizado esencialmente casos en países occidentales desarrollados y economías orientales de alto crecimiento, mientras que las redes de conocimiento en regiones en desarrollo, como los países latinoamericanos, han recibido menos atención (Bianchi, Galaso, y Palomeque, 2023). En este sentido, nuestro artículo contribuye a la literatura ofreciendo evidencia empírica en dos áreas escasamente estudiadas hasta el momento: por un lado, las redes entre ciudades en América Latina; y, por otro, la influencia de las estructuras de red en la complejidad del conocimiento.

El concepto de complejidad del conocimiento ha ganado recientemente gran atención como aproximación a las capacidades de un territorio o actividad específica (Balland y cols., 2022; Campi, Dueñas, y Fagiolo, 2021; Hidalgo y Hausmann, 2009; Lybbert y Xu, 2022). Nosotros aplicamos y revisamos este enfoque pero, a diferencia de la mayoría de las investigaciones anteriores (Y. Li y Rigby, 2023; Mewes y Broekel, 2020; van der Wouden, 2022), analizamos los determinantes de red de la complejidad del conocimiento a nivel de ciudad en lugar de los efectos de la complejidad sobre otros resultados económicos o de conocimiento.

Las ciudades y las aglomeraciones metropolitanas desempeñan un papel fundamental en la producción y circulación global del conocimiento (Balland y cols., 2022; Bottai y Iori, 2022; Maisonobe y cols., 2016). Además, en las sociedades latinoamericanas, las aglomeraciones urbanas concentran la mayor parte de las actividades económicas y gubernamentales (Montero y García, 2017), así como la mayor parte de las actividades de producción de conocimiento (Cabello, 2022; Fischer y cols., 2018). En este sentido, trabajos anteriores han mostrado que los inventores y propietarios de patentes (innovadores) latinoamericanos se concentran mayoritariamente en las grandes aglomeraciones urbanas de la región (Bianchi y cols., 2020).

Los países y ciudades de América Latina ocupan una posición periférica en el sistema global del conocimiento (Chaves y cols., 2020), pero muestran trayectorias diferenciadas de

acumulación de capacidades, desempeñando diversos roles en el sistema regional y global (Bianchi y cols., 2021, 2023). Además, durante las últimas décadas, en los países latinoamericanos se ha producido un proceso de regionalización de las instituciones de educación superior e investigación, donde grandes ciudades albergan la mayor parte de las universidades y centros de investigación más grandes y dinámicos (Rama y Cevallos, 2016). Este cambio ha ido acompañado de una creciente preocupación pública por el papel de las ciudades latinoamericanas en la llamada economía del conocimiento. Algunos trabajos recientes han llamado la atención sobre la relevancia de considerar las características específicas de las ciudades latinoamericanas para informar estas políticas públicas, en lugar de limitarse a imitar referentes globales (Duque Franco, 2021; Marchetti y cols., 2019).

Abordamos este análisis utilizando información de registros de patentes en la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USTPO) entre 2002 y 2017. La complejidad del conocimiento de las ciudades se mide a través del método de los reflejos (Hidalgo y Hausmann, 2009), considerando la diversidad y la ubicuidad de los campos tecnológicos de patentes registradas por innovadores localizados en ciudades latinoamericanas. Analizamos los efectos del brokerage en la red de colaboración entre ciudades sobre el nivel de complejidad de las mismas. Consideramos dos roles de intermediación: en primer lugar, llenar agujeros estructurales, como mecanismo de puente en los flujos regionales de conocimiento; en segundo lugar, considerando los vínculos intra y extra regionales, estudiamos el rol de gatekeeper, como mecanismo de puente entre los flujos regionales y globales de conocimiento. Estudiamos no sólo cómo influye el hecho de ser intermediario en la complejidad de la ciudad, sino también cómo la ciudad intermediaria puede aumentar (o socavar) la complejidad de las ciudades entre las que desempeña este rol. Además, medimos cómo la intermediación en las redes entre ciudades interactúa con las redes locales de innovadores en diferentes ciudades.

Nuestro análisis a nivel de ciudad corrobora trabajos previos sobre redes de conocimiento en América Latina a nivel nacional y regional, que han mostrado consistentemente que estas redes son relativamente dispersas y orientadas hacia el exterior (Bianchi y cols., 2021; Confraria y Vargas, 2019; de Araújo y cols., 2019; Reis y cols., 2018). Además, utilizando técnicas econométricas para datos de panel observamos que el papel que desempeña la ciudad, al ocupar una posición de intermediación en la red entre ciudades, afecta significativamente a sus niveles de complejidad del conocimiento. En concreto, encontramos que intermediar llenando un hueco estructural en la red afecta positivamente a la complejidad del conocimiento de la ciudad. Sin embargo, no observamos una relación significativa entre desempeñar funciones de gatekeeper y los niveles de complejidad mostrados por las ciudades. Además, y posiblemente más relevante para el análisis del desarrollo del sistema de ciudades en su conjunto, observamos una cierta externalidad positiva de la intermediación: las ciudades que se conectan con ciudades intermediarias muestran mayores niveles de complejidad del conocimiento.

## 3.2. Marco teórico

**Redes entre ciudades y flujos mundiales de conocimiento**

Las ciudades son espacios de interacción e intercambio que crean un entorno propicio para la resolución de problemas y el desarrollo de innovaciones (Batty, Barros, y Júnior, 2006; Johnson, 2008). Este entorno está asociado a la especialización productiva local y a interacciones de conocimiento acumulativo que, a su vez, están vinculadas a la historia de la ciudad y son difíciles de transferir de un territorio a otro (Breschi y Lenzi, 2015; Makkonen y cols., 2018). Aunque muchos de estos flujos de conocimiento se producen a nivel local, otros tienen lugar entre actores ubicados en distintos territorios. Estas interacciones no locales forman redes globales, en las que las ciudades son nodos conectados entre sí a través de enlaces que facilitan los flujos de conocimiento de un territorio a otro (Fan y cols., 2020; Maisonobe y cols., 2016).

La literatura sobre geografía económica y, en particular, sobre geografía de la innovación, ha analizado ampliamente la relevancia de combinar redes locales con conexiones globales en los procesos de innovación (Asheim y cols., 2011; Asheim y Isaksen, 2002; Bathelt y cols., 2004). Según esta corriente de investigación, las redes locales que conectan actores -personas, empresas y organizaciones- radicados en el territorio permiten la circulación de conocimientos, tanto tácitos como codificados, específicos del contexto local y particularmente vinculados al territorio. Este fenómeno, un tanto inmóvil geográficamente, facilita la incubación de ideas, así como la rápida difusión y contraste de conocimientos, fundamentales para la innovación.

Sin embargo, las redes locales no bastan por sí solas para garantizar la evolución virtuosa de la base de conocimientos de las ciudades; de hecho, pueden dar lugar a situaciones de bloqueo provocadas por la recirculación de conocimientos redundantes (Bettencourt y cols., 2007; Lobo y Strumsky, 2008). Por lo tanto, es necesario combinar las conexiones locales con el acceso a flujos globales que conecten la ciudad con otros territorios (por ejemplo, otras ciudades o países). Las conexiones globales hacen circular conocimientos más ubicuos y escurridizos para el territorio, pero también son esenciales para aumentar la competitividad de las empresas locales (Asheim y Isaksen, 2002). Estas conexiones globales consiguen introducir nuevas ideas en el territorio, fundamentales en los procesos de innovación (Bathelt y cols., 2004; Gallo y Plunket, 2020; Morisson, 2019; Owen-Smith y Powell, 2004; Wolfe y Gertler, 2004).

Por tanto, estudiar las ciudades como nodos de una red entre ciudades nos permite analizar estos flujos globales de conocimiento y, así, entender los procesos de innovación no sólo a nivel local, sino también a nivel internacional. Aunque las ciudades no son entidades que actúen o decidan deliberadamente, como los individuos, las empresas, las organizaciones o los gobiernos, sí mantienen relaciones de intercambio, cooperación o competencia con otros territorios urbanos, de forma similar a lo que ocurre con las regiones o los países (Asheim y

cols., 2011; Boschma, 2004; Pain y Shi, 2021). Al conectarse a una red entre ciudades, cada una de ellas ocupa una posición determinada y, por tanto, desempeña un papel en la red. Por ejemplo, al conectar otras ciudades que están desconectadas entre sí, una ciudad desempeña una función de intermediación. Ocupar esta posición en la red no implica que las ciudades lleven a cabo acciones o tomen decisiones deliberadas (como podría ocurrir en las redes interpersonales o interorganizativas), pero sí implica desempeñar un determinado papel en la estructura general de la red.

De ahí que las ciudades se diferencien entre sí no sólo por aspectos concretos del territorio, como las infraestructuras locales o la especialización productiva, sino también por el papel funcional que desempeñan en las redes interurbanas en las que están integradas (Pain y Shi, 2021). Teniendo en cuenta estas consideraciones, en este trabajo nos centraremos en el papel que desempeñan las ciudades por el hecho de ocupar una posición en la red entre ciudades. En concreto, nos proponemos analizar en qué medida los roles de intermediación desempeñados por las ciudades están relacionados con sus niveles de complejidad del conocimiento.

### Complejidad como indicador de capacidades

Aunque la noción de complejidad ha estado intrínsecamente relacionada con los componentes básicos de la economía evolucionista (Antonelli, 2017), los enfoques tanto teóricos como empíricos de la complejidad han cobrado recientemente nueva atención en el campo de la innovación y el desarrollo (Balland y cols., 2022; Hidalgo, 2021).

Desde una perspectiva teórica, la complejidad, definida a grandes rasgos como el proceso de interacción sistémica que da forma a las estructuras económicas (Balland y cols., 2022), se asocia con la idea del desarrollo económico como el proceso de evolución de los sistemas económicos desde formas básicas simples hacia formas más complejas. Las formas complejas sistémicas implican un aumento de la cantidad y variedad de los agentes que componen el sistema y, en particular, un aumento de las interacciones entre estos agentes, que, conjuntamente con el entorno en el que opera el sistema, determinarán la trayectoria desigual del desarrollo (Antonelli, 2017).

En los sistemas económicos y de conocimiento, las trayectorias virtuosas están asociadas a la evolución hacia capacidades más diversificadas y sofisticadas(Hartmann y cols., 2021; Pinheiro y cols., 2021). Desde este punto de vista, a medida que aumenta la complejidad del conocimiento del sistema, aumenta también la combinación potencial de conocimientos para resolver diferentes problemas. En este sentido, la complejidad del conocimiento puede asociarse a las capacidades del sistema para participar en flujos de conocimiento externos y utilizar este conocimiento para resolver problemas locales (Bottai y Iori, 2022; Hidalgo y Hausmann, 2009).

La medida empírica de la complejidad revela las capacidades de conocimiento de las unidades económicas (Hidalgo, 2021; Hidalgo y Hausmann, 2009). Por lo tanto, esta medida

ofrece una aproximación empírica al concepto de capacidades sistémicas a diferentes niveles analíticos, que normalmente no son directamente observables (Balland y cols., 2022). Aplicarlo a la escala de las ciudades implica considerar que el nivel de diversificación de los campos de conocimiento, junto con la exclusividad de dichos campos en relación con otras ciudades de la red, revelan las capacidades potenciales de las aglomeraciones urbanas (Bottai y Iori, 2022; Capone y cols., 2021).

En este sentido, utilizamos el término capacidades sistémicas de conocimiento para referirnos a una dimensión del concepto ampliamente conocido, pero apenas medido, de capacidades sociales (Abramovitz, 1995) o capacidades de absorción a escala nacional o regional. Este concepto representa una especie de depósito de conocimientos que refleja la capacidad de crear conocimientos y reconocer el valor de los nuevos conocimientos, asimilarlos y aplicarlos (Fagerberg y Srholec, 2017). Estas capacidades permiten, a su vez, acceder y participar en variados flujos de conocimiento.

La evolución de los sistemas de conocimiento nacionales, locales o urbanos viene determinada, por un lado, por la evolución de sus propias capacidades de conocimiento y, por otro, por el acceso y la participación en flujos de conocimiento globales. Desde la perspectiva de los sistemas de innovación, esta visión sobre la evolución de los sistemas de conocimiento se ha concebido como el desarrollo conjunto de las capacidades del sistema de absorción y conectividad (Mowery y Oxley, 1995; Yoguel y Robert, 2010), y desde la literatura de la geografía económica, como la combinación de densas interacciones locales y conexiones a redes globales de conocimiento (Bathelt y Li, 2020; Bathelt y cols., 2004; Breschi y Lenzi, 2015).

En ambos campos de la literatura, la combinación de capacidades internas y flujos externos de conocimiento se ha identificado como un mecanismo crítico para evitar procesos de bloqueo relacionados con redes locales densas que permanecen mayoritariamente próximas a flujos externos o, por el contrario, redes excesivamente orientadas hacia el exterior que no aprovechan al máximo sus interacciones internas o carecen de las capacidades para absorber flujos externos de conocimiento (Graf, 2011).

Esta línea de investigación se ha complementado con el estudio de los modos de innovación a escala territorial (Asheim y Parrilli, 2012; Fitjar y Rodríguez-Pose, 2013). Partiendo de la seminal contribución de Jensen, Johnson, Lorenz, y Lundvall (2007); Parrilli y Alcalde Heras (2016) corroboraron la complementariedad del impacto del modo de innovación basado en ciencia y tecnología (CTI) y del modo de innovación basado en la interacción (DUI) sobre los outputs innovadores regionales. También verificaron que, según la base de conocimiento de estos diferentes modos de innovación, hay un mayor impacto de los vínculos de innovación CTI en la innovación tecnológica; mientras que la innovación no tecnológica se basa principalmente en procesos DUI. Sin embargo, la combinación específica de los procesos de innovación CTI y DUI también se ve afectada por la idiosincrasia y los factores institucionales del territorio (Doloreux y Shearmur, 2023; Parrilli y Alcalde Heras, 2016).

Ambos modos de innovación están inmersos en intercambios de conocimientos interactivos locales y externos. Por lo tanto, los diferentes resultados de la innovación son el resultado de combinaciones de diferentes modos de innovación que, a su vez, se construyen a partir de recursos de conocimiento locales específicos y recursos de conocimiento externos (Asheim y Parrilli, 2012). Estas características del intercambio de conocimientos se han analizado principalmente mediante la realización de estudios de caso sobre territorios industriales específicos (Asheim y Isaksen, 2002; Fitjar y Rodríguez-Pose, 2013; Parrilli y Alcalde Heras, 2016), pero apenas se han aplicado a niveles más agregados. En particular, varios estudios a nivel de ciudades y metrópolis, han analizado los vínculos de colaboración en materia de patentes, que en su mayoría se basan en el modo de innovación CTI (Bottai y Iori, 2022; Capone y cols., 2021; Pintar y Scherngell, 2022). Sin embargo, estos trabajos no ignoran la relevancia del proceso de DUI, que se engloban como parte de las capacidades territoriales urbanas.

En este marco, tanto los estudios desde la economía de la innovación como desde la geografía económica, han enriquecido sus análisis de sistemas complejos incorporando los métodos y principios empíricos de la literatura sobre diversificación y sofisticación (Balland y cols., 2022; Hidalgo, 2018; Hidalgo y Hausmann, 2009). Trabajos anteriores han corroborado la fuerte relación entre el nivel de complejidad de las unidades económicas -es decir, países, territorios, ciudades, empresas- y el crecimiento económico (Hausmann y Hidalgo, 2011), el desarrollo regional (Antonelli y cols., 2017), los procesos de cambio estructural (Hartmann y cols., 2021) y la desigualdad de ingresos (Hartmann y cols., 2017). Además, varios estudios han investigado las consecuencias de la complejidad del conocimiento a diferentes niveles analíticos -es decir, empresa, país, región, mundial-. Dentro de los estudios del conocimiento localizado, los trabajos empíricos han prestado cada vez más atención al papel de las ciudades como territorios integrados en redes de intercambio de conocimientos (Balland y cols., 2020; Boschma y cols., 2015; Breschi y Lenzi, 2015; Y. Li y Rigby, 2023; Nepelski y De Prato, 2015; van der Wouden, 2022). Sin embargo, se ha prestado menos atención a explicar los mecanismos que afectan a la complejidad del conocimiento a nivel de las ciudades, en particular, en las regiones subdesarrolladas, donde las interacciones sistémicas virtuosas son más una excepción que una regla general.

### Intermediación en redes entre ciudades y complejidad

Los procesos sistémicos virtuosos están asociados a redes cohesionadas y muy densas. Por el contrario, los sistemas de conocimiento de los países subdesarrollados se caracterizan por redes dispersas que carecen de vínculos directos entre muchos, e incluso la mayoría, de los agentes (Lundvall, Vang, y Joseph, 2009; Rapini y cols., 2009). Las primeras contribuciones a la teoría de los agujeros estructurales de las redes destacaban que, a nivel individual, las redes dispersas presentan grandes oportunidades para la recombinación de ideas y la aparición de otras nuevas, así como un menor riesgo de encierro al conocimiento externo respecto

a las redes densas, debido a la redundancia del conocimiento que circula (Burt, 2004; Obstfeld, 2005). Sin embargo, desde un nivel de análisis más agregado, como es el de ciudad, la oportunidad de crear nuevas combinaciones de conocimiento descansa fuertemente en el papel de los agentes intermediarios que tienden puentes entre nodos aislados.

Nos referimos a las ciudades intermediarias, o ciudades que desempeñan funciones de intermediación en la red entre ciudades, como aquellas ciudades que ocupan una determinada posición en la estructura general de la red entre ciudades, una posición en la que enlazan otras ciudades que están mal conectadas o completamente desconectadas entre sí. Consideramos dos tipos de funciones de intermediación. En primer lugar, consideramos que una ciudad ocupa (o llena) un agujero estructural en la red cuando está conectada a varias otras ciudades que, a su vez, están mal conectadas o incluso desconectadas entre sí (parte izquierda de la figura 3.1). En segundo lugar, analizamos las ciudades "gatekeeper", como aquellas que conectan simultáneamente al menos una ciudad situada en América Latina y una ciudad de otra parte del mundo (lado derecho de la figura 3.1). Estas ciudades desempeñan un papel clave en la red entre ciudades al acceder al conocimiento externo, transcodificarlo a contextos locales o regionales y hacerlo accesible a otras ciudades (Breschi y Lenzi, 2015; Gonçalves, Teixeira, y Pique, 2022; Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013; Sigler, Neal, y Martinus, 2022).

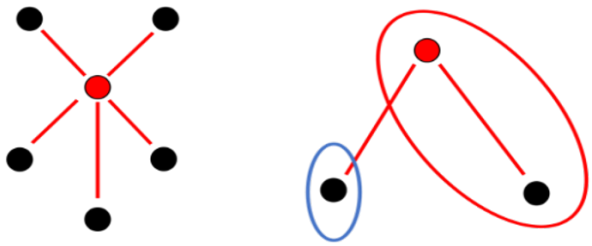


Figura 3.1: Dos tipos de intermediario: a la izquierda una representación de agujero estructural y a la izquierda de un gatekeeper. La ciudad intermediaria está representada por el nodo rojo, el óvalo rojo de la derecha representa la región de América Latina y el óvalo azul representa otras regiones del mundo.

Aunque llenar agujeros estructurales y actuar como gatekeeper tienen cosas en común, ambas posiciones en la red implican roles diferentes. Por un lado, llenar un agujero estructural implica coordinar la acción entre ciudades desconectadas (Kwon, Rondi, Levin, De Massis, y Brass, 2020), independientemente de que estas ciudades se encuentren en la misma región o en otras partes del mundo. Por otro lado, desempeñar el rol de gatekeeper implica absorber conocimiento externo y transcodificarlo a otras ciudades geográficamente cercanas.

Por definición, estos roles son desempeñados por agentes o territorios que ocupan una posición central en relación con otros agentes dentro de la red de conocimiento (de Araújo y cols., 2019). Así, supone una posición ventajosa que puede contribuir a difundir y transcodificar el conocimiento o, por el contrario, retenerlo para obtener ventajas competitivas respecto a otros agentes o localizaciones, lo que dependerá de las características de los agentes y de la estructura de competencia (Burt, 1992; Kwon y cols., 2020; Obstfeld, 2005).

En este punto, es importante considerar que el conocimiento no fluye necesariamente de un territorio a otro a través de las ciudades intermediarias. Por ejemplo, los vínculos entre distintas ciudades pueden estar asociados a colaboraciones en diferentes especializaciones tecnológicas, y esto puede dificultar o impedir la transmisión de conocimientos. En este documento no suponemos que estos flujos ocurran siempre, sino que consideramos que es más probable que el conocimiento fluya entre dos ciudades no conectadas cuando existe una ciudad intermediaria entre ellas que cuando no existe tal intermediario. Esta suposición se basa en la idea de que la coexistencia, en la ciudad intermediaria, de diferentes actores que colaboran con actores situados en otras ciudades podría permitir un flujo de conocimiento dentro de la ciudad intermediaria que luego fluye a otros territorios. Esta idea está detrás de la creciente literatura sobre redes de conocimiento entre ciudades (Guan y cols., 2015; Ma, Wei, Dai, y Xu, 2022; Yao y cols., 2020).

La literatura ha analizado ampliamente los efectos de intermediación en redes compuestas por empresas y organizaciones (Françoso y Vonortas, 2022; Guo, Yang, Wang, Zhang, y Wang, 2021), regiones (de Araújo y cols., 2019; Gonçalves y cols., 2022) y países (Gui, Liu, y Du, 2018; Martinus, Sigler, Iacopini, y Derudder, 2021). Los trabajos previos que analizan las redes de ciudades son más escasos, pero una floreciente literatura ha corroborado que las ciudades que llenan agujeros estructurales en las redes de conocimiento muestran un mejor desempeño en innovación (Guan y cols., 2015; Yao y cols., 2020). Además, Breschi y Lenzi (2015) muestran que los gatekeepers contribuyen decisivamente a la expansión de la base de conocimiento en ciudades estadounidenses altamente especializadas.

A la luz de estos argumentos, esperamos que las ciudades que desempeñan un rol de intermediación del conocimiento presenten un mayor nivel de complejidad del conocimiento.

H1: *Las ciudades que desempeñan un rol de intermediación en la red entre ciudades presentan mayores niveles de complejidad que las que no desempeñan este rol.*

Los diferentes roles de intermediación son críticos para la evolución del sistema (Kauffeld-Monz y Fritsch, 2013; Kwon y cols., 2020). En particular, para contribuir a fortalecer el funcionamiento del sistema en sistemas relativamente menos desarrollados, caracterizados por una débil conectividad interna y una alta exposición externa, como son los sistemas de innovación latinoamericanos (Bianchi y cols., 2021; Kadlec, Květoň, Vlčková, Blažek, y Horák, 2022). Sin embargo, la literatura también subraya que desempeñar roles de intermediación no tiene efectos lineales sobre la unidad económica que desempeña esa función (Cao y cols., 2021; Kwon y cols., 2020; Liao y Phan, 2016). Desempeñar un rol de intermediario implica costes, en particular costes de coordinación asociados a la gestión de flujos de conocimiento externos e internos, que pueden afectar a la propia capacidad y rendimiento de los agentes intermediarios (Bianchi y cols., 2023; Breschi y Lenzi, 2015).

Este razonamiento adquiere relevancia a partir del análisis del conocimiento patentado a

nivel de ciudad. Como también ocurre a nivel mundial (Balland y cols., 2020), la mayoría de las patentes latinoamericanas provienen de una serie de ciudades que desempeñan un papel crítico en el sistema global de conocimiento. Por lo tanto, el análisis de las ciudades como nodos sistémicos permite tanto cubrir una gran proporción del conocimiento patentado como capturar la acumulación de conocimiento de las ciudades y su dinámica interactiva.

A pesar de la aglomeración de la producción de conocimiento en un número relativamente pequeño de ciudades, existe una gran heterogeneidad entre estas ciudades, tanto considerando los campos tecnológicos o áreas de conocimiento, como las características urbanas. La relativa cohesión de la red de ciudades puede facilitar los intercambios de conocimiento entre ciudades heterogéneas, aumentando, a su vez, las capacidades de conocimiento necesarias para acceder y utilizar los flujos externos de conocimiento.

Teniendo en cuenta estos argumentos, queremos diferenciar los efectos de ser una ciudad intermediaria de los de estar vinculada a una ciudad intermediaria. Estar vinculado con una ciudad intermediaria puede beneficiar el acceso a una especie de externalidades de red al acceder a flujos de conocimiento pero sin pagar los costes asociados a las posiciones intermediarias. Se han estudiado diferentes tipos de externalidades para comprender la complejidad del conocimiento localizado (Antonelli y cols., 2017; Quatraro y Usai, 2017). En este trabajo, analizamos las externalidades asociadas a las posiciones de red que ocupan los agentes más que a los efectos de composición o aglomeración.

Basándose en la teoría de juegos y en el análisis de redes sociales, la literatura sobre formación estratégica de redes ofrece argumentos que apoyan el argumento anterior. Los modelos de formación estratégica se basan en la coexistencia de costes y beneficios asociados a los vínculos (Jackson, 2005; Jackson y Wolinsky, 1996). En concreto, consideran que, mientras que los costes en los que incurre un nodo por sus enlaces dependen esencialmente del número de enlaces que tiene, los beneficios dependen no sólo de su número de enlaces, sino también de las conexiones de sus vecinos, de los vecinos de sus vecinos, etcétera. Así, mientras que los intermediarios incurren en los costes (y obtienen beneficios) de mantener conectados a varios actores, los nodos que se vinculan con intermediarios ahorran estos costes y se benefician del acceso indirecto a los recursos que proporcionan los intermediarios. Esperamos que una ciudad que se vincule con otras que desempeñen un papel de intermediario vea afectadas positivamente sus capacidades de conocimiento.

H2: *Las ciudades que se conectan con ciudades intermediarias tienen mayores niveles de complejidad que las ciudades que no se conectan con ciudades intermediarias.*

## 3.3. Datos y metodología

Utilizamos datos de patentes recuperados de la base de datos PatentsView, que contiene identificadores desambiguados de inventores y propietarios de patentes que participan en

patentes concedidas por la USPTO. Seleccionamos todas las patentes en las que participa al menos un inventor ubicado en un país latinoamericano. Analizamos el periodo comprendido entre 2002 y 2017, años en los que la región aumentó significativamente sus niveles de patentamiento (Bianchi y cols., 2020; WIPO, 2018). Además, antes de 2002, el número de invenciones latinoamericanas es muy bajo, por lo que las redes anteriores a nuestro periodo tienen muy pocas ciudades y están muy desconectadas entre sí. Por estas razones, nos centramos en el periodo 2002-2017. Siguiendo este enfoque, nuestra base de datos contiene información sobre 10.005 patentes, con 20.559 inventores y 3.353 propietarios.

Las redes entre ciudades están compuestas por ciudades (nodos) donde se encuentran los titulares de patentes (propietarios). Pueden ser propietarios de patentes institutos de investigación, universidades, organizaciones gubernamentales e incluso particulares, aunque la inmensa mayoría son empresas (95,14 %). Diferentes titulares pueden patentar conjuntamente determinadas invenciones, lo que puede representar un proceso creativo de colaboración en el que participan varios agentes. Algunas de las patentes seleccionadas son copropiedad de actores situados fuera de América Latina. Por lo tanto, nuestras redes incluyen ciudades latinoamericanas y también otras ciudades de otras partes del mundo, lo que nos permite analizar los vínculos de colaboración intrarregionales frente a los extrarregionales. Los propietarios de patentes analizados se distribuyen en 1.896 ciudades; si consideramos los datos para todo el periodo, el 14,08 % de todas estas ciudades se encuentran en América Latina[1].

Algunas de las co-patentes no implican interacción entre propietarios (no hay flujos de conocimiento, no hay trabajo conjunto para el desarrollo tecnológico, etc.), especialmente si esos propietarios están localizados en territorios diferentes. Por tanto, este tipo de redes suelen incluir un gran número de enlaces no relevantes que no contribuyen a captar las interacciones de interés para esta investigación (Gomes Ferreira y cols., 2022; Neal, 2014). Por lo tanto, el siguiente paso consiste en identificar las conexiones entre ciudades más relevantes, es decir, aquellas que representan procesos de colaboración en los que participan diferentes ciudades. Para ello, aplicamos un método de extracción de backbone, que permite identificar relaciones estadísticamente significativas entre titulares de patentes en función del número de co-patentes (Neal, 2014).

Como su nombre indica, los métodos de extracción de backbone permiten identificar las relaciones que conforman la "columna vertebral" de la red en función de la significación estadística de las relaciones observadas de acuerdo con la pregunta de investigación. Este método se ha utilizado en la literatura de redes y en estudios de innovación para identificar interacciones reales relevantes a partir de datos de estructura de red (Farinha y cols., 2019; Heo y Lee, 2019). Como resultado, obtenemos una red formada por enlaces que representan las interacciones colaborativas estadísticamente significativas que mantienen las ciudades latinoamericanas (entre sí y con otras ciudades del mundo) en el proceso de patentamiento. Utilizando este método, podemos esperar que la red entre ciudades resultante refleje adecua-

[1] Véase la tabla B.1 en el apéndice B.

damente los flujos de conocimiento entre territorios urbanos de América Latina. El resultado es una red que conecta 109 ciudades latinoamericanas y 509 ciudades de otras regiones del mundo[2].

Nuestras redes tienen en cuenta vínculos binarios no ponderados. Para analizar la evolución de la red a lo largo de estos años, utilizamos ventanas de cuatro años y elaboramos una red para cada ventana temporal. Para cada uno de estos sub-períodos, calculamos diferentes estadísticas de red que nos permiten observar la evolución de la estructura global de la red interurbana y la posición relativa de cada ciudad en la red. De este modo, podremos testear nuestras hipótesis.

### Ciudades bajo estudio

Las ciudades latinoamericanas han desempeñado históricamente un papel fundamental en el desarrollo económico nacional. A pesar de la relevancia de las actividades no urbanas en esta región, alrededor del 60 % del PIB de América Latina se produce en las ciudades. Además, el 30 % del PIB se genera en alrededor de 40 ciudades de la región, lo que implica una concentración de riqueza y servicios sociales en los grandes centros urbanos (Montero y García, 2017).

Como se ha explicado anteriormente, aplicando el método de extracción de backbone en la selección de ciudades objeto de análisis, se obtiene una red que interconecta aquellas ciudades que mantienen vínculos estadísticamente significativos entre sí. Esta red incluye ciudades de todo el mundo, pero dado que nuestro foco es América Latina, para el análisis econométrico seleccionamos únicamente ciudades de la región. En concreto, nos centramos en las 18 ciudades latinoamericanas que permanecen conectadas a la red durante los tres periodos de análisis (algunas ciudades permanecen en la red sólo durante algunos años, pero no durante todo el periodo, esos casos se excluyen). El resto de ciudades de la red (91 latinoamericanas y 509 extra regionales) no se incluyen en el análisis de datos de panel, pero sus conexiones se tienen en cuenta para calcular los indicadores de red que explicaremos más adelante. Como resultado de este proceso de selección, las 18 ciudades objeto de estudio son aquellas del continente que mantienen niveles de patentamiento relevantes a lo largo del periodo: siempre suponen más del 50 % de la producción de patentes en sus respectivos países[3].

Estas ciudades están distribuidas en 9 países, que abarcan las principales aglomeraciones urbanas de la región, son también donde se concentra la mayor parte de las patentes de la región y constituyen los hubs latinoamericanos donde se producen la mayor parte de las interacciones locales y locales-globales en el proceso de invención. La selección incluye las principales metrópolis de la región, como Sao Paulo, Río de Janeiro, Belo Horizonte y Brasilia (en Brasil), Buenos Aires (Argentina), Ciudad de México (México), Santiago de

[2] La evolución de los estadísticos descriptivos de la red pueden consultarse en la tabla B.2 del apéndice B.
[3] En la tabla B.3 del apéndice B se presenta un detalle de estas ciudades.

Chile (Chile) y Bogotá (Colombia). Además, se incluyen algunas capitales como La Habana (Cuba) y Montevideo (Uruguay), que concentran la mayor parte de la actividad inventiva de estos países (Bianchi y cols., 2020).

La región ha sido tradicionalmente impulsada por megaciudades que actualmente enfrentan el agotamiento de los beneficios relacionados con la densidad y concentración urbana, revelando deseconomías relacionadas con la falta de infraestructura y la desigualdad prevaleciente (Fischer y cols., 2018). Mientras tanto, destacan nuevas ciudades emergentes caracterizadas como ciudades medias, con gran potencial para contribuir al crecimiento de los países (Montero y García, 2017).

A pesar de la evidencia de la concentración de la producción de conocimiento en las ciudades más grandes (Balland y cols., 2020), trabajos recientes han señalado que las ventajas del tamaño de la ciudad no son tan grandes (Fritsch y Wyrwich, 2021) y que las ciudades relativamente pequeñas y periféricas pueden crear ventajas económicas para atraer la transferencia de conocimiento (Baldacchino, 2006). Según este razonamiento, tanto las ciudades grandes como las medianas pueden aprovechar las ventajas de su ubicación y desarrollar capacidades de innovación.

En este sentido, la muestra también incluye ciudades medianas y pequeñas que son polos industriales o universitarios. En algunos casos, estas ciudades están situadas en la zona de influencia de ciudades más grandes, como Valparaíso en Chile o las ciudades brasileñas de Campinas, una gran ciudad en la gran área de Sao Paulo, Valparaíso de Goiás en el área metropolitana de Brasilia, o Juiz de Fora, situada en el eje que conecta Río de Janeiro y Belo Horizonte. También en Brasil, se incluye la ciudad de Camaçari, en el estado de Bahía, que es un polo tecnológico y productivo petroquímico, próximo a Salvador.

Las otras ciudades son Medellín, en Colombia, que ha sido analizada recientemente como un caso exitoso de sistema local de innovación (Gonçalves y cols., 2022; Jaramillo, Osorio, Jaramillo, y Garzik, 2022; Morisson, 2019); y las ciudades mexicanas de Veracruz, principal puerto mexicano, y Hermosillo, ciudad fronteriza del estado de Sonora que ha recibido altas tasas de inversión extranjera directa y muestra un mayor nivel relativo de capacidad innovadora en este país (de la Mora, 2017; Ríos-Flores y Ocegueda Hernández, 2018).

### Estrategia econométrica

Evaluamos nuestras hipótesis utilizando modelos de regresión de datos de panel que nos permiten estimar cómo los roles de intermediación en las redes entre ciudades pueden influir en los niveles de complejidad de las mismas. La variable dependiente en nuestros modelos es un indicador de complejidad que sintetiza tanto la diversidad como la ubicuidad. Utilizamos el método de los reflejos (Hidalgo y Hausmann, 2009) que itera indicadores de estas dos dimensiones. Se toma la diversidad de los campos tecnológicos de las patentes propiedad de cesionarios ubicados en la ciudad y la exclusividad de cada campo tecnológico.

Las variables explicativas utilizadas en los modelos econométricos miden la posición

relativa de cada ciudad en la red. En concreto, de acuerdo con nuestras dos hipótesis, nos interesa analizar, en primer lugar, si la ciudad desempeña un rol de intermediario en la red (H1); y en segundo lugar, si la ciudad está vinculada a otras ciudades que cumplen este rol de intermediario (H2).

Para comprobar nuestra primera hipótesis (es decir, que las ciudades intermediarias presentan mayores niveles de complejidad), utilizamos dos indicadores que nos permiten evaluar los dos roles de intermediación descritos en el marco teórico: llenar agujeros estructurales y actuar como gatekeeper. Para el primer caso, calculamos el indicador propuesto en Burt (2004), según el cual una ciudad llena un agujero estructural cuando está vinculada a otras ciudades desconectadas entre sí. Para el segundo caso, utilizamos el indicador gatekeeper propuesto por Gould y Fernandez (1989), que mide si la ciudad en cuestión intermedia entre una ciudad latinoamericana y una ciudad no latinoamericana. Ambos indicadores han sido ampliamente utilizados en la literatura de redes y reflejan de forma ajustada y sencilla el papel intermediario de las ciudades en la red entre ciudades.

Para comprobar nuestra segunda hipótesis (es decir, que las ciudades que están conectadas a ciudades intermediarias presentan mayores niveles de complejidad), observamos si la ciudad está vinculada a otras ciudades que cumplen un rol intermediario en la red. Para ello, calculamos dos indicadores que miden la proporción de enlaces adyacentes a una ciudad que la conectan con otras ciudades que ocupan una de las dos posiciones de intermediación descritas anteriormente (llenar un hueco estructural o desempeñar un rol de gatekeeper). Esto nos permite medir si la ciudad está conectada o no a ciudades intermediarias.

Todas estas variables (junto con las variables de control que se explican a continuación) se calculan con un rezago de un periodo. De este modo, estimamos si las funciones de intermediario en el momento t afectan al nivel de complejidad del conocimiento de la ciudad en el momento $t+1$. Además, en los modelos econométricos incluimos efectos fijos de ciudad para controlar dimensiones estructurales de éstas. La tabla 3.1 presenta un resumen de todas las variables incluidas en nuestras regresiones.

Además del brokerage, otros factores pueden determinar los niveles de complejidad del conocimiento en las ciudades. Por ello, hemos incluido las siguientes variables de control en nuestros modelos. Para controlar los factores de la red entre ciudades distintos de la intermediación, calculamos la centralidad de grado de la ciudad en la red. La centralidad de grado cuenta los vínculos adyacentes a cada ciudad y, por tanto, mide la prominencia o relevancia relativa de la ciudad dentro de la red (Wasserman y Faust, 1994).

También pretendemos controlar las interacciones a nivel local, es decir, las colaboraciones entre actores locales. Para ello, reconstruimos una red local para cada ciudad, en la que los nodos son los titulares de patentes ubicados en esa ciudad y los enlaces son las copatentes entre ellos. Para estas redes locales, medimos tres propiedades que la literatura ha asociado a los procesos de innovación en ciudades y regiones (véase Galaso (2018), para una revisión): (1) la conectividad de la red, medida por el número medio de enlaces por nodo; (2) la cohe-

| | |
|---|---|
| **Variable dependiente** | |
| Complejidad | Calculado mediante el método de los reflejos Hidalgo y Hausmann (2009). Tiene en cuenta la variedad de tecnologías producidas en la ciudad, así como su ubicuidad (su producción en otras ciudades). |
| **Variables explicativas** | |
| Agujero estructural | Variable dicotómica, toma el valor 1 si la ciudad ocupa un agujero estructural. El criterio para determinar qué ciudades ocupan tales posiciones es que se encuentren dentro de una desviación típica de la media del indicador propuesto por Burt (2004). |
| Gatekeeper | Indicador Gatekeeper propuesto por Gould y Fernandez (1989), que diferencia entre ciudades latinoamericanas y no latinoamericanas. Un mayor valor de esta variable implica una mayor posición de intermediación entre las ciudades latinoamericanas y las ciudades de fuera de la región. |
| Vínculos con Agujeros estructurales | Proporción de vínculos que conectan la ciudad con agujeros estructurales respecto al número total de vínculos que conectan la ciudad. |
| Vínculos con Gatekeepers | Proporción de vínculos que conectan la ciudad con los gatekeepers sobre el número total de vínculo que conectan la ciudad. |
| **Variables de control** | |
| Complejidad (rezagada) | Variable dependiente rezagada. |
| Centralidad de grado | Número de vínculos que conectan con la ciudad. |
| Conectividad local | Grado medio (es decir, número medio de enlaces por nodo) en la red local de copropiedad. |
| Cohesión local | Índice de Herfindahl-Hirschman aplicado a la distribución del tamaño de los componentes de la red local de copropietarios: suma de cuadrados del número de componentes de la red en relación con el número total de nodos. |
| Centralización local | Centralización basada en la centralidad de los vectores propios. La centralización mide el grado de similitud de la red observada con una red en estrella, es decir, una red en la que un único nodo central está conectado a todos los demás nodos que están completamente desconectados entre sí. |

Cuadro 3.1: Variables

sión de la red, aproximada con un índice de Herfindahl-Hirschman que mide hasta qué punto los nodos están aglomerados en un reducido número de componentes; y (3) la centralización de la red, que mide el grado de concentración de los enlaces en unos pocos nodos.

La literatura también ha destacado la importancia de combinar adecuadamente las redes locales y las conexiones con redes globales para el logro del éxito en la innovación (Asheim y cols., 2011; Asheim y Isaksen, 2002; Bathelt y cols., 2004). Por ello, hemos incluido en los modelos la interacción entre las variables de acceso a ciudades broker y las de estructu-

ra de la red local referidas a densidad, cohesión y centralidad. De esta forma, pretendemos capturar la relevancia de la interacción entre los flujos externos de conocimiento y las características observables de la red que reflejan, a su vez, características inobservables asociadas al intercambio de conocimiento en el territorio Doloreux y Shearmur (2023); Parrilli y Alcalde Heras (2016). En concreto, esto nos permite observar si ser o no intermediario o estar en contacto con una ciudad intermediaria en la red entre ciudades combinado con tener una red local densa, cohesionada y centralizada contribuye a mayores niveles de complejidad.

Por último, el indicador de complejidad del conocimiento con un periodo de retraso se utiliza para tener en cuenta otros factores no observados que afectan a la evolución de la complejidad del conocimiento de las ciudades. El análisis de los datos de patentes puede presentar problemas de endogeneidad. La falta de datos a nivel de ciudad en América Latina limita las opciones para resolver estos problemas, sin embargo, algunos componentes de nuestro estudio pueden ayudar a hacerlo. Los problemas de causalidad inversa o de variables omitidas pueden reducirse utilizando variables de control que cambien con el tiempo y variables explicativas rezagadas. Nuestra elección de utilizar variables rezagadas no es una mera estrategia econométrica. También se basa en nuestro marco teórico, en el que sostenemos que la posición de la ciudad en la red afectará al nivel de complejidad del conocimiento en el futuro. Por lo tanto, existe apoyo teórico para utilizar variables explicativas rezagadas (Bellemare y cols., 2017). Aunque estas estrategias econométricas se han utilizado ampliamente en la literatura empírica sobre redes de patentes donde se enfrentan problemas de endogeneidad similares (de Araújo y cols., 2019; Fleming y cols., 2007; Galaso y Kovářík, 2021; Schilling y Phelps, 2007; van der Wouden y Rigby, 2019), los resultados deben interpretarse con cautela.

Como se mencionó en la sección anterior, el proceso de selección del backbone de la red que contiene las interacciones relevantes implica necesariamente reducir el número de nodos y vínculos, lo que da lugar a una selección final relativamente pequeña. Por este motivo, estimamos los modelos econométricos ajustando los errores estándar para una muestra pequeña. Esto significa corregir los errores estándar por heteroscedasticidad y realizar un ajuste escalar dado por $\frac{m(N-1)}{(m-1)(N-p)}$, donde $m$ es el número de ciudades, $p$ el número de parámetros y $N$ el número total de observaciones (Liang y Zeger, 1986; MacKinnon y White, 1985).

## 3.4. Resultados

**Características de las redes de conocimiento entre ciudades en América Latina**

La figura 3.2 presenta la evolución de la red entre ciudades a lo largo de las cuatro ventanas temporales consideradas. Como muestra la figura, en los primeros años la red está fragmentada en distintos componentes de ciudades, mientras que al final del periodo la red forma un único componente que interconecta (directa o indirectamente) todas las ciudades.

Esto refleja un mayor nivel de colaboración entre ciudades y una mayor capacidad de la red para permitir flujos de conocimiento entre territorios.

Además, la red parece evolucionar hacia una estructura núcleo-periferia, en la que un grupo de aproximadamente 15 ó 20 ciudades (la mitad de ellas latinoamericanas) muy conectadas entre sí forman una especie de núcleo, mientras que el resto de ciudades (la periferia) apenas están conectadas entre sí y sólo mantienen vínculos con el núcleo. Esto indica una concentración de interacciones en torno a un grupo reducido de ciudades. La red parece ajustarse al llamado modelo sin escala (Barabási y Albert, 1999), en el que un número reducido de nodos concentra la mayoría de los vínculos, mientras que la mayoría de los nodos están escasamente conectados. Según el argumento elaborado en el marco teórico, el hecho de observar estructuras de red dispersas y concentradas respalda la pertinencia del análisis de los roles de intermediación.

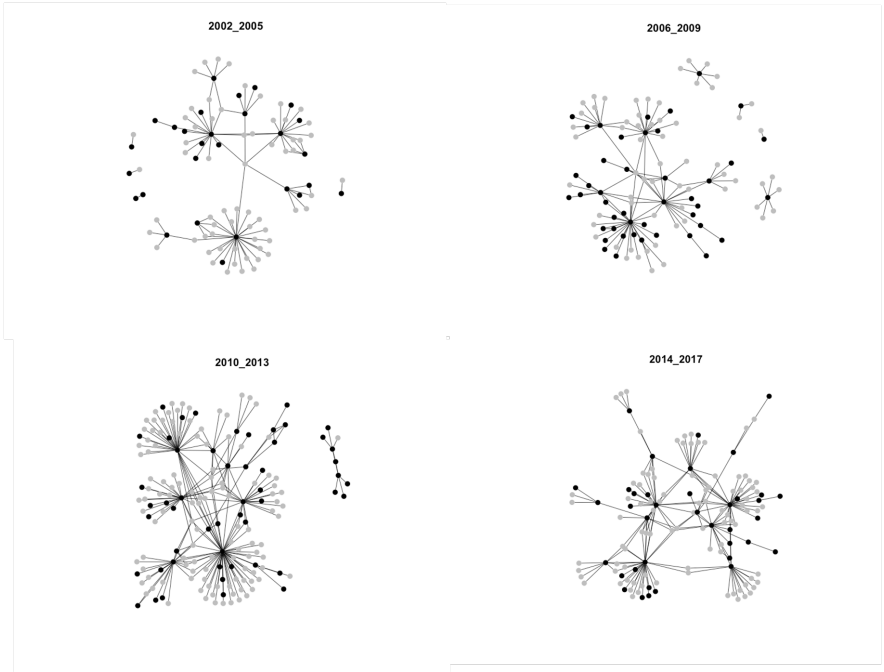



Figura 3.2: Red de conocimiento de las ciudades latinoamericanas. Los nodos negros representan ciudades situadas en América Latina, los nodos grises representan ciudades situadas fuera de la región. Los nodos aislados (es decir, las ciudades sin ninguna conexión) no están representados.

El análisis de las variaciones en la clasificación de las ciudades según el índice de complejidad de los conocimientos (figura 3.3) y la posición de los gatekeeper (figura 3.4) revela características interesantes en la evolución de la red entre ciudades. Mientras que la figura 3.3 muestra una gran alternancia en la posición del ranking de complejidad del conocimiento, se observa una relativa estabilidad en el ranking según las posiciones de gatekeeper (figura 3.4). En particular, cabe destacar los casos de Ciudad de México, Sao Paulo, Buenos Aires, Río de Janeiro y Santiago de Chile, que se mantienen, a lo largo del periodo, en las primeras posiciones de ciudades gatekeeper.

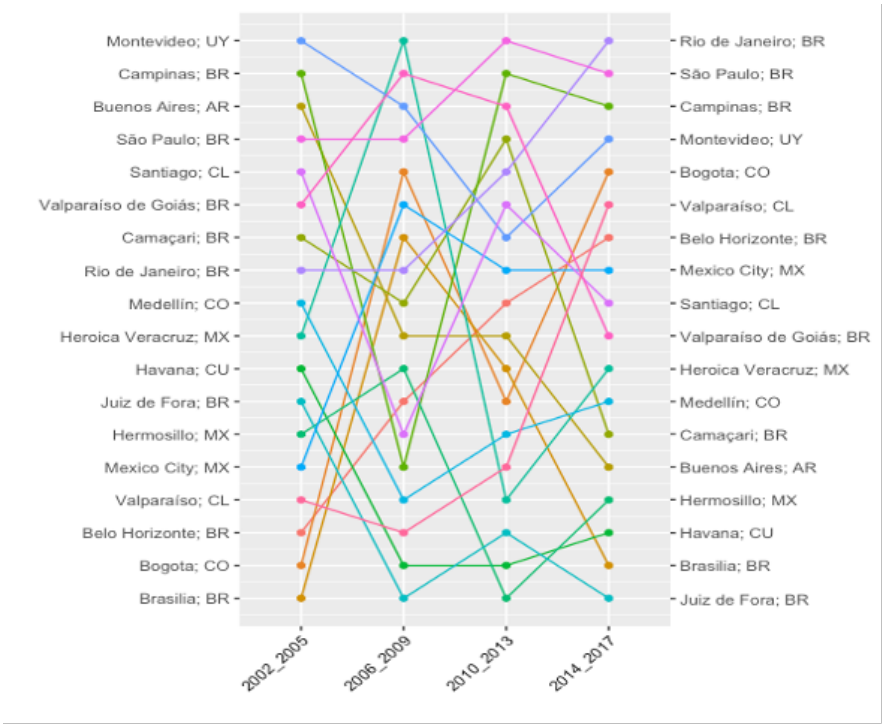



Figura 3.3: Clasificación de las ciudades según el índice de complejidad del conocimiento

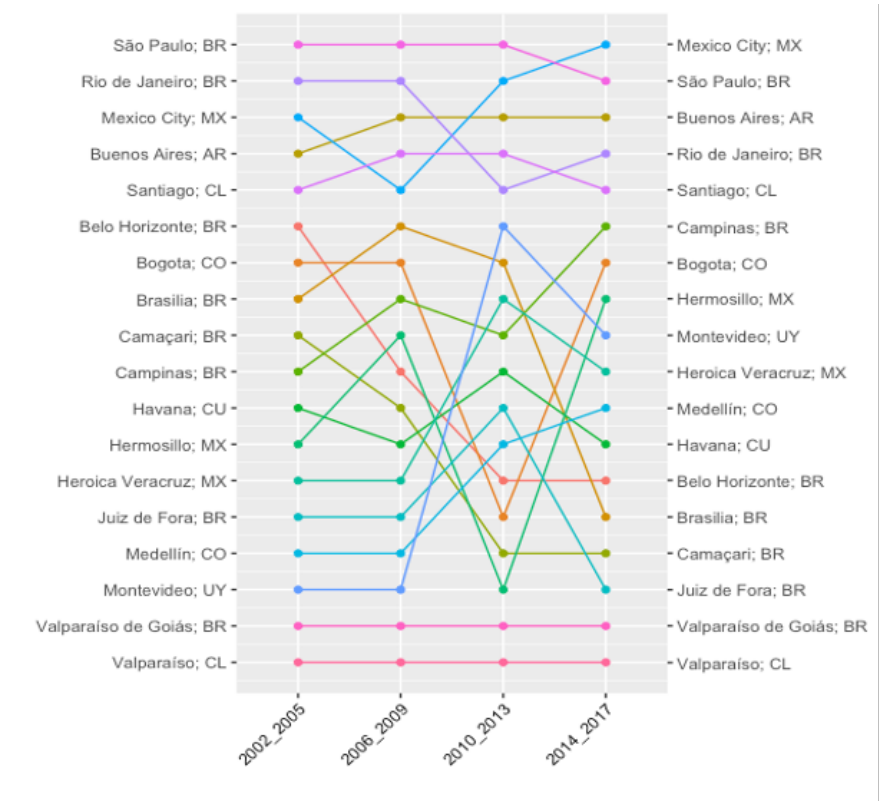



Figura 3.4: Clasificación de las ciudades según su posición de gatekeeper

**La intermediación como factor determinante de la complejidad del conocimiento en las ciudades latinoamericanas**

Los resultados de la tabla 3.2 muestran que llenar agujeros estructurales en la red entre ciudades se asocia a mayores niveles de complejidad (modelos 1-3). De acuerdo con nuestra

primera hipótesis, corroboramos que las ciudades intermediarias que llenan agujeros estructurales tienen mayores niveles de complejidad del conocimiento. Sin embargo, los resultados presentados en la tabla 3.3 muestran que desempeñar un papel de gatekeeper en la red entre ciudades no parece ejercer una influencia significativa en los niveles de complejidad de las ciudades (modelos 4-6). Las ciudades que ocupan una posición de gatekeeper participan en flujos extra-regionales de conocimiento, pueden absorberlos y transcodificarlos a otras ciudades de la región, y esto puede conllevar tanto costes como beneficios que influyan en los niveles de complejidad de la ciudad. Según nuestras conclusiones, estos costes y beneficios parecen compensarse entre sí.

| | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 |
|---|---|---|---|
| Constante | -.471 *** | -.471 *** | -.471 *** |
| | (.095) | (.095) | (.095) |
| Agujero estructural | .117 ** | .089 ** | .079 * |
| | (.053) | (.042) | (.044) |
| Vínculos con Agujeros estructurales | .098 * | .167 ** | .145 *** |
| | (.059) | (.076) | (.039) |
| Complejidad (rezagada) | -.158 *** | -.132 *** | -.192 *** |
| | (.060) | (.047) | (.055) |
| Centralidad de grado | -.106 *** | -.085 *** | -.103 *** |
| | (.035) | (.028) | (.039) |
| Cohesión local | -.056 | | |
| | (.069) | | |
| Conectividad local | | .009 | |
| | | (.053) | |
| Centralización local | | | .039 |
| | | | (.064) |
| Agujero estructural*Vínculos con Agujeros estructurales | -.092 ** | -.092 * | -.080 * |
| | (.047) | (.050) | (.049) |
| Vínculos con Agujeros estructurales*Cohesión local | .063 | | |
| | (.087) | | |
| Vínculos con Agujeros estructurales*Conectividad local | | -.119 *** | |
| | | (.042) | |
| Vínculos con Agujeros estructurales*Centralización local | | | -.145 *** |
| | | | (.021) |
| AIC | 100.397 | 96.861 | 94.408 |
| BIC | 120.287 | 116.751 | 114.298 |
| Log Likelihood | -40.199 | -38.431 | -37.204 |
| Num. obs. | 54 | 54 | 54 |
| Num. groups: name | 18 | 18 | 18 |
| Var: name (Intercept) | .109 | .112 | .115 |
| Var: Residual | .101 | .091 | .083 |

Cuadro 3.2: Asociación de los agujeros estructurales con la complejidad de conocimiento de las ciudades

En cuanto a nuestra segunda hipótesis, observamos que estar cerca de agujeros estructura-

les (es decir, conectarse con ciudades que llenan estos agujeros), parece influir positivamente en los niveles de complejidad de las ciudades (tabla 3.2). En la misma línea, la conexión con ciudades "gatekeeper" también se asocia positivamente con el logro de mayores niveles de complejidad (tabla 3.3). Estos resultados confirman nuestra segunda hipótesis, que indica la existencia de externalidades positivas generadas por las ciudades intermediarias, que se extienden a otros territorios a través de la red entre ciudades y dan lugar a mayores niveles de complejidad del conocimiento.

| | Modelo 4 | Modelo 5 | Modelo 6 |
|---|---|---|---|
| Constante | -.471 *** | -.471 *** | -.471 *** |
| | (.095) | (.095) | (.095) |
| Gatekeeper | -.032 | -.029 | -.002 |
| | (.029) | (.035) | (.026) |
| Vínculos con Gatekeepers | .162 ** | .099 | .144 *** |
| | (.083) | (.067) | (.030) |
| Complejidad (rezagada) | -.105 ** | -.137 *** | -.180 *** |
| | (.047) | (.047) | (.054) |
| Centralidad de grado | -.018 | -.026 | -.069 ** |
| | (.033) | (.046) | (.028) |
| Cohesión local | -.000 | | |
| | (.069) | | |
| Conectividad local | | .015 | |
| | | (.057) | |
| Centralización local | | | .073 |
| | | | (.063) |
| Gatekeeper*Vínculos con Gatekeepers | -.052 * | -.064 | -.055 |
| | (.027) | (.045) | (.037) |
| Vínculos con Gatekeepers*Cohesión local | .143 ** | | |
| | (.065) | | |
| Vínculos con Gatekeepers*Conectividad local | | -.075 | |
| | | (.058) | |
| Vínculos con Gatekeepers*Centralización local | | | -.190 *** |
| | | | (.033) |
| AIC | 104.475 | 108.816 | 98.242 |
| BIC | 124.365 | 128.705 | 118.132 |
| Log Likelihood | -42.238 | -44.408 | -39.121 |
| Num. obs. | 54 | 54 | 54 |
| Num. groups: name | 18 | 18 | 18 |
| Var: name (Intercept) | .103 | .097 | .111 |
| Var: Residual | .116 | .136 | .094 |

Cuadro 3.3: Asociación de los gatekeepers con la complejidad de conocimiento de las ciudades

Aunque los roles de intermediación pueden suponer un coste para la ciudad que los desempeña, nuestras conclusiones indican que también aportan beneficios que pueden aprovechar otras ciudades de la red. Por un lado, las ciudades vinculadas con ciudades que llenan un

agujero estructural pueden obtener beneficios que están asociados con el acceso y la difusión de conocimientos diversos y no redundantes que pueden estar relacionados con mayores niveles de complejidad. Por otro lado, el rol de gatekeeper se asocia a vínculos simultáneos con ciudades de la región y ciudades de fuera de la región. Esto permite la introducción en la región de conocimiento diverso y rico, generado en otras partes del mundo, y esta introducción podría significar que aquellas ciudades que se conecten con ciudades gatekeeper tendrán un mejor y más rápido acceso a este conocimiento extra-regional, lo que podría facilitar mejoras en los niveles de complejidad de su territorio.

Las interacciones entre variables también muestran resultados interesantes. En particular, se observa que las ciudades que mantienen vínculos con ciudades que actúan como gatekeepers y, al mismo tiempo, cuentan con una red local cohesionada (Cohesión local) alcanzan mayores niveles de complejidad. En línea con el argumento de las capacidades sociales (Abramovitz, 1995), esto parece indicar que el acceso a flujos de conocimiento extra regionales, a través de los vínculos con otras ciudades que actúan como gatekeepers, es particularmente beneficioso cuando la red local está cohesionada, permitiendo el reconocimiento del valor, uso y difusión de nuevos conocimientos a nivel local. Interpretamos que la cohesión de la red permite captar factores no observables de las redes de intercambio de conocimiento en el territorio, que se refieren tanto al conocimiento formalizado STI como a formas de aprendizaje interactivo tipo DUI (Jensen y cols., 2007; Parrilli y Alcalde Heras, 2016).

Por otro lado, las ciudades con una red local muy centralizada y que están vinculadas a ciudades intermediarias parecen registrar menores niveles de complejidad. Este resultado podría indicar que la centralización de la red local, asociada a estructuras de interacción dominadas por pocos actores, podría conducir a una cierta homogeneidad del conocimiento que circula, resultando en menores niveles de complejidad. De acuerdo con la literatura existente sobre la evolución de las capacidades de innovación en contextos latinoamericanos, la excesiva centralización puede operar como un mecanismo de lock-in, que a su vez, limita las oportunidades de procesos virtuosos de desarrollo basados en la retroalimentación acumulativa entre cambio estructural y expansión de capacidades (Cimoli y Porcile, 2009; Hartmann y cols., 2021).

## 3.5. Discusión y Conclusiones

Las ciudades concentran una gran parte de la producción de conocimiento y desempeñan un papel fundamental en los intercambios mundiales de conocimiento. Además, como territorios urbanos, las ciudades potencian las dinámicas locales de intercambio de conocimientos y participan en redes entre ciudades. Por lo tanto, es necesario analizar las características y los factores determinantes del mecanismo que opera tendiendo puentes entre los flujos locales y mundiales de conocimiento a escala de las ciudades. Esto es especialmente relevante desde la perspectiva de las regiones en desarrollo, que detentan una posición relevante pero

periférica en los sistemas globales de conocimiento y requieren de forma crítica acceder al conocimiento externo. El análisis de cómo la intermediación en las redes entre ciudades afecta a la difusión del conocimiento dentro de la red y también fuera de ella permite conectar los mecanismos en juego.

Este artículo contribuye a la literatura analizando cómo la posición en la red y, en particular, los roles de intermediación, afectan a los niveles de complejidad del conocimiento en las ciudades latinoamericanas. De este modo, nos sumamos a la literatura existente, mayoritariamente centrada en explicar las consecuencias de la complejidad del conocimiento en países desarrollados o de alto crecimiento, ofreciendo nuevas evidencias sobre los determinantes de la complejidad del conocimiento en ciudades de una región de renta media caracterizada por altos niveles de desigualdad y retos de sostenibilidad urbana.

Utilizando medidas de complejidad como indicador de las capacidades de conocimiento, presentamos un enfoque novedoso de la interacción sistémica dentro de América Latina y evidencia valiosa sobre el papel que juegan las ciudades y cómo afectan a la evolución sistémica de las capacidades de conocimiento. Nuestro trabajo complementa los resultados de estudios previos sobre la intermediación en redes entre ciudades, que muestran evidencias de las ventajas y desventajas que ocupar esta posición puede tener en la generación de nuevas innovaciones (Bianchi y cols., 2023). Sin embargo, en el presente estudio, presentamos otra cara de la historia: aportamos evidencia empírica sobre los efectos externos que las ciudades intermediarias generan sobre otras ciudades de la red entre ciudades, efectos externos que tienen impactos positivos sobre la complejidad del conocimiento de aquellas ciudades que colaboran con intermediarios.

La evidencia presentada muestra que las ciudades intermediarias (en particular, las que llenan agujeros estructurales) presentan mayores niveles de complejidad en su base de conocimientos. Esto podría interpretarse como un indicio de que estas ciudades presentan ciertas capacidades que les permiten conectar y difundir el conocimiento, y que estas capacidades están asociadas a mayores niveles de complejidad. Por otro lado, y siguiendo este razonamiento, los resultados reportados sobre los efectos positivos de las conexiones con intermediarios podrían interpretarse de forma análoga, considerando que los vínculos con ciudades intermediarias están asociados a capacidades locales que llevan al territorio a alcanzar mayores niveles de complejidad en las bases de conocimiento locales. Las estructuras de las redes locales (es decir, intraciudad), utilizadas aquí como variables de control, podrían estar reflejando, al menos parcialmente, estas capacidades locales. En este sentido, nuestros resultados muestran cómo la cohesión de las redes intraurbanas potencia los efectos de los vínculos con las ciudades intermediarias sobre la complejidad del conocimiento.

Por lo tanto, esta investigación ofrece implicaciones relevantes tanto para la literatura sobre innovación como para la literatura sobre análisis de redes sociales. Nuestro estudio aporta pruebas empíricas de las externalidades positivas que los intermediarios pueden generar en otros nodos de la red, mostrando que estos efectos de la intermediación pueden observarse

no sólo a escala micro (en redes interpersonales o interorganizacionales), sino también a una escala más macro, como en el caso de nuestras redes entre ciudades.

Además, nuestra investigación contribuye a la literatura actual centrada en los grandes desafíos que enfrenta el desarrollo urbano en América Latina (Marchetti y cols., 2019; Montero y García, 2017), y los potenciales roles complementarios entre las megaciudades y las ciudades medias. Futuras investigaciones podrán evaluar los vínculos entre los programas de desarrollo urbano basados en el uso intensivo del conocimiento y el nivel de complejidad del conocimiento de las ciudades, prestando especial atención a la evolución específica de las capacidades de conocimiento en las ciudades latinoamericanas.

Los resultados de nuestra investigación también tienen implicaciones políticas relevantes. Especialmente para las ciudades pequeñas e intermedias de los países en desarrollo, donde hay menos recursos y capacidades para el desarrollo de la innovación. Según nuestras conclusiones, las políticas de innovación y desarrollo en dichas ciudades deberían incentivar los proyectos de colaboración siendo selectivas y dirigiendo las colaboraciones a agentes situados en ciudades intermediarias. Estos vínculos pueden aportar externalidades positivas al territorio, aumentando así la complejidad del conocimiento de la ciudad. Las investigaciones futuras deberán profundizar en el análisis de las funciones de intermediación en las redes interurbanas identificando las especificidades según los ámbitos de conocimiento. En este sentido, la identificación de posibles vínculos entre diferentes campos de conocimiento y posibles complementariedades entre ellos según su ubicación territorial sería una gran contribución para profundizar en los resultados de la investigación presentados en este trabajo y, en particular, para contribuir a la toma de decisiones a nivel urbano, nacional y regional.

# Capítulo 4

# Proximidad de conocimiento y diversificación tecnológica

## 4.1. Introducción

La innovación es la base del cambio estructural, el cual es clave para el desarrollo económico (Schumpeter, 1934, 1943). A su vez la innovación se sustenta, en gran medida, en la generación de nuevo conocimiento técnico, científico y práctico (Nelson y Winter, 1977, 1982). El conocimiento puede ser clasificado de distintas maneras, pero en todo caso se trata de la capacidad humana de transformar su entorno. Por su parte, el nuevo conocimiento puede ser visto como la recombinación de conocimiento previamente disponible (Arthur, 2009; Fleming y Sorenson, 2001, 2004; Sorenson y cols., 2006; Youn, Strumsky, Bettencourt, y Lobo, 2015), por lo tanto la base de conocimientos de una sociedad afecta sus posibilidades de generación de nuevo conocimiento y, por medio de esto, la capacidad de innovar. Debido a ello podemos decir que, la diversificación de la base de conocimientos de una sociedad es un elemento central para su desarrollo económico. Este trabajo estudia procesos de generación de nuevo conocimiento, para contribuir a entender de qué manera las economías menos desarrolladas pueden diversificar su base de conocimientos para que esta sirva a su desarrollo económico.

La diversificación de la base de conocimientos es un concepto central dentro del enfoque de la economía evolucionista, en el cual se entiende que la firma no se puede describir por una función de producción a la que se busca optimizar, ya que opera con racionalidad limitada[1]. Es por ello que la firma genera rutinas para llevar adelante su producción, las cuales va ajustando a lo largo del tiempo en base a sus resultados económicos y al aprendizaje que genera en interacción con su entorno. La actualización de las rutinas de la firma se produce mediante un proceso de aprendizaje adaptativo que la vuelve dependiente de su trayectoria. Este proceso adaptativo lleva a recombinaciones de su base de conocimientos,

[1] Esta idea se puede generalizar a otro tipo de agentes económicos y las funciones objetivo con las que se los describe.

que pueden resultar en innovaciones que modifiquen sus rutinas (Antonelli, 2011; Nelson y Winter, 1982).

En las últimas décadas, la geografía económica evolucionista (GEE) ha aportado a entender que los procesos a los que están sujetas las firmas no solo dependen de su historia, sino también del territorio en el que realizan sus actividades (Boschma y Frenken, 2006; Boschma y Lambooy, 1999; Martin, 1999). Dentro de este marco conceptual, es posible estudiar a los territorios como unidades económicas que compiten por el desarrollo de nuevas actividades que les permitan impulsar el desarrollo local. Esto plantea una dificultad conceptual ya que en el enfoque evolucionista la entrada y salida del mercado, por parte de las firmas, es central. Pero los territorios son entidades que no entran o salen del sistema. Sin embargo sí es posible analizar a los territorios como unidades que compiten por la instalación de actividades económicas, donde la pérdida o ganancia de estas afecta su desarrollo económico (Boschma, 2004). Estas actividades son vistas como materializaciones de la base de conocimientos disponibles en el territorio, por lo tanto su diversificación y complejización muestra el desarrollo de la base de conocimientos disponibles subyacente (Balland y Rigby, 2017; Frenken y cols., 2007).

Para entender los procesos de diversificación de la base de conocimiento de los territorios la GEE considera distintas dimensiones de proximidad entre actividades (Balland y cols., 2015; Boschma, 2005). Con ello se busca aportar a la comprensión de los factores que afectan la entrada y salida de actividades en los territorios. Los trabajos en esta línea han mostrado que una actividad se comenzará a desarrollar con mayor probabilidad en un territorio, si previamente existen otras que son cercanas a ellas. Del mismo modo, las actividades que se desarrollan en un territorio tienen menos probabilidad de desaparecer, cuanto mayor es el número de actividades relacionadas en el territorio (Boschma y cols., 2015; Hidalgo y cols., 2018; Neffke y Henning, 2013; Neffke y cols., 2011).

Para las economía menos desarrolladas la diversificación de su base de conocimientos es un elemento central. Desde la perspectiva de la GEE, la dependencia de la trayectoria y del territorio puede conducir a situaciones de lock-in que hacen especialmente difícil que las regiones menos desarrolladas mejoren su situación. Un importante número de trabajos aplicados estudian este fenómeno para distintas regiones y desde variadas perspectivas (Hartmann y cols., 2017, 2021; Isaksen, 2015), haciendo especial énfasis en la variedad de capacidades necesarias para desarrollar una actividad, así como en el ubicuidad de la actividad a nivel regional o global.

Para abordar estas dos dimensiones, estos trabajos usan indicadores de complejidad siguiendo distintas adaptaciones del propuesto inicialmente por Hidalgo y Hausmann (2009). Los trabajos aplicados muestran que los territorios pueden quedar atrapados en una estructura productiva, entendida como el conjunto de actividades que se desarrollan en él, que limite su desarrollo económico. Estos territorios, al estar especializados en actividades de baja complejidad, no disponen de las capacidades que les permitirían desarrollar activida-

des más complejas (están alejados de ellas), lo cual los deja entrampados. La búsqueda de estrategias que permitan superar este lock-in es clave para el diseño de políticas públicas. En particular para las decisiones vinculadas al desarrollo de conocimiento técnico, el cual ha mostrado tener un alto poder predictivo sobre la canasta de exportaciones futuras de los países (Pugliese y cols., 2019).

Si bien la literatura sobre diversificación tecnológica desde esta perspectiva es amplia, existen algunos elementos que no han sido estudiados y pueden aportar a mejorar su comprensión. En primer lugar, esta literatura ha hecho uso de redes de cercanía que establecen un vínculo entre dos actividades si ambas muestran tener un volumen de co-ocurrencias mayor al esperado según distintos criterios estadísticos[2]. A partir de ellas es posible analizar, en el caso de tecnologías, la relevancia de ese vínculo de cercanía sobre la probabilidad de que un territorio comience a (o deje de) desarrollar una tecnología. Sin embargo esa es solo una parte de la información que nos ofrecen esas redes de cercanía. Estudiar más a fondo su topología nos puede ayudar a comprender otras dimensiones de la cercanía entre ellas, para así mejorar nuestro entendimiento de los conocimientos necesarios para que una tecnología aparezca en un territorio.

De esta forma, la red de cercanía puede ser vista como un mapa de conocimientos que fluyen entre actividades, los cuales se recombinan unos en otros. Este conocimiento que fluye es producto de estructuras sociales y, por tanto, podemos esperar que la evolución de la cercanía entre actividades no siga un comportamiento netamente aleatorio (Fleming y Sorenson, 2001; Sorenson y cols., 2006). En este sentido, siguiendo a Polanyi y su idea de "emergencia" (Polanyi, 1966b), el nuevo conocimiento no se puede explicar solo por una teoría evolutiva en la que la recombinación aleatoria va generando especies y estas perduran según su capacidad de adaptarse. En la generación de conocimiento, la recombinación de ideas es central, pero el producto obtenido supera a la suma de las partes en el sentido de que hay algo más que interviene y no puede ser descrito únicamente por esa recombinación. Este elemento central, que modifica el proceso, es el conocimiento tácito y puede determinar una estructura topológica de mundo pequeño (Watts y Strogatz, 1998), como las observadas en muchas redes sociales.

En segundo lugar, para el análisis de los procesos de diversificación tecnológica se ha utilizado principalmente la co-ocurrencia de códigos tecnológicos en las patentes ya que una patente puede estar clasificada en más de un código. Pero los registros de patentes también nos permiten identificar a los inventores que participan en ellas. Esta información hace posible realizar un análisis en base al portafolio de tecnologías desarrolladas por los inventores, de manera análoga a lo que se ha hecho para otro tipo de actividades (Neffke y Henning, 2013). Utilizar el portafolio de los inventores nos acerca a la dimensión tácita del conoci-

[2]El tipo de co-ocurrencias analizados es amplio, pero como ejemplo se pueden mencionar bienes que co-ocurren en la canasta de exportaciones de países (Hidalgo y cols., 2007), tecnologías que co-ocurren en el portafolio tecnológico de ciudades (Rigby, 2015), industrias que se repiten en la trayectoria laboral de trabajadores (Neffke y Henning, 2013).

miento, ya que son los individuos los portadores de este conocimiento tácito.

El conocimiento tácito es aquel que los individuos son capaces de utilizar, pero no de explicar o enseñar de manera codificada. Tomar en consideración esta dimensión del conocimiento nos permite reconocer que el producto de lo que creamos no es solo la recombinación de conocimiento codificable (Polanyi, 1966a, 1966b). La relevancia del conocimiento tácito se puede manifestar como un saber hacer que es propio del individuo o como un conocimiento colectivo que los individuos de una comunidad poseen, pero no necesariamente pueden transmitir. Este tipo de conocimiento no solo se expresa en una capacidad de hacer cosas, sino también de identificar problemas (Collins, 2010; Cowan, David, y Foray, 2000). Esto es central para la generación de nuevo conocimiento, ya que la identificación de problemas es la fuente que impulsa su desarrollo en muchos campos. Estas características hacen especialmente relevante entender la cercanía entre actividades desde esta perspectiva, ya que se trata de conocimientos que no pueden ser transferidos con facilidad. Si bien existe un conocimiento tácito que es propio de la firma, y este es central en el enfoque evolucionista, la producción de conocimiento técnico de frontera se enmarca en cadenas globales de valor que pueden desacoplar el lugar donde se desarrolla el conocimiento del que detenta los derechos de propiedad sobre este. Esto es especialmente relevante en regiones relativamente menos desarrolladas.

En tercer lugar, el desarrollo empírico de esta literatura ha estudiado en mayor medida economías desarrolladas, aunque recientemente ha crecido la atención hacia las consecuencias que generan las políticas públicas derivadas de este enfoque sobre regiones menos desarrolladas (Foray, 2019; Hassink, 2010; Hassink y Gong, 2019). La tendencia a la dependencia temporal y espacial en la diversificación puede verse reforzada por políticas que promuevan el desarrollo de actividades cercanas a la base de conocimientos de los territorios. Estas políticas se fundamentan en el hecho de que alcanzar actividades lejanas es más riesgoso y puede conducir a resultados indeseados. Pero en el caso de regiones donde se desarrollan actividades de bajo dinamismo, esto puede significar que sus posibilidades de diversificación las lleven a mantenerse en esa situación (Balland y cols., 2019; Boschma, 2022).

Este lock-in vuelve relevante disponer de mayor información sobre la estructura de cercanías, para poder identificar estrategias que permitan dirigir la diversificación hacia actividades dinámicas. Políticas de ese tipo pueden ser de especial utilidad en regiones dentro de Latinoamérica, donde se observa una marcada heterogeneidad a la interna de los países y en general existen dificultades para desarrollar actividades complejas. Pese a ello, esta literatura ha estudiado relativamente menos a Latinoamérica.

Para contribuir a llenar los vacíos identificados, se estudia la estructura de cercanía de conocimientos requeridos entre tecnologías, a nivel mundial, concebida como una red donde las tecnologías se conectan en función de la intensidad con la que co-ocurren en el portafolio de los inventores. A partir de ello se estudian características topológicas de la red, utilizando

métricas a nivel de nodo, para proponer estrategias de diversificación que permitan aliviar los efectos del lock-in que sufren economías menos desarrolladas. En este sentido el trabajo contribuye a la literatura proponiendo dos indicadores que permiten analizar dimensiones relevantes del sistema de innovación de ciudades de Latinoamérica. Uno de los indicadores permite comparar los niveles de estabilidad de las tecnologías que conforman la base de conocimientos de las ciudades. El segundo ofrece una medida del nivel de alternativas disponibles para la ciudad ante cada decisión de diversificación.

El análisis muestra que es posible identificar características de la estructura topológica de la red de cercanía de conocimiento, que se asocian con una mayor probabilidad de que una ciudad desarrolle ventajas comparativas en determinada tecnología. En particular se observa que la estabilidad de las tecnologías presentes en una ciudad, así como las alternativas de las que dispone para elegir su camino de diversificación, son relevantes para diseñar estrategias de diversificación que contribuyan a superar las restricciones que genera la base de conocimientos en ciudades de Latinoamérica.

El resto del trabajo comienza, en la sección 4.2, por desarrollar la literatura con la que dialoga, se definen los conceptos principales y se proponen las hipótesis. En la sección 4.3 se plantea la estrategia empírica para la operacionalización de los conceptos y el testeo de las hipótesis. Los resultados obtenidos se presentan en la sección 4.4, donde también se analiza su respaldo a las hipótesis. Por último, en la sección 4.5 se sintetizan las conclusiones del trabajo.

## 4.2. Marco teórico

### La estructura de cercanía de conocimientos como una red de tecnologías

Dado que no es posible observar directamente el conjunto de conocimientos disponibles en un territorio, para conocerlos es necesario recurrir a algún método que nos permita aproximarnos.

En los últimos años se ha desarrollado una literatura, que surge a partir de Hidalgo y cols. (2007) e Hidalgo y Hausmann (2009), donde se utiliza información sobre la co-ocurrencia de actividades para estudiar la cercanía entre ellas, su complejidad y la de los territorios que las desarrollan[3]. Dentro de esta literatura, resulta particularmente relevante el "Principio de Cercanía" (Hidalgo y cols., 2018)[4]. La intuición detrás de este principio es que, observando la co-ocurrencia de actividades, en distinto tipo de unidades de análisis, es posible inferir la cercanía entre estas actividades, mediante el uso de análisis de redes. Esto permite identificar

[3]Esta literatura ha sido revisada y sistematizada en trabajos recientes (Balland y cols., 2022; Boschma, 2017; Hidalgo, 2021; Hidalgo y cols., 2018) que buscan, con énfasis en distintos aspectos de este enfoque, mostrar su desarrollo, robustez y alcance.

[4]El término en inglés es "Principle of Relatedness" y si bien la traducción que se usa no es exacta, se entiende que es la que mejor refleja la intuición del concepto.

trayectorias de diversificación que contemplen las capacidades locales, reduciendo así el riesgo inherente a los procesos de diversificación.

Este abordaje ha sido aplicado para entender la cercanía, por ejemplo, entre bienes exportables (Hausmann y cols., 2013; Hidalgo y cols., 2007), áreas de conocimiento científico (Guevara y cols., 2016; Lyu y cols., 2020), marcas (Drivas, 2022), ocupaciones (Farinha y cols., 2019; Muneepeerakul y cols., 2013), sectores industriales (Breschi y cols., 2003; De Raco y Semeshenko, 2019; Essletzbichler, 2015; Neffke y cols., 2011), o tecnologías (Alstott y cols., 2017; Kogler y cols., 2013). En particular las tecnologías, en este marco, son consideradas como áreas del conocimiento técnico y estos trabajos utilizan invenciones patentadas como materializaciones del avance en este tipo de conocimiento.

En el marco de esta investigación resultan particularmente relevantes los trabajos de Neffke y Henning (2013); Neffke y cols. (2011, 2017), donde se utiliza el movimiento de trabajadores entre industrias como insumo para estimar la cercanía de habilidades requeridas en ellas. Con esta información, se busca inferir si las transiciones de trabajadores entre dos industrias ocurren con más frecuencia de lo que cabría esperar en un proceso aleatorio. En caso de que esto suceda los autores plantean que ambas industrias presentan cercanía de habilidades.

Esta aplicación del principio de cercanía resulta apropiada para inferir la cercanía de conocimientos entre tecnologías, analizando el portafolio de tecnologías producidas por los inventores. Diremos que, si el número de inventores que tienen en su portafolio a la tecnología X y a la tecnología Y (registran patentes clasificadas en la tecnología X y también patentes clasificadas en la tecnología Y), está por encima de lo que podemos esperar en una distribución de probabilidad condicionada a los tamaños relativos de la producción de ambas, entonces las tecnologías X e Y tiene una cercanía de conocimientos entre ellas. Este resultado nos estaría mostrando que la experiencia adquirida en el desarrollo de una tecnología, brinda conocimientos que son requeridos para desarrollar la otra.

La cercanía de conocimientos nos brinda un marco para considerar si dos tecnologías son o no cercanas, en cuanto a los conocimientos requeridos para desarrollarlas. De esta forma podemos analizar al conjunto de tecnologías como una red, en la cual cada tecnología es un nodo y un par de nodos está conectado si hay un vínculo de cercanía entre las tecnologías que representan. Por otro lado, usando la información sobre el lugar de residencia de los inventores, podemos conocer las tecnologías en las que se patenta en cada ciudad. Combinando estos dos elementos podemos proponer una forma de medir la cercanía de la base de conocimientos de una ciudad, con respecto a cada tecnología.

Si bien existen antecedentes que utilizan este enfoque para países en desarrollo (Alonso y Martín, 2019; Dosi, Mathew, y Pugliese, 2020; Petralia y cols., 2017), esta literatura se ha concentrado en países desarrollados (Boschma y cols., 2015; Guevara y cols., 2016; Kogler y cols., 2013; Muneepeerakul y cols., 2013; Neffke y cols., 2011; Zhu y cols., 2017). Por otro lado, los trabajos que estudian la cercanía entre tecnologías lo hacen considerando la co-

citación entre tecnologías (Alstott y cols., 2017; Kogler y cols., 2013), pero no hay trabajos que estudien la cercanía de conocimientos, entre tecnologías, expresada por el portafolio de los inventores.

### Diversificación relacionada y no relacionada

La búsqueda de diversificación económica se puede transitar mediante el desarrollo de actividades cercanas a las que están presentes en el territorio (diversificación relacionada), intentando alcanzar algunas que sean distantes a la base de conocimientos disponibles (diversificación no relacionada), o con una combinación de ambas estrategias que se ajuste a las características de la región estudiada (Boschma, 2022). A partir de los conceptos de diversificación relacionada y diversificación no relacionada (Frenken y cols., 2007)[5], se han estudiado las implicancias de seguir una u otra de estas estrategias.

Desde el punto de vista teórico se propone que ambas tienen potenciales beneficios que, naturalmente, se asocian a distintos riesgos. La diversificación relacionada aprovecha las externalidades de cercanía (Jacobs, 1969), se asocia con aumentos de la productividad en cada actividad y la generación de innovaciones incrementales donde las nuevas actividades son cercanas a las antiguas. Por su parte la diversificación no relacionada puede contribuir a diversificar el riesgo, desde una perspectiva de portafolio (Montgomery, 1994), así como a generar innovaciones disruptivas donde las actividades que surgen son distantes a las originales.

La diversificación relacionada ha sido propuesta como la base de las políticas de especialización inteligente, ampliamente promovidas en Europa (Balland y cols., 2019; Boschma, 2022; Foray, 2014). Pero la diversificación no relacionada también ha recibido gran atención dado que se asocia con procesos de transformación potencialmente más disruptivos, aunque también más riesgosos (Alshamsi y cols., 2018; Castaldi y cols., 2015; Grillitsch y cols., 2018; Janssen y Frenken, 2019; Pinheiro y cols., 2021; Zhu y cols., 2017). Esto ha llevado a que la literatura avance en la comprensión de las características y la relación entre estos dos conceptos (Asheim y cols., 2011; Content y Frenken, 2016; Juhász y cols., 2021; Whittle y Kogler, 2020). El debate sobre la conveniencia de promover estrategias basadas en la diversificación relacionada o no relacionada continúa abierto (Foray, 2019; Hassink y Gong, 2019), entre otras cosas porque se entiende que las primeras pueden reforzar el lock-in, de economías menos desarrolladas, en estructuras de baja complejidad. Este aspecto ha sido estudiado recientemente, desde esta perspectiva, observando que este lock-in existe y resulta muy difícil de superar para los países que se encuentran en esta situación (Hartmann y cols., 2021; Pinheiro, Balland, Boschma, y Hartmann, 2022).

En un contexto como el latinoamericano, donde existe un rezago relativo en materia de desarrollo de conocimiento técnico de frontera, resulta particularmente relevante analizar

[5]Los términos usados en la literatura en inglés son “related variety" y “unrelated variety". La traducción que se utiliza aquí busca transmitir la idea intuitiva de los términos.

alternativas para alcanzar tecnologías de mayor complejidad y dinamismo. En este sentido, explotar al máximo la información contenida en las redes de cercanía de conocimiento puede facilitar la identificación de oportunidades de diversificación no relacionada, disminuyendo el riesgo que esta estrategia conlleva.

### Producción de conocimiento y ciudades de Latinoamérica

Las ciudades han sido destacadas como objeto de estudio debido al rol que juegan en las sociedades actuales (Jacobs, 1969; Neal, 2012). La geografía económica ha enfatizado su relevancia, tanto desde su enfoque neoclásico (Krugman, 1991, 2011), como el de los estudios regionales (Glaeser, Kallal, Scheinkman, y Shleifer, 1992). El enfoque de la geografía económica evolucionista concede especial atención a las aglomeraciones urbanas como unidades de análisis, dada su capacidad de reunir distintas dimensiones de proximidad que este enfoque considera centrales para los procesos de innovación (Balland y cols., 2015; Boschma, 2005; Boschma y Frenken, 2006; Boschma y Lambooy, 1999; Martin y Sunley, 2006).

A nivel mundial las ciudades juegan un papel central en la producción de conocimiento (Maisonobe y cols., 2016). La literatura sobre desarrollo de conocimiento técnico, en base al uso de datos de patentes, ha enfatizado los efectos regionales de las redes de colaboración entre ciudades (Boschma, 2005; Cantner y Graf, 2006; Strumsky y Thill, 2013), y la relevancia de las grandes ciudades para concentrar las actividades más complejas (Balland y cols., 2020).

En Latinoamérica más del 81 % de la población vivía en áreas urbanas en 2018 y se proyecta que este valor alcance el 89 % para 2050. Además, las mega ciudades de más de 10 millones de habitantes albergan a más del 14 % de la población[6]. Las aglomeraciones urbanas concentran la mayor parte de la actividad económica, representando cerca del 60 % del PBI de Latinoamérica y concentrando en unas 40 ciudades cerca del 30 % (Montero y García, 2017). Esta relevancia tiene su correlato en la concentración de la producción de conocimiento, la cual ha sido ampliamente estudiada (Arond, Rodríguez, Arza, Herrera, y Sánchez, 2011; Bianchi y cols., 2020; Cabello, 2022; Fischer y cols., 2018).

Si bien los países de Latinoamérica juegan un rol periférico en el sistema global de producción de conocimiento (Chaves y cols., 2020), las características de la región hacen que su desarrollo sea fuertemente heterogéneo, dando lugar a distintas trayectorias de acumulación de capacidades (Bianchi y cols., 2021, 2023). Esto se ve reforzado por un proceso de regionalización de la educación superior y los centros de investigación, lo que ha llevado a que las ciudades ocupen un lugar central en este sentido (Rama y Cevallos, 2016). Estos aspectos impulsan una reflexión académica acerca de la necesidad de abordajes específicos para la región en materia de políticas públicas, que contemplen esta estructura territorial (Duque Franco, 2021; Marchetti y cols., 2019).

[6] https://population.un.org/wup/DataQuery/

La región tradicionalmente ha sido conducida por mega ciudades que actualmente enfrentan el agotamiento de los beneficios proporcionados por la densidad y concentración urbanas, en parte por la falta de infraestructura y la persistente desigualdad (Fischer y cols., 2018). A su vez, evidencia reciente muestra que las ventajas asociadas al tamaño de las ciudades son limitadas (Fritsch y Wyrwich, 2021). Por otro lado, nuevas ciudades comienzan a emerger caracterizadas por la relevancia de su clase media y con el potencial de contribuir al crecimiento de los países (Montero y García, 2017). En base a esto, la diversidad de características entre ciudades parece relevante para entender los procesos de innovación en Latinoamérica. Esta diversidad no se puede observar completamente en estudios que utilizan a los países como unidades de análisis.

### Flujos de conocimiento y estructura de red

Las redes de cercanía se han utilizado para estudiar procesos de diversificación relacionada entre tecnologías (Boschma y cols., 2015). Para ello estos trabajos utilizan un indicador de densidad de cercanía del territorio (región, ciudad, etc.) con respecto a cada tecnología existente. El procedimiento para calcular este indicador[7] para cada territorio consiste en tomar una tecnología (que llamaremos objetivo) y listar todas las tecnologías con las que la tecnología objetivo se vincula en la red de cercanía (vecindario de grado 1 de la tecnología objetivo). Luego se calcula la proporción de estas tecnologías, vinculadas a la objetivo, que están presentes en el territorio. Para definir qué tecnologías están presentes en el territorio se utilizan indicadores de ventajas comparativas, al estilo de Balassa (1986), que comparan el peso de la tecnología en el portafolio del territorio, con su peso en el portafolio total de la región de referencia. Los trabajos previos muestran que la densidad de cercanía se asocia positivamente con la probabilidad de que la tecnología se comience a desarrollar en la ciudad, y negativamente con que se deje de hacerlo (Balland y cols., 2019; Balland y Rigby, 2017; Boschma y cols., 2015; Hidalgo y cols., 2018).

Por otro lado, en las últimas décadas varios trabajos han estudiado las características topológicas de las redes de flujos de conocimiento. Estos encuentran que muchas de estas redes se caracterizan por presentar estructuras de mundo pequeño (Breschi y Lenzi, 2016; Burt, 2004; Fleming y cols., 2007; Uzzi y Spiro, 2005; Watts y Strogatz, 1998), en las cuales se combinan características de las redes aleatorias (los vínculos entre nodos siguen una distribución aleatoria) con otras presentes en las redes sociales (existen vínculos que dependen de características de los nodos). Esto conduce a estructuras con una marcada tendencia al cierre de triadas, lo cual las vuelve altamente clusterizadas, pero con vínculos entre los cluster que hacen posible recorrer la red en un número reducido de pasos.

En el marco del estudio de redes de cercanía de conocimiento, es posible tener en cuenta estas características de las redes de flujo de conocimiento al analizar no solo la densidad de

[7] La definición formal de los indicadores que se exponen en este apartado será presentada en la sección 4.3.

la ciudad hacia la tecnología objetivo, sino también hacia las tecnologías con las que la tecnología objetivo muestra tener cercanía de conocimientos (su vecindario de grado uno). Esto implica analizar la cercanía de la ciudad hacia tecnologías cercanas a la objetivo, pero que puedan estar o no presentes en la ciudad. Tomando como ejemplo la figura 4.1, si queremos alcanzar la tecnología $i$, no solo podemos considerar que $x$ es la única tecnología presente en la ciudad que se vincula con $i$. También podemos tener en cuenta la densidad de la ciudad con respecto a $x$, $p$ y $q$ (vecindario de grado uno de $i$).

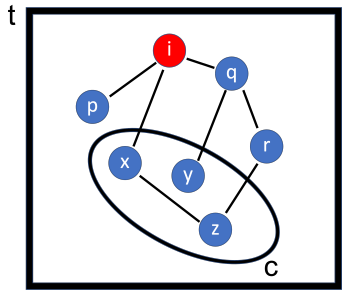



Figura 4.1: Ejemplo ilustrativo donde los nodos de la red son tecnologías. El óvalo negro representa a la ciudad ($C$), en ella están presentes tres tecnologías ($x$, $y$, $z$). La tecnología $i$ es la objetivo y los vínculos entre tecnologías implican cercanía de conocimiento.

En este ejemplo ficticio, la densidad de cercanía de la ciudad $C$ con respecto a la tecnología $i$ es de $1/3$, ya que solo una de las tres tecnologías que se relacionan con $i$ está presente en la ciudad $C$. Por otro lado, es importante tener en cuenta que las ciudades pueden tener una baja densidad de cercanía con respecto a las tecnologías que están presentes en ella. Por ejemplo, pese a que $x$ está presente en la ciudad, la densidad de cercanía de $C$ respecto de $x$ es de $1/2$. Incluso podemos tener casos como $y$, cuya densidad de cercanía respecto de la ciudad $C$ es de 0 (la única tecnología cercana a $y$ es $q$ y no está presente en $C$). Por lo tanto, la densidad de cercanía de la ciudad con respecto a las tecnologías presentes no necesariamente debe ser alta. Del mismo modo podemos tener casos como el de $p$, donde la densidad de cercanía de $C$ con respecto de ella es 0, pero la densidad de cercanía con respecto al vecindario de $p$, que viene dado por $i$, es de $1/3$.

Este análisis de la topología de la red nos permite proponer dos medidas de densidad, distintas a las utilizadas en la literatura previa, que recogen la cercanía de la ciudad a las tecnologías vinculadas a la objetivo. En primer lugar la "densidad de estabilidad", la cual se construirá a partir de la densidad de cercanía de la ciudad con respecto a las tecnologías vinculadas a la tecnología objetivo, presentes en la ciudad. En el ejemplo de la figura 4.1, $x$ es única tecnología que debemos tener en cuenta para el calculo de la densidad de estabilidad con respecto de $i$. La segunda la denominaremos "densidad de alternativas" e implica el mismo razonamiento, pero con respecto a las tecnologías que no están presentes en la ciudad ($p$ y $q$ en la figura 4.1).

Estas medidas significan un aporte a esta literatura, ya que permiten utilizar una mayor

parte de la información contenida en la red de cercanía de conocimientos. Por un lado la densidad de estabilidad brinda una idea del entorno de las tecnologías que sirven de base para la decisión de diversificación, contemplando la posibilidad de que las tecnologías presentes en la ciudad estén pobremente enraizadas. Esto hace que su desarrollo dependa fuertemente de conocimiento externo e incrementa la posibilidad de que se dejen desarrollar en el territorio. Por otro lado, la densidad de alternativas muestra la proximidad de la ciudad hacia el entorno aún no desarrollado de tecnologías cercanas a la que se quiere alcanzar. En un contexto de recursos escasos, las decisiones de diversificación pueden verse afectadas por estas alternativas.

### Hipótesis

La densidad de cercanía de una ciudad, con respecto a las tecnologías existentes, ha mostrado ser una variable relevante para estudiar la probabilidad de que una región se diversifique hacia una determinada tecnología (Boschma y cols., 2015; Kogler y cols., 2013; Rigby, 2015). Estos trabajos también han encontrado que una mayor densidad de cercanía se asocia con una menor probabilidad de que la tecnología se deje de producir en la ciudad.

En este sentido la densidad de estabilidad, propuesta en el apartado anterior, puede ser vista como una forma de aproximar la estabilidad de las tecnologías que se relacionan con la objetivo. Una densidad de estabilidad baja implica, ceteris paribus, que la tecnología que se pretende alcanzar se vincula con tecnologías presentes en la ciudad que pueden tener una alta probabilidad de desaparecer y esto puede dificultar la consolidación de la nueva tecnología en el territorio.

La presencia de tecnologías con una baja densidad de estabilidad en una ciudad puede estar asociada a políticas públicas que hayan impulsado su desarrollo, sin considerar la capacidad de la ciudad para sostenerlas. Su presencia también se puede deber a la existencia de agentes aislados, que participan de flujos globales de producción de conocimiento pero cuya localización no está asociada a la disponibilidad de conocimiento especializado en el territorio. En regiones de menor desarrollo relativo, con sistemas de innovación inmaduros y fragmentados, es particularmente importante considerar este tipo de circunstancias. En estos territorios el desarrollo de una tecnología puede deberse a la cercanía de recursos naturales o a condiciones institucionales que favorezcan la instalación de actividades aisladas. El acceso a canales globales de conocimiento, por medio de actores vinculados al exterior, puede ser fundamental para el desarrollo de dichos territorios, pero su capacidad de absorber el conocimiento y distribuirlo puede ser limitada.

A su vez, una alta densidad de estabilidad brinda indicios de un alto nivel de enraizamiento de las tecnologías que se vinculan con la que queremos alcanzar. Esta condición se asocia con una menor probabilidad de que estas tecnologías se dejen de producir en el territorio, brindando un soporte más seguro a la tecnología hacia la que se quiere diversificar. Además, el hecho de que las tecnologías que conforman la densidad de cercanía estén a su

vez sostenidas en el territorio muestra que estas pueden contar con la base de conocimientos locales para su desarrollo.

Por otro lado una alta densidad de alternativas nos muestra, ceteris paribus, que la ciudad cuenta con la capacidad de atraer tecnologías relacionadas con la tecnología objetivo, que aún no están presentes en la ciudad. Estas alternativas pueden desviar recursos, en este caso inventores, hacia tecnologías distintas de la objetivo, disminuyendo la probabilidad de aparición de esta en la ciudad. Del mismo modo, si la ciudad dispone de pocas alternativas dentro del conjunto de tecnologías cercanas a la objetivo, sus recursos se enfocarán y aumentará la probabilidad de desarrollar dicha tecnología objetivo.

Las dos densidades propuestas aportan información acerca de las condiciones para que una determinada tecnología se desarrolle en una ciudad y podemos esperar que se complementen con la densidad de cercanía, que ya ha sido estudiada en trabajos anteriores (Boschma y cols., 2015). Al considerar las relaciones de cercanía entre tecnologías como una red de flujos de conocimientos, resulta esencial tener en cuenta esta complementariedad. En este sentido la densidad de estabilidad y la densidad de alternativas podrían incrementar la probabilidad de que una ciudad desarrolle una tecnología para la cual tiene una densidad de cercanía por debajo del promedio.

A su vez, para tecnologías hacia las cuales la ciudad tiene una alta densidad de cercanía, niveles altos de densidad de estabilidad y densidad de alternativas implicarían que la incorporación de la nueva tecnología pueda ser redundante para la base de conocimientos de la ciudad. El enfoque de la proximidad que se utiliza en este marco teórico destaca la importancia de la proximidad para el desarrollo de nuevas actividades, pero también reconoce que un exceso de esta puede tener efectos negativos (Balland y cols., 2015; Boschma, 2005). Por lo tanto, resulta pertinente analizar la asociación de las densidades propuestas, con respecto a la probabilidad de aparición de una nueva tecnología, teniendo en cuenta la interacción de ellas con la densidad de cercanía. En base a lo anterior se proponen las siguientes hipótesis:

**Hipótesis 1a:** *La densidad de estabilidad con respecto a una tecnología tiene una asociación positiva con la probabilidad de que esta se comience a desarrollar en la ciudad.*

**Hipótesis 1b:** *La densidad de alternativas con respecto a una tecnología tiene una asociación negativa con la probabilidad de que esta se comience a desarrollar en la ciudad.*

**Hipótesis 2a:** *La densidad de estabilidad y la densidad de alternativas compensan la falta de proximidad, manifestada en niveles bajos de densidad de cercanía, en cuyo caso se asocian positivamente con la probabilidad de desarrollar la nueva tecnología en la ciudad.*

**Hipótesis 2b:** *La densidad de estabilidad y la densidad de alternativas generan un exceso de proximidad, en presencia de niveles altos de densidad de cercanía, en cuyo caso se*

*asocian negativamente con la probabilidad de desarrollar la nueva tecnología en la ciudad.*

Finalmente, en línea con lo expuesto, si consideramos que la densidad de estabilidad y la densidad de alternativas nos brindan información sobre la base de conocimientos disponibles en el territorio, y que una alta densidad de alternativas implica que la ciudad dispone de un conjunto amplio de opciones para diversificar su portafolio de tecnologías, podemos esperar que lo haga hacia aquellas que tengan un mayor potencial para ofrecer rentas económicas. Obviamente la capacidad de generar rentas económicas futuras no es observable para los agentes que deben tomar las decisiones de diversificación, pero la literatura reciente ha mostrado que la complejidad puede ser considerada como una medida de la capacidad de una actividad para generar este tipo de rentas (Balland y Rigby, 2017; Rigby, Roesler, Kogler, Boschma, y Balland, 2022). Por lo tanto se plantea la siguiente hipótesis:

**Hipótesis 3:** *La interacción de densidad de alternativas con niveles altos de complejidad, tiene un efecto positivo en la probabilidad de desarrollar la nueva tecnología.*

## 4.3. Datos y metodología

Para llevar adelante esta investigación se hace uso de datos de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés), obtenidos a través del proyecto PatentsView , donde se cuenta con información desambiguada (Monath y cols., 2021; Monath y McCallum, 2015) sobre los inventores y propietarios de las patentes, así como las tecnologías en las se que clasifican. El proceso de desambiguación de los inventores es particularmente relevante en este caso, ya que esto permite que se pueda analizar su portafolio de patentes, así como el lugar de residencia al momento del registro. Estos elementos son clave para el cálculo de los indicadores y para la asignación de las patentes en las ciudades de Latinoamérica. Los registros de patentes de la USPTO son ampliamente utilizados en esta literatura (Balland y Rigby, 2017; Boschma y cols., 2015; Kogler y cols., 2013; Perruchas y cols., 2020; Petralia y cols., 2017), no solo por su amplia disponibilidad y cobertura, sino también porque así se evitan los problemas de comparabilidad que enfrenta el uso de datos de oficinas nacionales, debido a los distintos marcos jurídicos a los que responden.

En materia de clasificación tecnológica, la base de datos permite utilizar la International Patent Classification (IPC)[8], de la World Intellectual Property Organization (WIPO). Esta clasificación tecnológica cuenta con una desagregación a nivel de sección, clase y subclase. Si bien las patentes pueden estar clasificadas en más de una tecnología, la base de la USPTO permite identificar el orden de aparición de cada campo tecnológico en la patente. Esto es importante ya que representa un orden de relevancia, en el cual el primer campo es el que

[8] https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/

mejor describe la tecnología en la que cada patente realiza un aporte al conocimiento. Ese es el criterio seguido por la USPTO para determinar los técnicos a los que se le asignará el análisis de cada patente.

La base de datos utilizada cuenta con 7.217.426 patentes aceptadas por la USPTO, cuya aplicación fue realizada entre 1972 y 2019. En ella aparecen también 3.659.986 inventores y el 54.4 % de estos participan en más de una patente. A los efectos de este trabajo, resulta especialmente relevante contar con un volumen considerable de inventores que se patentan en más de una tecnología. En este sentido, los datos disponibles muestran que un 31.7 % de los inventores registra patentes en más de una de sección, el nivel más agregado de la clasificación IPC. Obviamente esta proporción aumenta si miramos niveles menos agregados, pasando a un 37.7 % a nivel de clase y un 41.7 % a nivel de sub clases. Dado que cerca de la mitad de los inventores tienen un solo registro, si consideramos solo a los inventores con más de una patente estos porcentajes casi que se duplican (58.2 % a nivel de sección, 69.3 % a nivel de clase y 76.6 % a nivel de sub clase).

En cuanto a la magnitud de los registros con inventores de Latinoamérica, la proporción de inventores de la región en el total a nivel mundial, así como la proporción de patentes en las que participan, ha crecido en los últimos años. Si bien los inventores de Latinoamérica representan como máximo anual un 0.51 % del total, y las patentes asociadas a ellos un 0.45 %, este crecimiento se ha dado en simultaneo con el crecimiento del número total de patentes a nivel global. Por lo tanto, el patentamiento en la USPTO, con participación de Latinoamérica, ha crecido en términos relativos y absolutos.

Considerando todo el período cubierto por nuestra base de datos, los inventores de Latinoamérica representan el 0.98 % del total de inventores a nivel global, y participan en el 0.29 % de las patentes. El 30 % de los inventores de Latinoamérica están en más de una patente, de ellos un 38.8 % tiene registros en más de una sección de la clasificación IPC. Al igual que ocurría al analizar el conjunto de datos a nivel global, la proporción de inventores que patentan en más de una clase y sub clase es mayor (50.9 % y 59.7 % respectivamente).

Como es de esperar, dadas las características de las economías de la región, la proporción de inventores con un portafolio de varias tecnologías está por debajo de lo observado a nivel global. Ahora bien, si consideramos que en la región aparece un 26.1 % de las clases que se observan a nivel mundial, y solo un 18.1 % de las sub clases, es claro que los inventores de Latinoamérica tienen menos alternativas en este sentido. En contrapartida, esta situación muestra que la región tienen un amplio terreno para diversificar las tecnologías en las que patenta.

En base a trabajos previos (Bianchi y cols., 2021, 2023) sabemos que, para Latinoamérica, la asignación del país no presenta problemas en esta base de datos, pero la identificación de ciudad y coordenadas requiere de cierto trabajo de depurado. Para ello se utilizan los datos de país y ciudad de la base, para determinar la ciudad a la que pertenece el inventor. Esta información permite agrupar localidades pequeñas, en las ciudades de las que forman

parte. Para esto se utiliza el nombre de la ciudad y del país, para ubicarla en Google Maps. Dado que el nombre de la ciudad puede tener erratas, se eliminan caracteres como números, puntos o símbolos, antes de llevar adelante este punto. De esta forma la identificación en Google Maps devuelve, para cada ciudad-país, una denominación y sus coordenadas. Esta denominación puede no coincidir precisamente con la forma en la que está referida en la base, pero esto permite desambiguar los registros que puedan referirse a la misma ciudad de distinta manera. Luego, las coordenadas de cada ciudad permiten analizar la distancia entre ellas y definir un criterio para agrupar a las ciudades pequeñas (pocas patentes) en ciudades mayores. Esto es especialemente importante debido a que los registros de ciudad no están estandarizados en la base de patentes, y distintos países manejan distintos niveles administrativos. Por esta razón, pueden haber registros en los que el inventor declara la localidad donde vive, pero esta se encuentra inserta en una ciudad.

Para el análisis que se presenta en esta sección, si una ciudad con un bajo número relativo de patentes tiene una ciudad mayor a menos de 30 kilómetros, entonces se asignan las patentes de la ciudad menor a esta última. Por último se seleccionan, para cada país, las mayores ciudades que representen en conjunto el 95 % de las patentes del país. De esta forma se excluyen pequeñas localidades con pocos registros.

Mediante este procedimiento se identifican 20.207 patentes, a lo largo del período cubierto por los datos, distribuidas en 126 ciudades de los 19 países considerados. La tabla 4.1 muestra información descriptiva a nivel de países, donde se puede ver el número de ciudades identificadas en cada uno, así como otras magnitudes relevantes, como la cantidad de patentes e inventores, tanto en niveles como por millón de habitantes, y la cantidad de años en los que aparece cada país en nuestros datos.

Para el cálculo de los indicadores y el análisis econométrico se consideran las patentes registradas entre, 2000 y 2019, agrupando los registros en ventanas temporales de cuatro años. El volumen de registros de patentes con inventores latinoamericanos, en la USPTO, hasta principios de este siglo era reducido. Por esta razón se opta por trabajar con los primeros veinte años de este siglo, de forma de utilizar información que refleja el patrón actual de desarrollo inventivo de la región. Por otro lado, para poder trabajar con patentes aprobadas, se debe considerar el periodo de rezago entre su presentación y la aprobación, por lo cual se utilizan registros hasta 2019. En la tabla 4.2 se puede ver la distribución entre países de las 80 ciudades utilizadas en el análisis econométrico por aparecer en las 5 ventanas temporales estudiadas.

### Operacionalización de conceptos y modelos de análisis

Estos datos permiten construir matrices de co-ocurrencia ($F$) de tecnologías, en los portafolios de los inventores a nivel global, para cada período analizado[9]. Para ello, si un indivi-

[9]Para simplificar la notación se excluye el sub índice $t$, pero todos los indicadores son calculados para cada período.

| País | Ciudades | Inventores | Inventores p/mill | Patentes | Patentes p/mill | Años |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brazil | 25 | 8780 | 41.34 | 7530 | 35.45 | 48 |
| Mexico | 25 | 6368 | 48.13 | 5814 | 43.95 | 48 |
| Argentina | 12 | 2086 | 46.25 | 2533 | 56.16 | 48 |
| Chile | 7 | 1353 | 73.93 | 1110 | 60.66 | 47 |
| Venezuela | 10 | 907 | 27.65 | 924 | 28.17 | 46 |
| Colombia | 7 | 824 | 16.55 | 669 | 13.43 | 46 |
| Costa Rica | 2 | 358 | 71.60 | 648 | 129.60 | 46 |
| Peru | 5 | 193 | 5.87 | 210 | 6.38 | 42 |
| Uruguay | 2 | 175 | 50.00 | 190 | 54.29 | 36 |
| Cuba | 1 | 709 | 61.65 | 182 | 15.83 | 39 |
| Ecuador | 5 | 98 | 5.73 | 122 | 7.13 | 41 |
| Panama | 3 | 83 | 19.76 | 116 | 27.62 | 41 |
| Dominican Republic | 6 | 72 | 6.55 | 92 | 8.36 | 35 |
| Guatemala | 3 | 56 | 3.18 | 78 | 4.43 | 39 |
| Bolivia | 3 | 32 | 2.81 | 51 | 4.47 | 29 |
| Honduras | 4 | 34 | 3.54 | 46 | 4.79 | 22 |
| El Salvador | 1 | 27 | 4.22 | 28 | 4.38 | 19 |
| Paraguay | 2 | 28 | 4.00 | 25 | 3.57 | 19 |
| Nicaragua | 3 | 10 | 1.56 | 12 | 1.88 | 10 |

Cuadro 4.1: Información a nivel de países, en orden decreciente por la cantidad de patentes. La misma patente se puede contar en más de un país, por lo cual el total es mayor que las 20.207 consideradas. Población por país tomada del Banco Mundial para 2018.

| País | # Ciudades | País | # Ciudades |
|---|---|---|---|
| Argentina | 8 | El Salvador | 1 |
| Brasil | 24 | Guatemala | 1 |
| Chile | 5 | Honduras | 1 |
| Colombia | 5 | México | 22 |
| Costa Rica | 1 | Panamá | 1 |
| Cuba | 1 | Perú | 1 |
| Dominicana | 1 | Uruguay | 1 |
| Ecuador | 1 | Venezuela | 6 |

Cuadro 4.2: Ciudades, por país, consideradas en el análisis econométrico

duo patentó en una tecnología $j$ y también en una tecnología $i$, tendremos que $F_{j,i} = F_{i,j} = 1$. Al agregar los movimientos, entre pares de tecnologías, obtenemos una matriz simétrica de $N \times N$, siendo $N$ el número total de tecnologías. Con $F$ podemos estimar un modelo nulo que nos permita medir el desvío de las co-ocurrencias observadas, con respecto de las esperadas ($\hat{F}$). En base a esto, siguiendo a Neffke y Henning (2013), se calcula el indicador de cercanía de conocimientos ($cc$) de esta manera:

$$\hat{F}_{i,j} = \frac{\sum_j F_{i,j} \sum_i F_{i,j}}{\sum_i \sum_j F_{i,j}}$$

$$cc^{**}_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{\hat{F}_{i,j}}$$

En primer lugar se comparan las co-ocurrencias observadas ($F_{i,j}$) con las estimadas ($\hat{F}_{i,j}$).

Si $0 < cc^{**}_{i,j} \leq 1$ decimos que las co-ocurrencias observadas, entre la tecnología $i$ y la $j$, están por debajo o son iguales a las estimadas. Valores de $cc^{**}_{i,j} > 1$ indican que el volumen de inventores que patentan en $i$ y $j$ supera lo esperado, lo cual se interpreta como una cercanía de conocimiento entre ambas tecnologías. El indicador $cc^{**}_{i,j}$ tiene la desventaja de presentar una cola derecha pronunciada, debido a que toma valores entre cero e infinito. Por ello se lo normaliza e impone que cada tecnología esté perfectamente relacionada consigo misma.

$$cc^{*}_{i,j} = \begin{cases} \dfrac{cc^{**}_{i,j} - 1}{cc^{**}_{i,j} + 1} & \forall\, i \neq j \\ 0 & \forall\, i = j \end{cases}$$

Finalmente, la matriz de cercanía de conocimientos se acota entre cero y uno de la siguiente forma:

$$cc_{i,j} = \frac{1}{2}\left(cc^{*}_{i,j} + 1\right) \tag{4.1}$$

La ecuación 4.1 establece que $cc \in [0,1]$, donde los pares de tecnologías que muestren valores cercanos a 0 serán consideradas como marcadamente disimiles en materia de requerimientos de conocimientos y las que se sitúen cerca de 1 serán las que presenten una mayor cercanía en este sentido.

Para determinar qué tecnologías están presentes en cada ciudad se utiliza el índice de ventajas comparativas reveladas, propuesto por Balassa (1986) y aplicado en varios trabajos de esta literatura (Boschma y cols., 2015; Hidalgo y cols., 2007). De esta forma diremos que la tecnología $i$ está presente en la ciudad $u$, si se cumple que:

$$RCA_{u,i} = \frac{pat_{u,i} / \sum_i pat_{u,i}}{\sum_u pat_{u,i} / \sum_u \sum_i pat_{u,i}} > 1$$

Donde $pat_{u,i}/\sum_i pat_{u,i}$ es la proporción que representa la tecnología $i$ en el portafolio de tecnologías de la ciudad $u$, y $\sum_u pat_{u,i}/\sum_u \sum_i pat_{u,i}$ es la proporción que representa la tecnología $i$ en el conjunto de ciudades analizadas. Por lo tanto, diremos que la ciudad $u$ tiene ventajas comparativas en la tecnología $i$ ($RCA_{u,i} > 1$), si esta tecnología representa una proporción mayor en su portafolio que en el conjunto de las ciudades.

Luego se define un indicador para la densidad de cercanía de una ciudad, con respecto a cada tecnología observada a nivel global. Para ello se establece un umbral ($\theta = 0{,}5$) para $cc$, a partir del cual decimos que la cercanía de conocimiento es significativa[10]. Siendo $CC_{u,i}$ el número de tecnologías presentes ($RCA_{u,j} > 1$) en la ciudad $u$, que tienen cercanía de conocimientos con la tecnología $i$ (i.e $cc_{j,i} > \theta$), y $A$ el total de tecnologías con cercanía de conocimiento con respecto de $i$. Se define $cercania_{u,i} \in [0,1]$ como la densidad de cercanía de la ciudad $u$, con respecto a la tecnología $i$:

[10] En este documento no se discuten las alternativas para definir este umbral, pero este es un tema central en el análisis de redes y existe una amplia literatura al respecto (Coscia y Neffke, 2017; Coscia y Rossi, 2019; Neal, 2013, 2014).

$$cercania_{u,i} = \frac{CC_{u,i}}{A} \tag{4.2}$$

Para analizar la proximidad de las ciudades a los vecindarios de las tecnologías se definen los siguientes indicadores.

$$estabilidad_{u,i} = \begin{cases} \frac{\sum_j^J cercania_{u,j}}{J} & \forall\, J > 0 \\ 0 & si\ J = 0 \end{cases} \tag{4.3}$$

En la ecuación 4.3 se define la densidad de estabilidad, donde $j \in [1, J]$ son las tecnologías presentes en la ciudad $u$, que pertenecen al vecindario de grado uno de la tecnología $i$ en la red de cercanía de conocimientos. Por lo tanto, como se definió en la sección 4.2, este indicador mide la densidad de cercanía promedio de la ciudad $u$ con respecto a las tecnologías presentes en ella que pertenecen al vecindario de grado uno de la tecnología $i$.

$$alternativas_{u,i} = \begin{cases} \frac{\sum_k^K cercania_{u,k}}{K} & \forall\, K > 0 \\ 0 & si\ K = 0 \end{cases} \tag{4.4}$$

Por su parte la ecuación 4.4 define la densidad de alternativas, donde $k \in [1, K]$ son las tecnologías que no están presentes en la ciudad $u$, y que pertenecen al vecindario de grado uno de la tecnología $i$ en la red de cercanía de conocimientos. Con lo cual, este indicador mide la densidad promedio de la ciudad $u$ con respecto a las tecnologías que no están presentes en ella y que pertenecen al vecindario de grado uno de la tecnología $i$.

Con la información disponible también es posible calcular el indicador de complejidad de cada tecnología usando el "Método de los Vectores Propios", siguiendo a Hidalgo y Hausmann (2009) y Balland y Rigby (2017). Este indicador, ampliamente utilizado en esta literatura (Hidalgo, 2021), puede ser calculado mediante el segundo vector propio de la transposición de la matriz bipartita de tecnologías y ciudades. En términos intuitivos este método tiene en cuenta la ubicuidad de la tecnología a nivel mundial, así como la diversidad de conocimientos que requiere en base a las otras tecnologías que integran el portafolio de los territorios en los que se produce.

Para testear las hipótesis uno (a y b) y dos (a y b) se estima el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} nueva_{u,i,t} \quad = \quad & \beta_1 cercania_{u,i,t-1} + \beta_2 estabilidad_{u,i,t-1} + \beta_3 alternativas_{u,i,t-1} + \\ & \beta_4 cercania_{u,i,t-1} * estabilidad_{u,i,t-1} + \beta_5 cercania_{u,i,t-1} * alternativas_{u,i,t-1} + \\ & \beta_6 estabilidad_{u,i,t-1} * alternativas_{u,i,t-1} + \\ & \beta_7 complejidad_{i,t-1} + \beta_8 transitividad_{i,t-1} + \\ & B_9 X_{u,t-1} + \gamma_u + \delta_i + \zeta_t + \varepsilon_{u,i,t} \end{aligned} \tag{4.5}$$

Donde, siguiendo trabajos anteriores (Boschma y cols., 2015; Kogler y cols., 2013;

Rigby, 2015), se utiliza $nueva_{u,i,t}$ como variable dependiente, la cual toma el valor 1 si la tecnología $i$ aparece en la ciudad $u$ en el período $t$. Los períodos son las ventanas de 4 años que agregan observaciones. La variable $complejidad_{i,t-1}$ mide el nivel de complejidad de la tecnología. Por su parte, la variable $transitividad_{i,t-1}$ mide la proporción de triángulos cerrados, entre los posibles, dentro del vecindario de la tecnología $i$ en la red de cercanía de conocimiento. Estas dos variables recogen características de la tecnología que varían a lo largo del tiempo, pero no entre ciudades. Controlar por estos factores resulta relevante para este trabajo, ya que los niveles de complejidad pueden afectar la probabilidad de desarrollar una tecnología y la transitividad[11] es una característica topológica de la red que está asociada a los indicadores de densidad que se proponen. Por su parte $X_{u,t-1}$ representa un vector de controles que varían entre ciudades y períodos entre los que se incluyen la cantidad de patentes, de inventores y tecnologías. Finalmente $\gamma_u$, $\delta_i$ y $\zeta_t$ son efectos fijos de ciudad, tecnología y tiempo respectivamente, y $\varepsilon_{u,i,t}$ es el término de error.

Para entender la asociación entre las características de la base de conocimientos de una ciudad, y la probabilidad de desarrollar una determinada tecnología en el futuro, resulta necesario considerar las variables independientes rezagadas. Esto a su vez atenúa el riesgo de que el modelo presente problemas de simultaneidad. Por otro lado, los efectos fijos contribuyen a mitigar posibles problemas de endogeneidad derivados de la omisión de variables relevantes. Además, este modelo permite testear las hipótesis considerando la clusterización de los errores. Dado que la variable dependiente es dicotómica se usa un Modelo Lineal Generalizado.

La hipótesis 1a presentará soporte en la evidencia si encontramos que $\beta_2$ resulta significativo y positivo, mientras la hipótesis 1b lo hará si $\beta_3$ resulta significativo y de signo negativo. Por otro lado, las hipótesis 2a y 2b presentarán soporte en la evidencia si $\beta_4$ y $\beta_5$ resultan significativos y de signo negativo.

Finalmente, para testear la hipótesis 3 se propone el siguiente modelo donde se interactúa el indicador de complejidad con las mediadas de *estabilidad* y *alternativas*:

$$\begin{aligned} nueva_{u,i,t} \quad = \quad & \beta_1 cercania_{u,i,t-1} + \beta_2 estabilidad_{u,i,t-1} + \beta_3 alternativas_{u,i,t-1} + \\ & \beta_4 cercania_{u,i,t-1} * estabilidad_{u,i,t-1} + \beta_5 cercania_{u,i,t-1} * alternativas_{u,i,t-1} + \\ & \beta_6 estabilidad_{u,i,t-1} * alternativas_{u,i,t-1} + \beta_7 complejidad_{i,t-1} + \beta_8 transitividad_{i,t-1} + \\ & \beta_9 estabilidad_{u,i,t-1} * complejidad_{i,t-1} + \beta_{10} alternativas_{u,i,t-1} * complejidad_{i,t-1} \\ & B_{11} X_{u,t-1} + \gamma_u + \delta_i + \zeta_t + \varepsilon_{u,i,t} \end{aligned} \tag{4.6}$$

Encontraremos respaldo a la hipótesis 3 si $\beta_{10}$ resulta ser significativo y positivo.

[11] La transitividad de un nodo (en este caso tecnología) es la proporción de triángulos posibles, en base a sus vínculos en la red de cercanía de conocimiento, que están cerrados.

## 4.4. Resultados

En esta sección se analizan los resultados del análisis econométrico de las hipótesis propuestas. En la tabla 4.3, el modelo 1 representa la especificación planteada en la ecuación 4.5 y el modelo 2 la de la ecuación 4.6[12].

En primer lugar se puede observar que el coeficiente asociado a la densidad de cercanía de la ciudad, con respecto de las distintas tecnologías *cercanía*, resulta significativo y de signo positivo, en línea con los resultados encontrados en trabajos anteriores (Boschma y cols., 2015; Kogler y cols., 2013; Rigby, 2015). Esto nos muestra evidencia de una asociación positiva entre la existencia de tecnologías cercanas a la objetivo y la probabilidad de que esta se desarrolle con ventajas comparativas en la ciudad.

En línea con la hipótesis 1a, el coeficiente asociado a la densidad de estabilidad resulta significativo y de signo positivo. Dado que esta variable también aparece interactuada con la cercanía de la ciudad a la tecnología objetivo, el coeficiente representa la estimación del efecto de la densidad de estabilidad sobre la probabilidad de que la ciudad desarrolle ventajas comparativas en una nueva tecnología de cercanía media[13]. Por lo tanto, en estas condiciones, las ciudades han tenido una mayor probabilidad de desarrollar una nueva tecnología cuando contaron con una mayor densidad de estabilidad.

Estas tecnologías presentes en la ciudad, que son cercanas a la nueva tecnología, son las que determinan la densidad de cercanía con ella. Por lo tanto, lo que nos permite observar la densidad de estabilidad es en qué medida la ciudad cuenta con los conocimientos requeridos para sostener el desarrollo de las tecnologías que a su vez sostendrán a la nueva. En base al marco teórico desarrollado en este trabajo podemos interpretar que la diversificación basada en tecnologías fuertemente enraizadas en el territorio, o sea con alta densidad de estabilidad, favorece la consolidación de la tecnología alcanzada. Por el contrario, cuando las tecnologías que se relacionan con la objetivo tienen un pobre arraigo en el territorio (baja densidad de estabilidad) se vuelve más difícil que se desarrollen ventajas comparativas en su producción.

Por otro lado, el coeficiente negativo y significativo asociado a la densidad de alternativas brinda respaldo a la hipótesis 1b. La interpretación de este coeficiente, dadas las interacciones que el modelo presenta, es análoga al anterior. Por lo tanto se lo puede ver como la asociación de esta variable con la probabilidad de aparición de una tecnología nueva, de cercanía media. Con lo cual la evidencia muestra que, en estas condiciones, una mayor densidad de alternativas se asocia a una menor probabilidad de desarrollar tecnologías.

Las tecnologías cercanas a la objetivo, que no están presentes en la ciudad conforman la densidad de alternativas. Siguiendo el argumento planteado en este trabajo, podemos interpretar este resultado como una consecuencia de que los actores presentes en la ciudad

[12] En el anexo de la sección C.1 se presentan otras especificaciones de estos modelos, las cuales muestran la robustez de los resultados.

[13] El modelo también considera la interacción entre las densidades de estabilidad y alternativas, pero esta no resulta significativa por eso no se incluye en el análisis.

dispongan de opciones, dentro del conjunto de tecnologías cercanas a la objetivo, para las que cuentan con mayores conocimientos asociados en promedio. Esto puede llevar a que los esfuerzos se dirijan hacia estas otras tecnologías, distintas de la tecnología objetivo, reduciendo la probabilidad de que esta se comience a producir en la ciudad.

| Variable dependiente: | nueva | |
|---|---|---|
| Modelo: | (1) | (2) |
| *Variables* | | |
| cercanía | 10.84*** (2.075) | 11.06*** (1.961) |
| estabilidad | 110.8*** (24.40) | 102.4*** (36.77) |
| alternativas | -11.60*** (2.430) | -23.65*** (5.010) |
| complejidad | -0.6096 (0.6854) | -2.055** (0.9812) |
| transitividad | -1.355 (1.217) | -1.045 (1.392) |
| # inventores | 0.1166 (0.1311) | 0.1108 (0.1840) |
| # patentes | -0.2012 (0.1464) | -0.1633 (0.2046) |
| # tecnologías | 0.1559 (0.2223) | -0.0279 (0.2398) |
| cercanía × estabilidad | -210.3*** (54.08) | -167.6*** (45.95) |
| cercanía × alternativas | -96.34*** (33.75) | -109.6*** (32.78) |
| estabilidad × alternativas | -5.896 (17.06) | 57.67*** (17.78) |
| estabilidad × complejidad | | -19.76 (25.60) |
| alternativas × complejidad | | 28.45*** (6.799) |
| *Efectos fijos* | | |
| ciudad | Sí | Sí |
| ventana | Sí | Sí |
| tecnología | Sí | Sí |
| *Estadísticas de ajuste* | | |
| Observaciones | 199,772 | 199,772 |
| Pseudo $R^2$ | 0.20218 | 0.20576 |
| BIC | 39,971.2 | 39,848.8 |

*Errores estándar clusterizados (ciudad & ventana & tecnología) en paréntesis*
*Significación: ***: 0.01, **: 0.05, *: 0.1*

Cuadro 4.3: Resultados de las estimaciones econométricas para los modelos de las ecuaciones 4.5 y 4.6. Para simplificar la lectura se omiten los sub índices pero, como se explicó en esta sección, todas las variables independientes se utilizan rezagadas. Las estimaciones se realizan usando un modelo lineal generalizado, de tipo logit. En la tabla C.1 del anexo C se presentan otras especificaciones realizadas como ejercicio de robustez.

Para analizar el contraste con la evidencia para las hipótesis 2a y 2b debemos interpretar los coeficientes asociados a las interacciones entre la densidad de cercanía de la ciudad, respecto a las nuevas tecnologías, con las densidades de estabilidad y alternativas. Para esto es importante tener en cuenta que el modelo utilizado transforma las variables, extrayendo su media, para contemplar los efectos fijos. Por lo tanto, los valores utilizados son desvíos de la media, lo cual implica que las observaciones en las que las variables estén por debajo

de la media tendrán valores negativos.

Como se puede ver en la tabla 4.3, tanto el coeficiente asociado a *cercanía* $\times$ *estabilidad*, como el asociado a la interacción *cercanía* $\times$ *alternativas*, son significativos y de signo negativo. En el primer caso esto implica que cuando la densidad de cercanía está por debajo de la media (*cercanía* $< 0$), el efecto de la densidad de estabilidad sobre la probabilidad de entrada es mayor que en el caso en que la densidad de cercanía está en la media (*cercanía* $= 0$) o por encima de ella (*cercanía* $> 0$). En el caso de la interacción con la densidad de alternativas lo que ocurre es que el efecto de esta densidad sigue siendo negativo, pero de menor magnitud que para una densidad de cercanía en la media o por encima de ella[14]. Por lo tanto, la interacción de la densidad de cercanía con las densidades de estabilidad y de alternativas, incrementa la probabilidad de que se desarrolle una tecnología para la cual se tiene una densidad de cercanía por debajo de la media. Este resultado respalda la hipótesis 2a, y nos permite afirmar que el análisis de las densidades de estabilidad y alternativas es relevante para estudiar la posibilidad de alcanzar tecnologías distantes a la base de conocimientos de la ciudad.

Por otro lado, cuando la densidad de cercanía de la ciudad respecto de la nueva tecnología es alta (*cercanía* $> 0$), la interacción *cercanía* $\times$ *estabilidad* reduce el efecto positivo de la densidad de estabilidad, así como la interacción *cercanía* $\times$ *alternativas* hace más potente el efecto negativo de la densidad de alternativas, con respecto a una densidad de cercanía en la media (*cercanía* $= 0$). Por lo tanto, al considerar estos distintos tipos de densidad, vemos que un exceso en la acumulación de cercanía alrededor de una tecnología disminuye la probabilidad de que esta se desarrolle, respaldando de esta manera la hipótesis 2b.

La inclusión de interacciones en el modelo hace que el efecto marginal de la densidad de estabilidad y la densidad de alternativas solo pueda ser medido al fijar el valor que toman las variables con las que interactúan. En la interpretación de los coeficientes para las hipótesis 1 y 2 se consideraron valores con respecto a la media de las variables. La figura 4.2 muestra la evolución del efecto marginal de la densidad de estabilidad y el de la densidad de alternativas para distintos valores de la densidad cercanía, en los valores observados del resto de las variables. En ella se puede apreciar que el efecto marginal de la densidad de estabilidad es positivo en casi la totalidad de los casos, y lo opuesto pasa con el efecto de la densidad de alternativas, como se expuso en las hipótesis 1a y 1b. Por otro lado, las lineas de tendencia sirven para ilustrar la evolución en medias móviles de los efectos, donde se observa que el efecto marginal medio de la densidad de estabilidad crece junto con la densidad de cercanía, para valores bajos de esta, pero comienza a decrecer a partir de un determinado punto. El comportamiento de la densidad de alternativas es opuesto, pero de una magnitud absoluta menor que el de la densidad de estabilidad.

[14] Como se mencionó en la sección 4.3, debido a que la variable dependiente es dicotómica, los coeficientes son estimados por medio de un modelo lineal generalizado. Por lo cual la magnitud de los coeficientes no se corresponde con los efectos marginales, de los cuales se puede consultar una estimación en la tabla C.1, del apéndice C.

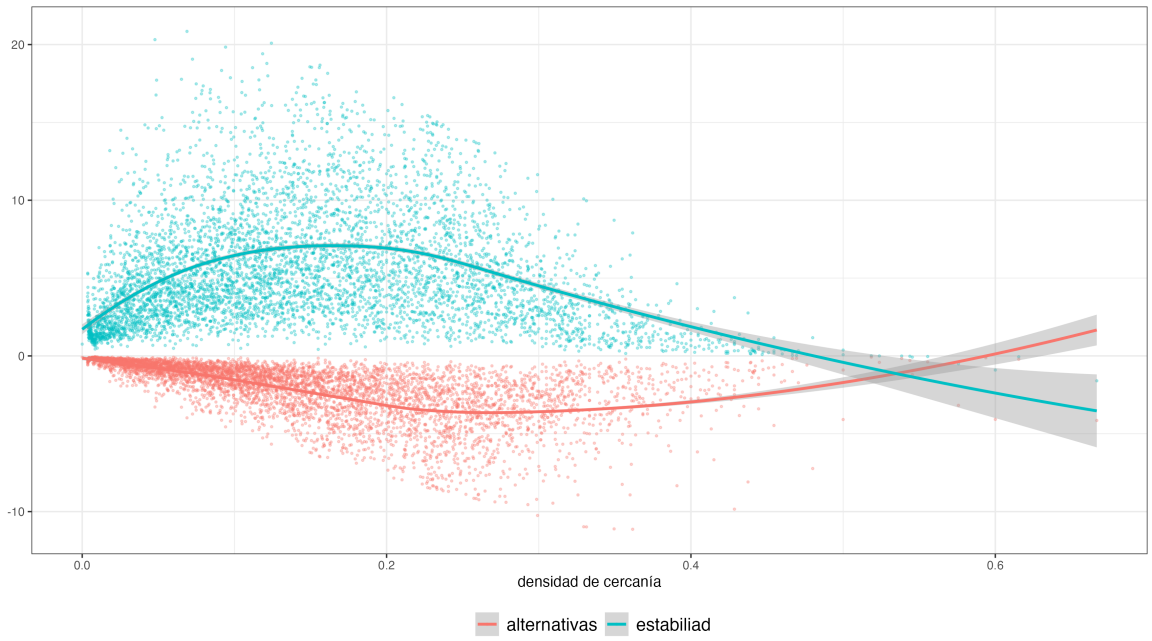



Figura 4.2: Efectos marginales de *estabilidad* y *alternativas*, en el modelo de la ecuación 4.5, medidos en los valores observados en los datos y ordenados por densidad de cercanía.

Para estudiar la hipótesis 3 debemos considerar el modelo 2 de la tabla 4.3. En este se observa que los resultados cualitativos se mantienen, pero el coeficiente asociado a la complejidad de la tecnología se vuelve significativo y de signo negativo. Esto implica que hay una asociación negativa entre la complejidad de la tecnología y la probabilidad de que esta se desarrolle con ventajas comparativas en la ciudad. Dado que este modelo interactúa la complejidad de la tecnología con las densidades de estabilidad y de alternativas de la ciudad respecto de ella, la interpretación del coeficiente asociado a $complejidad$ es que en una ciudad con niveles medios de ambas densidades, una mayor complejidad reduce la probabilidad de que la tecnología se produzca con ventajas comparativas. Este resultado es consistente con la literatura en este campo, y es especialmente relevante para Latinoamérica por su condición de región periférica en la producción global de conocimiento, lo que se asocia a una mayor dificultad para alcanzar tecnologías complejas.

La inclusión de la interacción entre la complejidad de la tecnología y las densidades de estabilidad y alternativas permite analizar cómo afectan estas a la probabilidad de alcanzar tecnologías más complejas. Lo que podemos ver es que el coeficiente asociado a $complejidad \times estabilidad$ no es significativo pero, en línea con la hipótesis 3, el correspondiente a $complejidad \times alternativas$ resulta significativo y positivo. Por lo tanto un mayor nivel de complejidad de la tecnología atenúa el efecto negativo observado para la densidad de alternativas. Esto respalda el argumento elaborado en torno a esta densidad ya que, en la medida que los actores cuenten con distintas alternativas dentro del conjunto de tecnologías cercanas a la objetivo, es esperable que dirijan sus recursos hacia las de mayor complejidad por la renta económica que se puede esperar de ellas.

La figura 4.3 muestra la evolución del efecto marginal de la densidad de estabilidad y la de alternativas, en los valores de las demás variables observados en los datos y ordenados por niveles de complejidad de la tecnología. En ella se puede apreciar cómo el efecto de la densidad de alternativas sigue siendo negativo, pero su magnitud absoluta decrece a medida que aumenta la complejidad. Por su parte, la dispersión en los efectos marginales observados para la densidad de estabilidad explica porqué la interacción $complejidad \times estabilidad$ no resulta significativa.

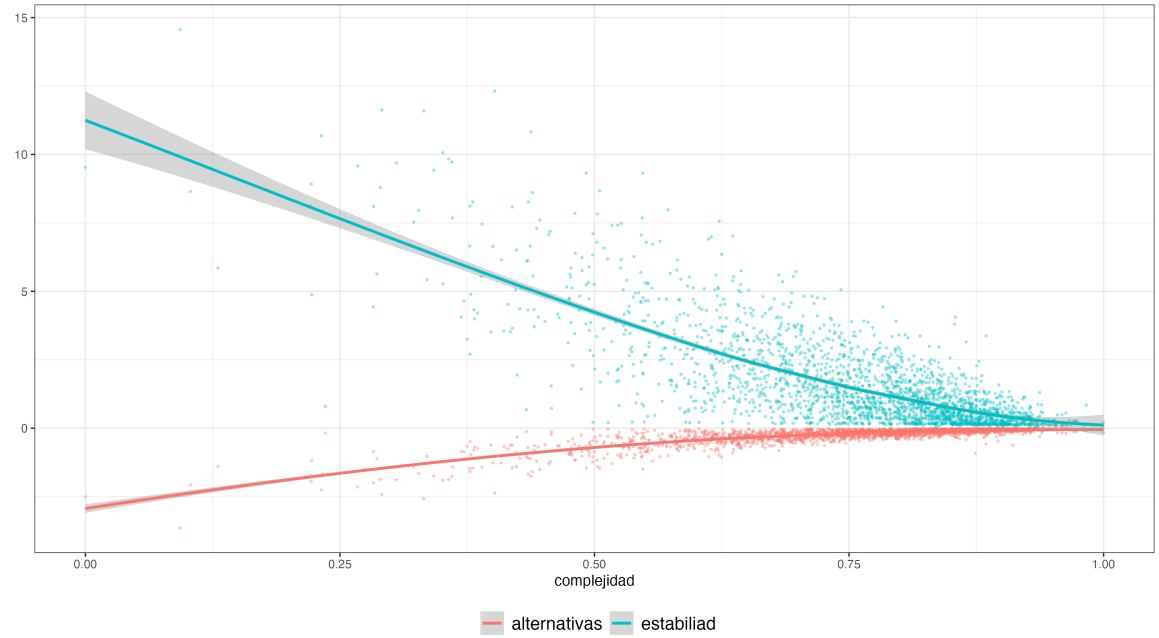



Figura 4.3: Efectos marginales de *estabilidad* y *alternativas*, en el modelo de la ecuación 4.6, medidos en los valores observados en los datos y ordenados por complejidad

Por último, es interesante observar que al incluir la interacción entre la complejidad de la tecnología y las densidades de estabilidad y alternativas, el coeficiente asociado a la interacción entre ellas se vuelve significativo. Si bien esto no afecta los resultados cualitativos del modelo uno, ya que el signo y la significación de los coeficientes analizados en este se mantienen, parece interesante interpretar brevemente este resultado a pesar de que no se vincule con ninguna de las hipótesis de este trabajo.

El coeficiente asociado a $estabilidad \times alternativas$ muestra, por un lado, que cuando la densidad de estabilidad está por debajo de la media ($estabilidad < 0$), su interacción con la densidad de alternativas se asocia con una menor probabilidad de aparición de la tecnología objetivo a medida que crece la densidad de alternativas. En base a lo desarrollado en este trabajo, esto se puede interpretar como que el desplazamiento de recursos por la existencia de alternativas es mayor cuando la cercanía con la tecnología focal es menos estable (baja densidad de estabilidad). Por el contrario, cuando la densidad de estabilidad está por encima de la media este desplazamiento es menor. Visto desde la otra perspectiva, cuando le densidad de alternativas está por debajo de la media ($alternativas < 0$), un crecimiento de la

estabilidad disminuye la probabilidad de aparición de la tecnología, atenuando la asociación positiva de la densidad de estabilidad. En el marco de este trabajo, esto puede reflejar que la ciudad ya cuenta con una elevada especialización en el conjunto de tecnologías cercanas a la focal, lo cual hace que incorporarla pueda aportar poco a las capacidades locales. Por otra parte, cuando la densidad de alternativas está por encima de la media, una mayor densidad de estabilidad aumenta la probabilidad de entrada de la tecnología, mitigando los efectos negativos de la densidad de alternativas analizados en el modelo uno.

## 4.5. Discusión y Conclusiones

La producción de conocimiento técnico es un factor central para los territorios a la hora de mantener y mejorar su posición en el concierto internacional, en materia de innovación. En particular, para las regiones periféricas en el sistema global de producción de conocimiento, diversificar su portafolio tecnológico es clave para su desarrollo ya que les permite acortar la brecha con las regiones más desarrolladas. Contar con una base de conocimientos diversificada es necesario para que sus sistemas de innovación se nutran de desarrollos locales, que apunten a la resolución de problemas locales y globales, pero también para que incrementen su capacidad de aprovechar los flujos globales de conocimiento (Cohen y Levinthal, 1989, 1990; Yoguel y Robert, 2010).

En este sentido las ciudades juegan un papel central como espacios de intercambio de ideas, dada la concentración de actores y servicios que interactúan en ellas, particularmente en las tecnologías más dinámicas (Balland y cols., 2020). Para los actores que integran el sistema de innovación de una ciudad, conocer los senderos de diversificación que se adapten mejor a la capacidades locales, buscando comenzar a desarrollar tecnologías dinámicas, es fundamental para superar situaciones de estancamiento en las que se puedan encontrar.

Este trabajo contribuye a la literatura analizando cómo la estabilidad de las tecnologías locales, así como las alternativas disponibles para el territorio, afectan el establecimiento de nuevas tecnologías según el grado de cercanía que tengan a la base de conocimientos locales. Para ello se estudia la estructura de cercanía de conocimiento entre tecnologías, utilizando el portafolio de tecnologías patentadas por los inventores de las ciudades, para poder identificar las capacidades locales. De esta manera, usando herramientas del análisis de redes sociales, se propone un conjunto de indicadores que recogen dimensiones que muestran ser relevantes en este tipo de estructuras de cercanía.

Los indicadores propuestos representan una contribución metodológica en este campo, ya que se relacionan de manera estrecha con otras mediadas utilizadas, pero amplían el nivel de análisis de las redes de cercanía. Esto permite explotar un mayor volumen de información contenido en estas redes, permitiendo entender de mejor manera las características de la base de conocimientos de los territorios estudiados. Los resultados empíricos respaldan su relevancia y el argumento de este trabajo.

En primer lugar se observa que la generación de nuevo conocimiento técnico, medido a través del desarrollo de ventajas comparativas en tecnologías patentadas, no solo requiere contar con conocimientos cercanos a las tecnologías que se quiere alcanzar, sino que es importante considerar la estabilidad de estos conocimientos dentro de la base de conocimientos del territorio. Una ciudad puede mostrar un buen desempeño en el desarrollo de ciertas tecnologías pero, si estas no se basan en el uso de la base de conocimientos locales, su capacidad para servir de sustento al desarrollo de nuevas tecnologías estará limitada. Las tecnologías que no se nutren de la base de conocimiento local tienen una mayor probabilidad de dejar el territorio, lo cual las hace menos estables y limita la capacidad de diversificar a partir de ellas.

Este trabajo nos dice que una tecnología puede parecer una buena opción de diversificación en base a las tecnologías que se producen en la ciudad. Pero si estas no se nutren de las capacidades locales, la probabilidad de establecer la nueva tecnología en el territorio será menor. Esto implica tener en cuenta una dimensión que la literatura previa no había considerado, la cual puede ser especialmente relevante en regiones con sistemas de innovación fragmentados o extremadamente dependientes de flujos de conocimiento externo para su desarrollo.

Por otro lado, el trabajo también permite tener en cuenta que las tecnologías objetivo son componentes de grupos de tecnologías cercanas entre ellas, en materia del conocimientos requeridos para desarrollarlas. Esto hace posible analizar el rol que tienen estas alternativas en los procesos de diversificación. En este sentido la evidencia nos muestra que estas alternativas podrían desviar recursos y disminuir así la probabilidad de que una tecnología se comience a producir en la ciudad.

Esta perspectiva no había sido abordada hasta el momento en esta literatura, y resulta relevante hacerlo. Si tomamos en cuenta la cercanía de la base de conocimientos de una ciudad hacia una tecnología, pero no consideramos su pertenencia a un conjunto de tecnologías que son cercanas, puede ocurrir que los recursos disponibles se dispersen y se limite la posibilidad de desarrollar la nueva tecnología. En particular, los resultados empíricos respaldan el argumento planteado en este trabajo, en el cual se propone que las tecnologías más complejas serán capaces de atraer más recursos entre las alternativas disponibles.

El análisis de la interacción de las medidas de densidad propuestas, brinda elementos especialmente relevantes en la discusión sobre estrategias de diversificación no relacionada. En este sentido, los resultados empíricos respaldan el argumento planteado sobre la capacidad de la densidad de estabilidad y de alternativas de compensar la falta de cercanía hacia las tecnologías objetivo. Este es un elemento central en el contexto de regiones rezagadas, ya que su base de conocimientos puede tender a limitar su posibilidad de alcanzar tecnologías complejas (Balland y cols., 2019). De esta manera, las densidades propuestas pueden contribuir al diseño de estrategias de diversificación hacia tecnologías que parezcan relativamente distantes. El análisis de estas interacciones también nos muestra que el exceso de cercanía

reduce la probabilidad de entrada de la tecnología en el territorio (Balland y cols., 2015; Boschma, 2005). Esto impone la necesidad de no limitarse en la medición de la diversificación de forma cuantitativa, sino que también se debe analizar la dimensión cualitativa de esta.

Desde el punto de vista académico estos resultados contribuyen a una literatura vigente y prolífica, donde se busca entender procesos de diversificación, insertos en sistemas de innovación complejos donde la dependencia del pasado y del territorio juegan un papel relevante (Boschma y Frenken, 2006; Boschma y Lambooy, 1999; Martin y Sunley, 2007). En este sentido, las conceptos propuestos tienen una importante capacidad de diálogo con esta literatura, a la vez que aportan a su aplicación en el contexto de sistemas de innovación menos desarrollados. Dado el amplio uso de esta literatura en el diseño e implementación de políticas públicas, esta contribución también puede servir para mejorar su diseño y los resultados obtenidos por ellas.

El argumento elaborado en este artículo deja abiertas algunas líneas de investigación para profundizar en el análisis. Entre ellas existen dos extensiones que podrían ser especialmente pertinentes. En primer lugar, en este trabajo no se tiene en cuenta el rol que pueden jugar los flujos de conocimiento externo, así como la colaboración entre ciudades. Esta perspectiva es central en un mundo inserto en cadenas globales que fragmentan la producción de conocimiento, pero que a su vez deben aprovechar las ventajas que ofrece la cercanía geográfica en muchas actividades. Por otro lado, el trabajo desarrollado en este artículo se limita al análisis de un tipo de conocimiento en particular, pero parece pertinente extenderlo a un amplio abanico de actividades, como la producción de conocimientos científico o la diversificación industrial y productiva de los territorios.

# Capítulo 5

# Conclusiones

El objetivo general de este trabajo consistió en contribuir a entender de qué manera el acceso a flujos de conocimientos globales y regionales, así como las características de las bases de conocimientos locales, han afectado el desempeño innovador de las ciudades de Latinoamérica en los últimos años.

Desde una perspectiva sistémica, las aglomeraciones urbanas son un objeto de estudio particularmente relevante. En ellas es posible observar los efectos de contar con altos niveles de interacción, por parte de distinto tipo de agentes. Estas interacciones multinivel sirven de base para el surgimiento de fenómenos emergentes, propios de los sistemas complejos, que generan nuevas variedades en distintos ámbitos, particularmente en el desarrollo de conocimiento de frontera. A su vez, estas características de las ciudades también hacen que jueguen un papel muy importante como puntos de conexión en redes de colaboración a nivel internacional, a través de las cuales fluyen conocimientos diversos que potencialmente pueden ser aprovechados por las ciudades para nutrir sus sistemas de innovación locales.

De esta forma, no solo las características internas de las ciudades las vuelven unidades de análisis relevantes en temas vinculados a la innovación, sino que esas características se ven reforzadas por su acceso a flujos globales de conocimiento. El análisis de redes nos brinda herramientas metodológicas que permiten entender de qué manera estos flujos impulsan o dificultan la innovación, así como también nos permiten analizar ciertas características de las estructura de los sistemas de innovación de las ciudades.

Con este objetivo en mente, en los capítulos centrales de esta tesis, se abordaron distintos aspectos vinculados con el acceso a flujos globales de conocimiento por medio de la colaboración para patentar, así como también las características que favorecen o dificultan la diversificación de las capacidades de la región en la producción de conocimiento técnico. Para cerrar la tesis, este capítulo busca sintetizar e integrar las conclusiones principales de los capítulos anteriores, mostrando como estos se conectan para abordar el objetivo general del trabajo. Finalmente se identifican futuras líneas de investigación que permitan continuar contribuyendo en la temática, abordando aspectos no tratados en este trabajo o superando limitaciones de este análisis.

## 5.1. Vínculos en las redes de colaboración entre ciudades

A lo largo de esta tesis ha sido posible observar algunas de las dimensiones que afectan el desempeño innovador de las ciudades. Podemos decir, en primer lugar, que los vínculos de colaboración que mantienen los actores localizados en una ciudad, son relevantes para entender el desempeño de esta en su conjunto. Es por ello que, estudiar la ubicación de las ciudades en la red de colaboración puede contribuir a la planificación estratégica a nivel de firmas, o al diseño de políticas públicas a nivel de gobiernos locales, nacionales o instituciones supra nacionales, que orienten la conformación de vínculos que resulten relevantes para el logro de los objetivos trazados por estas estrategias.

Una de las primeras dimensiones relevantes que podemos mencionar es el nivel de centralidad de las ciudades en las redes de colaboración. En general, como se estudió en el capítulo 2, el nivel relativo de vínculos de colaboración de una ciudad, con respecto al resto de la región, tiene una asociación positiva con su nivel de patentamiento. En base al marco conceptual utilizado en esta tesis, podemos pensar que los vínculos con el exterior brindan acceso a conocimientos que pueden no estar disponibles en la ciudad, lo cual potencia las capacidades de esta y genera mayores oportunidades de innovación a los agentes locales. Por supuesto, los vínculos globales no solo sirven para acceder a conocimiento que no esté presente en la ciudad, sino que también permite identificar problemas a resolver, aportando conocimiento local para ello. Ahora bien, resulta relevante tener en cuenta con qué regiones del mundo se establecen los vínculos, ya que la evidencia aquí reportada nos muestra que al descomponer los vínculos de las ciudades por regiones del mundo, en algunos casos observamos una asociación positiva y en otros negativa.

Por otro lado, una mayor cantidad de vínculos de colaboración no implican necesariamente una mejora en la complejidad de la base de conocimientos de la ciudad, definida en relación con la diversidad de tecnologías producidas y la ubicuidad de estas. De hecho, como se observó en el capítulo 3, la centralidad de grado se asocia negativamente con los niveles de complejidad de la ciudad. Este resultado es consistente con otros de los hallazgos del trabajo, los cuales se explican por los costos que insume el mantenimiento de vínculos. Este punto es relevante para profundizar el análisis más allá de los niveles de innovación, moviendo la mirada a la capacidad de las ciudades de avanzar en la complejización de su base de conocimientos.

Por lo tanto vemos que utilizando incluso una medida sencilla para analizar la red de colaboración, como lo es la centralidad de grado (o el nivel relativo de vínculos), podemos avanzar en el conocimiento sobre características relevantes de los sistemas de innovación de la región. En base esto podemos decir que los vínculos de colaboración pueden favorecer los niveles de patentamiento de las ciudades, pero que esto va a depender del lugar del mundo con el que se establezcan. Pero además, niveles altos de conexión puede asociarse con niveles bajos de complejidad.

## 5.2. El rol de la intermediación

En el análisis de redes, la centralidad de grado es solo una de las medidas que permiten aproximarnos a la centralidad de un nodo. Otra forma de entender la centralidad es por medio del estudio de posiciones de intermediación. Estas nos permiten ver no solo el lugar que ocupa un nodo en la red, sino que nos dan la posibilidad de entender estas posiciones en función de su vínculo con otros nodos. En términos de este trabajo esto implica que ciertas ciudades de la región pueden jugar un rol de intermediación entre otras ciudades pobremente conectadas entre ellas, o entre la región y el resto del mundo.

Los resultados de este trabajo muestran que las ciudades que actúan como intermediarias entre los centros globales de producción de conocimiento, y el resto de las ciudades de la región, favorecen a la región en su conjunto al facilitar el acceso a flujos globales de conocimiento. Pero para ello deben enfrentar costos que pueden afectar negativamente su nivel de patentamiento, pudiendo desestimular así el desempeño de este rol. Por ejemplo, en el capítulo 2 encontramos que ocupar una posición relativa de mayor intermediación, afecta negativamente el nivel de patentamiento de las ciudades, ya sea que la ciudad actúe intermediando entre ciudades de la región, o entre la región y el resto del mundo, sin importar cuál sea el grado de conexión entre esas ciudades..

Pero por otro lado, en el capítulo 3, observamos que la intermediación entre ciudades desconectadas (ocupar agujeros estructurales) se asocia positivamente con el nivel de complejidad de la ciudad que oficia como intermediaria. Pero en este capítulo vamos más allá del efecto de la posición de la ciudad en la red, sino que además analizamos la relación entre la complejidad de la base de conocimientos de la ciudad y sus vínculos con ciudades intermediarias. Lo que encontramos es que ocupar agujeros estructurales en la red de colaboración favorece el nivel de complejidad de la ciudad, pero también favorece a las ciudades que se conectan con ella. Además, la evidencia nos muestra que intermediar entre ciudades de la región y otras que estén fuera de ellas no tiene un efecto claro en los niveles de complejidad de la ciudad que oficia de intermediaria, pero si tiene un efecto positivo en las que se conectan con esta. Por lo tanto, ambos roles de intermediación juegan un papel importante en los niveles de complejidad de las ciudades de la región, incluso cuando no lo hagan directamente sobre la ciudad que ocupa esa posición.

Esto nos permite afirmar que las ciudades que ocupan posiciones de intermediación juegan un papel relevante en la región, el cual se puede entender por su capacidad de facilitar el acceso a flujos de conocimiento globales, a pesar de que ocupar algunos de estos roles pueda tener un efecto negativo en sus niveles de patentamiento (como vimos en el capítulo 2). Este es un elemento relevante para pensar, desde una perspectiva latinoamericana, las oportunidades de la región en materia de innovación. Por un lado, la región en su conjunto tiene incentivos para que existan ciudades que sirvan de puente para llegar a los centros globales de producción de conocimiento, pero es necesario pensar de qué manera se estimula

que algunas ciudades jueguen este rol.

## 5.3. La dimensión interna de la ciudad

Ahora bien, la capacidad de las ciudades de aprovechar los flujos globales de conocimiento, diverso y no redundante, depende de las características de su sistema de innovación interno. Para considerar esta dimensión, más allá del uso de variables de control en los modelos del capítulo 2, el capítulo 3 avanza en el análisis de la interacción entre el sistema local y el acceso a flujos globales de conocimiento, mientras el capítulo 4 profundiza en las características internas y las posibilidades de diversificación de la base de conocimientos de las ciudades de la región.

En primer lugar, al tener en cuenta la inserción de la ciudad en redes de colaboración globales, los resultados del capítulo 3 nos muestran que las características de las redes de colaboración internas a la ciudad, por si solas, no resultan relevantes para explicar el nivel de complejidad de la base de conocimientos de la ciudad. En dicho capítulo se operacionalizan distintos conceptos relevantes en los sistemas de innovación como la cohesión, conectividad y centralización de las redes de colaboración internas. Sin embargo, estas características resultan relevantes solo cuando las analizamos en interacción con los canales de acceso a flujos globales de conocimiento.

En este sentido lo que vemos es que a mayor cohesión de la red interna de colaboración de la ciudad, mayor es su capacidad de aprovechar sus vínculos con ciudades que actúan como intermediarias entre la región y el resto del mundo (gatekeepers), reforzando el efecto de la externalidad positiva generada por las ciudades intermediarias. En línea con esto resulta interesante remarcar que esta interacción no se muestra significativa cuando la conexión es hacia ciudades que ocupan agujeros estructurales. Dichas posiciones de intermediación no dependen del vínculo entre la región y el resto del mundo, mientras que las de getekeeper sí lo hacen. Por lo tanto, estos resultados refuerzan la idea de la importancia de acceso a los polos globales de innovación que se encuentran fuera de la región.

Por otro lado, la centralización de las redes internas de las ciudades parece atenuar la capacidad de la ciudad de aprovechar el vínculo con ciudades intermediarias, de los dos tipos considerados. Esto es interesante ya que la centralización puede contribuir a que la información circule rápidamente en el sistema, pero también puede generar un cierto grado de bloqueo en torno a los actores centrales, favoreciendo estructuras de red eficientes pero poco diversas, limitando la evolución de la complejidad de la base de conocimientos de la ciudad.

Las características internas de los sistemas de innovación de las ciudades también pueden ser analizadas mediante el estudio de las capacidades presentes en ellas, así como la forma en que estas capacidades se diversifican mediante su recombinación. A ello se avoca el capítulo 4, donde el análisis de redes es utilizado para estudiar la cercanía entre tecnolo-

gías. El análisis realizado en dicho capítulo encuentra que las capacidades que conforman la base de conocimientos de las ciudades, operacionalizadas por medio de las tecnologías que se producen en ella, nos permiten saber qué tecnologías tienen una mayor probabilidad de ser desarrolladas en la ciudad. Este hallazgo se basa en el análisis de la cercanía entre tecnologías a nivel mundial y está en línea con lo que se ha observado en muchas regiones del mundo, pero escasamente se ha estudiado a nivel latinoamericano.

En esta línea, la tesis contribuye proponiendo magnitudes complementarias a la cercanía, que permiten capturar otras características de la base de conocimientos de las ciudades. Estas dimensiones muestran ser relevantes para entender los factores que afectan el desarrollo de una nueva tecnología en la ciudad, pero además pueden contribuir a la identificación de senderos de diversificación que permitan disminuir el riesgo inherente a estos procesos. La primera de estas medidas busca cuantificar el nivel de estabilidad de las tecnologías presentes en las ciudades y entender el rol que esto juega en la entrada de nuevas tecnologías. La estabilidad es operacionalizada por medio del análisis de la cercanía de cada tecnología presente en la ciudad, con respecto al resto de las que están presentes. Los resultados muestran que la mayor estabilidad de las tecnologías que componen la base de conocimientos de la ciudad, se asocia con una mayor probabilidad de que se desarrollen nuevas tecnologías, cercanas a la base de conocimientos de la ciudad. Pero además, observamos que considerar esta dimensión nos puede permitir encontrar senderos de diversificación hacia tecnologías relativamente lejanas a la base de conocimientos.

Por otra parte, también se analiza el efecto que las alternativas pueden tener sobre la probabilidad de desarrollar una tecnología. Para ello se tienen en cuenta las tecnologías cercanas a la objetivo, que no están presentes en la ciudad. Los resultados nos muestran, en línea con lo esperado, que estas alternativas disminuyen la probabilidad de que la tecnología aparezca en la ciudad. Esto puede indicar que, ante la presencia de alternativas cercanas a la tecnología objetivo, los recursos disponibles en la ciudad se dispersan hacia estas. Esta interpretación se refuerza al observar que este efecto se ve atenuado a mayor complejidad de la tecnologías objetivo. Con lo cual, el análisis de las alternativas resulta relevante, no solo para comprender de qué manera podemos reducir el riesgo de fracaso en los procesos de diversificación, sino también para intentar alcanzar tecnologías más complejas.

## 5.4. Futuras líneas de investigación

Los resultados obtenidos por esta investigación nos ayudan a entender de qué manera la participación de las ciudades de Latinoamérica en flujos globales de conocimiento, así como las características de su base de conocimiento local, pueden contribuir al desarrollo innovador de la región. Pero los trabajos que integran esta tesis también revelan un conjunto de preguntas que puede resultar pertinente abordar, ya sea por las limitaciones del alcance de esta investigación, como por los propios resultados alcanzados.

En primer lugar, de los trabajos que integran esta tesis surge con claridad que las redes de colaboración son un factor relevante en el desarrollo innovador de la región, pero el aporte de estos vínculos varía considerablemente según la región del mundo con la que se colabora. Por lo tanto, futuras investigaciones podrían estudiar en mayor detalle cuál es el efecto de colaborar con distintas regiones del mundo, así como comprender qué características de las estas regiones son las que determinan estas diferencias. Avanzar en este sentido puede contribuir no solo para entender los problemas que enfrente Latinoamérica, sino que podría servir de guía para otras regiones en desarrollo.

Por otro lado, si bien se discutió de qué manera algunas características de las redes de colaboración internas pueden afectar la capacidad de la ciudad de utilizar los flujos globales de conocimiento, en este trabajo no se ha profundizado en este aspecto. Nuestros resultados muestran que las características internas de las ciudades pueden facilitar o limitar su capacidad de aprovechar los vínculos de colaboración, pero resta entender qué estructuras internas son las más apropiadas y si esto depende de factores como el tipo de tecnología, la duración del vínculo, factores institucionales u otro elemento que pueda caracterizar a los sistemas locales de innovación.

En línea con lo anterior, los aportes realizados en el estudio de los procesos de diversificación de la región, a partir de las características de la base de conocimientos locales, se podrían integrar con los efectos de los flujos de conocimiento globales. En este trabajo no se consideró el acceso a estos flujos de conocimiento en el estudio de los procesos de diversificación, pero resulta claro que para regiones periféricas puede ser clave buscar la complementariedad con otras regiones, de modo de compensar las capacidades que puedan estar ausentes a nivel local, en la búsqueda de fortalecer sus procesos de diversificación.

Ya sea a nivel del análisis de los flujos globales de conocimiento, a partir del análisis de la base de conocimientos locales, o intengrando ambos enfoques, futuras líneas de investigación podrían avanzar en entender las oportunidades de la región en determinadas áreas de conocimiento. En particular, sería interesante aplicar el análisis realizado en este trabajo, para comprender las posibles ventanas de oportunidad que se le presentan a la región a partir del desarrollo de tecnologías verdes. Las tecnologías verdes son aquellas que tienen el potencial de contribuir a la mitigación y/o adaptación al cambio climático, por lo cual se las considera clave en lo que se conoce como la “transición verde”. Algo similar podríamos decir acerca del papel que la región puede jugar en el desarrollo de tecnologías digitales, las cuales son el motor de la llamada “transición digital”. En ambos casos se trata de campos enteros del conocimiento, que son vistos como elementos claves en la trayectoria tecnológica futura, he incluso como los elementos de un cambio de paradigma. Este contexto es especialmente interesante para regiones periféricas, ya que se pueden abrir ventanas de oportunidad para acortar la brecha con regiones centrales en la producción global de conocimiento.

Como se mencionó a lo largo del trabajo, una de las limitaciones de esta investigación radica en el uso de datos de patentes, ya que esto restringe su alcance al conjunto de conoci-

mientos de frontera que sean patentables. Sin embargo, los resultados de este trabajo podrían dialogar con futuras investigaciones que aborden, por ejemplo, la producción de conocimiento científico. Esto es factible gracias a la creciente disponibilidad de datos de publicaciones académicas, las cuales permiten abordar empíricamente preguntas similares a las planteadas en este trabajo. La relación entre el conocimiento técnico y el científico, permiten pensar incluso en que se integren estas dos dimensiones en el análisis. Esto permitiría tener una mejor perspectiva de las características de los flujos conocimientos en los que participan actores de la región, contribuyendo a la comprensión del funcionamiento y las oportunidades del sistema de innovación regional.

# A

# Apéndice del capítulo 2

## A.1. Análisis de multicolinealidad

| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Número de patentes | 1 | | | |
| 2 | Número de propietarios | 0.95 | 1 | | |
| 3 | Número de inventores | 0.97 | 0.91 | 1 | |
| 4 | Número de campos tecnológicos | 0.84 | 0.86 | 0.81 | 1 |

Cuadro A.1: Análisis de correlación.

| | Modelo 3 | Modelo 6 | Modelo 10 |
|---|---|---|---|
| *Efectos entre ciudades* | | | |
| Número de patentes | 113.868 | 118.250 | 36.180 |
| Número de propietarios | 27.5662 | 33.622 | 25.807 |
| Número de inventores | 25.704 | 25.356 | 15.071 |
| Número de campos tecnológicos | 12.963 | 12.753 | 6.957 |
| | | | |
| *Efectos entre ciudades* | | | |
| Número de patentes | 17.087 | 15.629 | 16.640 |
| Número de propietarios | 21.894 | 22.532 | 22.575 |
| Número de inventores | 17.200 | 15.996 | 19.444 |
| Número de campos tecnológicos | 1.758 | 1.807 | 2.203 |

Cuadro A.2: Resultados del análisis del factor de inflación de la varianza (FIV) para modelos seleccionados.

Las altas correlaciones presentadas en el cuadro A.1 indican que podemos tener problemas de multicolinealidad, mientras que los resultados del cuadro A.2 revelan que estas correlaciones podrían afectar a los regresores de nuestros modelos. El análisis FIV se ha llevado a cabo para las especificaciones más completas de los modelos presentados en nuestro análisis econométrico (es decir, los modelos 3, 6 y 10 de las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 respectivamente).

## A.2. Análisis factorial

A continuación se presentan los resultados de los test de MSA y Bartlett para las variables de control consideradas.

| Número de patentes | Número de propietarios | Número de inventores | Número de campos tecnológicos |
|---|---|---|---|
| 0.72 | 0.82 | 0.79 | 0.93 |

Cuadro A.3: MSA para cada variable. En el análisis de la adecuación factorial Kaiser-Meyer-Olkin el MSA general es de 0.8

| Bartlett's K-squared | df | p-value |
|---|---|---|
| 528.8 | 3 | $< 2.2e\text{-}16$ |

Cuadro A.4: Test de Bartlett de homogeneidad de varianzas

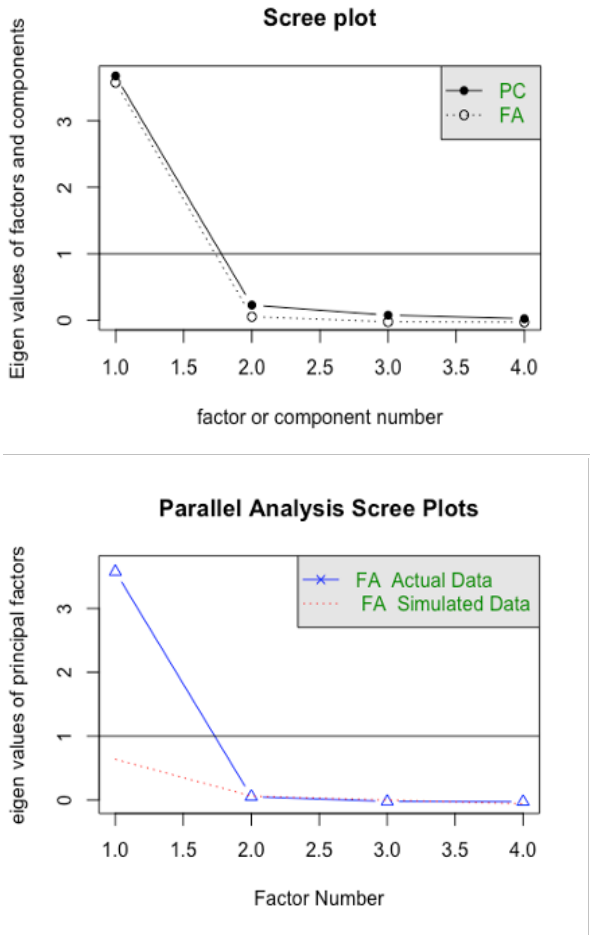



Figura A.1: Análisis del número necesario de factores

Tanto los resultados del MSA como los de la prueba de Bartlett indican que la realización de un análisis factorial con nuestros datos es perfectamente apropiada. En cuanto al número

más adecuado de factores, tanto el gráfico Scree Plots como el Parallel Analysis Scree Plots sugieren la utilización de un único factor.

## A.3. Ciudades de Latinoamérica

| Ciudad | País | Número de patentes (2006-2017) |
|---|---|---|
| São Paulo | Brazil | 596 |
| Mexico City | Mexico | 322 |
| Rio de Janeiro | Brazil | 270 |
| Santiago | Chile | 235 |
| São José dos Campos | Brazil | 167 |
| Buenos Aires | Argentina | 152 |
| Monterrey | Mexico | 94 |
| Cadereyta Jiménez | Mexico | 85 |
| La Habana | Cuba | 81 |
| Bogotá | Colombia | 55 |
| Hermosillo | Mexico | 50 |
| Jundiaí | Brazil | 47 |
| Porto Alegre | Brazil | 44 |
| Campinas | Brazil | 41 |
| Camaçari | Brazil | 28 |
| Belo Horizonte | Brazil | 27 |
| Montevideo | Uruguay | 25 |
| Brasilia | Brazil | 21 |
| Medellín | Colombia | 21 |
| Corinto | Brazil | 18 |
| Ciudad Apodaca | Mexico | 16 |
| Florianópolis | Brazil | 14 |
| Heroica Veracruz | Mexico | 14 |
| Concepción | Chile | 12 |
| Santa Fe | Argentina | 12 |
| San Nicolás de los Garza | Mexico | 11 |
| Rosario | Argentina | 10 |
| Valparaíso | Chile | 10 |
| Araraquara | Brazil | 5 |
| Juiz de Fora | Brazil | 5 |
| Valparaíso de Goiás | Brazil | 4 |

Cuadro A.5: Ciudades de Latinoamérica incluidas en las redes.

## A.4. Descriptivas

| | | Media | Desvío | Min. | Max. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Número de patentes | 26.63 | 41.38 | 1 | 219 | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | Factor | 0.05 | 1.08 | -0.62 | 4.64 | 0.95 | 1 | | | | | | | | |
| 3 | Centralidad de grado | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.17 | 0.79 | 0.87 | 1 | | | | | | | |
| 4 | Vínculos intra-regionales | 2.50 | 2.83 | 0 | 15 | 0.76 | 0.82 | 0.79 | 1 | | | | | | |
| 5 | Vínculos extra-regionales | 5.19 | 8.46 | 0 | 50 | 0.65 | 0.77 | 0.95 | 0.62 | 1 | | | | | |
| 6 | Vínculos con Europa | 1.77 | 3.02 | 0 | 14 | 0.32 | 0.46 | 0.57 | 0.37 | 0.65 | 1 | | | | |
| 7 | Vínculos con Norteamérica | 3.06 | 6.09 | 0 | 32 | 0.64 | 0.72 | 0.91 | 0.59 | 0.93 | 0.34 | 1 | | | |
| 8 | Vínculos con Asia Oriental | 0.16 | 0.91 | 0 | 6 | 0.47 | 0.58 | 0.66 | 0.38 | 0.78 | 0.41 | 0.73 | 1 | | |
| 9 | Coordinador | 4.23 | 14.25 | -0.65 | 96.57 | 0.80 | 0.84 | 0.72 | 0.88 | 0.53 | 0.35 | 0.48 | 0.31 | 1 | |
| 10 | Gatekeeper | 3.81 | 13.08 | -0.88 | 84.28 | 0.74 | 0.87 | 0.92 | 0.75 | 0.91 | 0.56 | 0.84 | 0.81 | 0.73 | 1 |

Cuadro A.6: Estadísticas descriptivas y análisis de correlación de las variables consideradas en los modelos econométricos.

# B

# Apéndice del capítulo 3

## B.1. Estadísticas descriptivas de las redes de ciudades

| Ventana | # Patentes | # Inventores | # Propietarios | % Firmas Propietarias | # Ciudades | % Ciudades de Latino América |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002_2005 | 1658 | 3827 | 905 | 95.58 | 1008 | 10.91 |
| 2006_2009 | 2242 | 5819 | 1144 | 95.28 | 1123 | 12.73 |
| 2010_2013 | 3042 | 7949 | 1414 | 96.18 | 1274 | 14.44 |
| 2014_2017 | 3063 | 7199 | 1151 | 96.44 | 1028 | 12.55 |
| Total | 10005 | 20559 | 3353 | 95.14 | 1896 | 14.08 |

Cuadro B.1: Dimensiones relevantes de las ciudades consideradas, por ventanas temporales.

## B.2. Evolución de la estructura de la red

| Ventana | Ciudades (nodos) | % Ciudades de Latino América | Grado medio | Desvío de grado | Componentes | Transitividad | Asortatividad | Densidad de vínculo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2002_2005 | 178 | 19.1 | 4.02 | 5.18 | 8 | 0.18 | 0.05 | 0.02 |
| 2006_2009 | 254 | 24.41 | 4.91 | 5.74 | 11 | 0.23 | 0.2 | 0.02 |
| 2010_2013 | 348 | 20.4 | 5.63 | 7.96 | 6 | 0.15 | 0.24 | 0.02 |
| 2014_2017 | 284 | 17.96 | 5.37 | 6.97 | 9 | 0.17 | 0.1 | 0.02 |

Cuadro B.2: Estadísticos seleccionados de la red de ciudades, para cada ventana. El grado medio es el promedio de vínculos de cada ciudad, y el desvío de grado es el desvíos estándar de dicha distribución. La variable Componentes cuenta la cantidad de grupos de ciudades desconectadas del resto. La transitividad de la red mide la proporción de triángulos formados, entre los posibles. La asortatividad es una medida de homofilia/heterofilia de la red y, en este caso, se mide mide entre ciudades de Latino América y no Latino América. La densidad de vínculo la proporción de vínculos creados, entre los posibles.

## B.3. Ciudades consideradas en los modelos econométricos

| Ciudad | País | 2002_2005 | 2006_2009 | 2010_2013 | 2014_2017 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Buenos Aires. | Ar | 81.25 | 83.82 | 76.32 | 88.1 | 81.62 |
| % patentes de Argentina | - | 81.25 | 83.82 | 76.32 | 88.1 | 81.62 |
| São Paulo | Br | 42.55 | 45.84 | 42.03 | 37.84 | 42.25 |
| Rio de Janeiro | Br | 24.22 | 20.69 | 20.92 | 14.79 | 20.06 |
| Campinas | Br | 2.48 | 1.83 | 2.5 | 4.76 | 2.82 |
| Belo Horizonte | Br | 1.24 | 2.84 | 1.34 | 1.5 | 1.79 |
| Camaçari | Br | 0.62 | 1.42 | 1.73 | 3.01 | 1.73 |
| Brasilia | Br | 1.24 | 1.83 | 1.73 | 0.75 | 1.44 |
| Valparaíso De Goiás | Br | 2.8 | 0.41 | 0.19 | 0.25 | 0.75 |
| Juiz De Fora | Br | 0.62 | 0.41 | 0.38 | 0.25 | 0.4 |
| % patentes de Brasil | - | 75.77 | 75.27 | 70.82 | 63.15 | 71.24 |
| Santiago | Cl | 89.19 | 85.88 | 84.25 | 87.3 | 85.9 |
| Valparaíso | Cl | 2.7 | 3.53 | 4.72 | 1.59 | 3.53 |
| % patentes de Chile | - | 91.89 | 89.41 | 88.97 | 88.89 | 89.43 |
| Bogota | Co | 53.33 | 48.28 | 39.22 | 53.85 | 47.01 |
| Medellín | Co | 20 | 10.34 | 19.61 | 20.51 | 17.91 |
| % patentes de Colombia | - | 73.33 | 58.62 | 58.83 | 74.36 | 64.92 |
| La Havana | Cu | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| % patentes de Cuba | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Mexico City | Mx | 52.17 | 48.11 | 48.8 | 54.41 | 50.66 |
| Hermosillo | Mx | 3.48 | 5.95 | 7.2 | 10.29 | 7.16 |
| Veracruz | Mx | 1.74 | 2.16 | 2 | 2.45 | 2.12 |
| % patentes de Mexico | - | 57.39 | 56.22 | 58 | 67.15 | 59.94 |
| Montevideo; Uy | Uy | 50 | 100 | 100 | 100 | 93.1 |
| % patentes de Uruguay | - | 50 | 100 | 100 | 100 | 93.1 |

Cuadro B.3: Ciudades por país y ventana temporal. En la tabla se indica el porcentaje de patentes de cada país que es considerado en cada ventana al tener en cuenta solo las de las ciudades seleccionadas.

# C

# Apéndice del capítulo 4

## C.1. Efectos marginales y ejercicios de robustez

| Variable dependiente: | nueva | |
|---|---|---|
| Modelo: | (1) | (2) |
| *Variables* | | |
| cercanía | 0.043 (0.060) | 0.037 (0.066) |
| estabilidad | 1.814*** (0.679) | 1.547** (0.742) |
| alternativas | -0.360*** (0.130) | -0.236** (0.108) |
| complejidad | -0.012 (0.011) | -0.007 (0.010) |
| transitividad | -0.026 (0.020) | -0.020 (0.022) |
| # inventores | 0.002 (0.003) | 0.002 (0.004) |
| # patentes | -0.004 (0.003) | -0.003 (0.003) |
| # tecnologías | 0.003 (0.004) | -0.001 (0.005) |
| *Efectos fijos* | | |
| ciudad | Sí | Sí |
| ventana | Sí | Sí |
| tecnología | Sí | Sí |
| *Estadísticas de ajuste* | | |
| Observaciones | 199,772 | 199,772 |
| Pseudo $R^2$ | 0.20218 | 0.20576 |
| BIC | 39,971.2 | 39,848.8 |

*Errores estándar clusterizados (ciudad & ventana & tecnología) en paréntesis*
*Significación: ***: 0.01, **: 0.05, *: 0.1*

Cuadro C.1: Estimación de los efectos marginales, por métodos numéricos, para los modelos de las ecuaciones 4.5 y 4.6. Para cada variable el coeficiente representa el efecto marginal promedio, considerando a las restantes variables en sus valores observados. Para simplificar la lectura se omiten los sub índices pero todas las variables independientes se utilizan rezagadas.

| Variable dependiente: | nueva | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo: | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| *Variables* | | | | | |
| cercanía | 5.385*** | | | 10.84*** | 11.06*** |
| | (1.082) | | | (2.075) | (1.961) |
| estabilidad | | 11.07* | | 110.8*** | 102.4*** |
| | | (6.721) | | (24.40) | (36.77) |
| alternativas | | | -8.793*** | -11.60*** | -23.65*** |
| | | | (3.244) | (2.430) | (5.010) |
| complejidad | -0.4375 | -0.4125 | -0.4754 | -0.6096 | -2.055** |
| | (0.6616) | (0.6448) | (0.6407) | (0.6854) | (0.9812) |
| transitividad | -0.8964 | -0.5841 | -0.8116 | -1.355 | -1.045 |
| | (1.139) | (1.125) | (1.114) | (1.217) | (1.392) |
| # inventores | 0.0511 | 0.0408 | 0.0672 | 0.1166 | 0.1108 |
| | (0.1162) | (0.1163) | (0.1321) | (0.1311) | (0.1840) |
| # patentes | -0.2642* | -0.2671* | -0.1789 | -0.2012 | -0.1633 |
| | (0.1415) | (0.1395) | (0.1429) | (0.1464) | (0.2046) |
| # tecnologías | 0.1220 | 0.2559 | 0.4198*** | 0.1559 | -0.0279 |
| | (0.2346) | (0.2167) | (0.1562) | (0.2223) | (0.2398) |
| cercanía × estabilidad | | | | -210.3*** | -167.6*** |
| | | | | (54.08) | (45.95) |
| cercanía × alternativas | | | | -96.34*** | -109.6*** |
| | | | | (33.75) | (32.78) |
| estabilidad × alternativas | | | | -5.896 | 57.67*** |
| | | | | (17.06) | (17.78) |
| estabilidad × complejidad | | | | | -19.76 |
| | | | | | (25.60) |
| alternativas × complejidad | | | | | 28.45*** |
| | | | | | (6.799) |
| *Efectos fijos* | | | | | |
| ciudad | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| ventana | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| tecnología | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| *Estadísticas de ajuste* | | | | | |
| Observaciones | 199,772 | 199,772 | 199,772 | 199,772 | 199,772 |
| Pseudo $R^2$ | 0.19611 | 0.19393 | 0.19450 | 0.20218 | 0.20576 |
| BIC | 40,158.4 | 40,247.9 | 40,224.6 | 39,971.2 | 39,848.8 |

*Errores estándar clusterizados (ciudad & ventana & tecnología)*
*Significación: ***: 0.01, **: 0.05, *: 0.1*

Cuadro C.2: En esta tabla los modelos 4 y 5 corresponden a los modelos 1 y 2 de la tabla 4.3, los cuales fueron usados para contrastar las hipóteis. Los modelos 1 a 3 muestran los resultados de incluir una a una las variables de densidad de cercanía, estabildiad y alternativas, sin considerar interacciones.

| Variable dependiente: | nueva | | | |
|---|---|---|---|---|
| Modelo: | (1) | (2) | (3) | (4) |
| *Variables* | | | | |
| cercanía | 9.580*** | 10.79*** | 10.84*** | 11.06*** |
| | (1.377) | (1.969) | (2.075) | (1.961) |
| estabilidad | -19.45 | | 110.8*** | 102.4*** |
| | (14.81) | | (24.40) | (36.77) |
| alternativas | | -5.551** | -11.60*** | -23.65*** |
| | | (2.648) | (2.430) | (5.010) |
| complejidad | -0.4455 | -0.5543 | -0.6096 | -2.055** |
| | (0.6665) | (0.6684) | (0.6854) | (0.9812) |
| transitividad | -0.9981 | -1.474 | -1.355 | -1.045 |
| | (1.128) | (1.377) | (1.217) | (1.392) |
| # inventores | 0.0905 | 0.1025 | 0.1166 | 0.1108 |
| | (0.1161) | (0.1208) | (0.1311) | (0.1840) |
| # patentes | -0.1916 | -0.1397 | -0.2012 | -0.1633 |
| | (0.1357) | (0.1458) | (0.1464) | (0.2046) |
| # tecnologías | -0.0548 | 0.0655 | 0.1559 | -0.0279 |
| | (0.2452) | (0.2472) | (0.2223) | (0.2398) |
| cercanía × estabilidad | -8.312 | | -210.3*** | -167.6*** |
| | (30.84) | | (54.08) | (45.95) |
| cercanía × alternativas | | -45.55*** | -96.34*** | -109.6*** |
| | | (17.53) | (33.75) | (32.78) |
| estabilidad × alternativas | | | -5.896 | 57.67*** |
| | | | (17.06) | (17.78) |
| estabilidad × complejidad | | | | -19.76 |
| | | | | (25.60) |
| alternativas × complejidad | | | | 28.45*** |
| | | | | (6.799) |
| *Efectos fijos* | | | | |
| ciudad | Sí | Sí | Sí | Sí |
| ventana | Sí | Sí | Sí | Sí |
| tecnología | Sí | Sí | Sí | Sí |
| *Estadísticas de ajuste* | | | | |
| Observaciones | 199,772 | 199,772 | 199,772 | 199,772 |
| Pseudo $R^2$ | 0.19707 | 0.19928 | 0.20218 | 0.20576 |
| BIC | 40,143.7 | 40,053.0 | 39,971.2 | 39,848.8 |

*Errores estándar clusterizados (ciudad & ventana & tecnología)*
*Significación: ***: 0.01, **: 0.05, *: 0.1*

Cuadro C.3: En esta tabla los modelos 3 y 4 corresponden a los modelos 1 y 2 de la tabla 4.3, los cuales fueron usados para contrastar las hipóteis. Los modelos 1 y 2 muestran los resultados de incluir una a una las variables de densidad de estabilidad y alternativas, así como también las interacciones entre ellas y con la densidad de cercanía.

| Variable dependiente: | | | | nueva | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modelo: | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| *Variables* | | | | | | | |
| cercanía | -1.055 | 2.219* | 11.36*** | -0.7648 | 10.97*** | 10.86*** | 11.06*** |
| | (1.777) | (0.9207) | (1.347) | (1.974) | (1.898) | (1.232) | (1.961) |
| estabilidad | 82.13*** | 42.48 | 69.00*** | 81.25** | 100.3** | 69.53* | 102.4** |
| | (22.29) | (24.55) | (17.98) | (28.10) | (30.99) | (34.44) | (36.77) |
| alternativas | -10.33*** | -12.05*** | -20.38*** | -11.39*** | -22.70*** | -21.20*** | -23.65*** |
| | (2.364) | (1.488) | (4.284) | (2.209) | (4.904) | (3.987) | (5.010) |
| complejidad | -5.494*** | -5.618*** | -1.747*** | -5.746*** | -2.287*** | -1.948* | -2.055* |
| | (0.1381) | (0.3004) | (0.3146) | (0.2877) | (0.3705) | (0.8091) | (0.9812) |
| transitividad | -3.421*** | -3.268*** | -2.224** | -3.241** | -0.4882 | -1.024 | -1.045 |
| | (0.3520) | (0.9694) | (0.7359) | (0.9983) | (0.8801) | (1.085) | (1.392) |
| # inventores | 0.0752 | -0.0381 | -0.0234 | 0.0869 | 0.2894** | -0.0276 | 0.1108 |
| | (0.1212) | (0.0575) | (0.0476) | (0.1280) | (0.1104) | (0.0544) | (0.1840) |
| # patentes | -0.1845 | -0.1607 | -0.2583*** | -0.2549* | -0.2334 | -0.1647 | -0.1633 |
| | (0.1569) | (0.1658) | (0.0699) | (0.1276) | (0.1446) | (0.1398) | (0.2046) |
| # tecnologías | -0.1533 | 0.8617*** | 1.069*** | -0.1136 | -0.0267 | 1.022*** | -0.0279 |
| | (0.2373) | (0.1520) | (0.1044) | (0.2708) | (0.1820) | (0.0983) | (0.2398) |
| cercanía × estabilidad | -88.16*** | -54.08 | -138.0*** | -84.74* | -168.1*** | -140.6* | -167.6*** |
| | (18.49) | (45.99) | (22.54) | (41.40) | (31.95) | (56.40) | (45.95) |
| cercanía × alternativas | -1.118 | -30.94 | -104.1*** | -2.102 | -112.1*** | -100.4* | -109.6*** |
| | (21.81) | (20.34) | (19.55) | (24.78) | (25.73) | (40.76) | (32.78) |
| estabilidad × alternativas | -136.6* | 19.06 | 124.2** | -123.2* | 71.96 | 121.6* | 57.67** |
| | (56.42) | (28.83) | (39.26) | (52.09) | (50.59) | (48.84) | (17.78) |
| estabilidad × complejidad | -28.95 | -26.75* | -4.957 | -32.22 | -16.18 | -4.948 | -19.76 |
| | (18.79) | (10.86) | (18.43) | (18.30) | (24.97) | (19.99) | (25.60) |
| alternativas × complejidad | 29.92*** | 25.18*** | 25.60*** | 29.49*** | 28.17*** | 25.13*** | 28.45*** |
| | (3.744) | (2.094) | (5.878) | (3.846) | (6.671) | (5.608) | (6.799) |
| *Efectos fijos* | | | | | | | |
| ciudad | Sí | | | Sí | Sí | | Sí |
| ventana | | Sí | | Sí | | Sí | Sí |
| tecnología | | | Sí | | Sí | Sí | Sí |
| *Estadísticas de ajuste* | | | | | | | |
| Observaciones | 248,208 | 248,208 | 199,772 | 248,208 | 199,772 | 199,772 | 199,772 |
| Pseudo $R^2$ | 0.17290 | 0.16580 | 0.19437 | 0.17593 | 0.20466 | 0.19595 | 0.20576 |
| BIC | 36,559.2 | 35,931.2 | 39,302.4 | 36,479.1 | 39,845.1 | 39,286.4 | 39,848.8 |

*Errores estándar clusterizados al nivel de los efectos fijos de cada especificación*
*Significación: ***: 0.001, **: 0.01, *: 0.05*

Cuadro C.4: En esta tabla el modelo 7 se corresponde con el modelo 2 presentado en la tabla 4.3. Los modelos 1 a 6 consideran las distintas combinaciones posibles de los tres efectos fijos utilzados.

# Referencias


Abramovitz, M. (1995). The Elements of Social Capability. En B. Koo y D. Perkins (Eds.), *Social capability and long-term economic growth* (p. 19). London: Macmillan Pres. Ltda.

Adams, J. (2013). The fourth age of research. *Nature*, *497*(7451), 557–560. doi: 10.1038/497557a

Ahuja, G. (2000). Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study. *Administrative Science Quarterly*, *45*(3), 425–455.

Allison, P. (2009). *Fixed Effects Regression Models*. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States of America: SAGE Publications, Inc. doi: 10.4135/9781412993869

Alonso, J. A., y Martín, V. (2019). Product relatedness and economic diversification at the regional level in two emerging economies: Mexico and Brazil. *Regional Studies*, *53*(12), 1710–1722. doi: 10.1080/00343404.2019.1605441

Alshamsi, A., Pinheiro, F. L., y Hidalgo, C. A. (2018). Optimal diversification strategies in the networks of related products and of related research areas. *Nature Communications*, *9*(1). doi: 10.1038/s41467-018-03740-9

Alstott, J., Triulzi, G., Yan, B., y Luo, J. (2017). Inventors' explorations across technology domains. *Design Science*, *3*(May), e20. doi: 10.1017/dsj.2017.21

Andersson, D. E., Galaso, P., y Sáiz, P. (2019). Patent collaboration networks in Sweden and Spain during the Second Industrial Revolution. *Industry and Innovation*, *26*(9), 1075–1102. doi: 10.1080/13662716.2019.1577720

Antonelli, C. (2011). *Handbook on the Economic Complexity of Technological Change*. Edward Elgar Publishing. doi: 10.4337/9780857930378

Antonelli, C. (2017). *Endogenous Innovation: The economics of an emergent system property*. Edward Elgar Publishing. doi: 10.4337/9781782545149

Antonelli, C., Crespi, F., Mongeau Ospina, C. A., y Scellato, G. (2017). Knowledge composition, Jacobs externalities and innovation performance in European regions. *Regional Studies*, *51*(11), 1708–1720. doi: 10.1080/00343404.2016.1217405

Antonelli, C., Crespi, F., y Quatraro, F. (2020). Knowledge complexity and the mechanisms of knowledge generation and exploitation: The European evidence. *Research Policy*. doi: 10.1016/j.respol.2020.104081

Antonioli, D., Marzucchi, A., y Savona, M. (2017). Pain shared, pain halved? Cooperation as a coping strategy for innovation barriers. *The Journal of Technology Transfer*, *42*(4), 841–864. doi: 10.1007/s10961-016-9545-9

Archibugi, D. (1992). Patenting as an indicator of technological innovation: a review. *Science and Public Policy*, *19*(6), 357–368. doi: 10.1093/spp/19.6.357

Arocena, R., y Sutz, J. (2010). Weak knowledge demand in the South: learning divides and innovation policies. *Science and Public Policy*, *37*(8), 571–582. doi: 10.3152/030234210X12767691861137

Arond, E., Rodríguez, I., Arza, V., Herrera, F., y Sánchez, M. (2011). *Innovation, Sustainability, Development and Social Inclusion: Lessons from Latin America.* Brighton.

Arora, A., Athreye, S., y Huang, C. (2016). The paradox of openness revisited: Collaborative innovation and patenting by UK innovators. *Research Policy*, *45*(7), 1352–1361. doi: 10.1016/j.respol.2016.03.019

Arthur, W. B. (2009). *The Nature of Technology – What it is and how it evolves*. London: Penguin Group.

Asheim, B. T., Boschma, R., y Cooke, P. (2011). Constructing Regional Advantage: Platform Policies Based on Related Variety and Differentiated Knowledge Bases. *Regional Studies*, *45*(7), 893–904. doi: 10.1080/00343404.2010.543126

Asheim, B. T., y Isaksen, A. (2002). Regional innovation systems: The integration of local 'sticky' and global 'ubiquitous' knowledge. *Journal of Technology Transfer*, *27*(1), 77–86. doi: 10.1023/A:1013100704794

Asheim, B. T., y Parrilli, M. D. (Eds.). (2012). *Interactive Learning for Innovation*. London: Palgrave Macmillan UK. doi: 10.1057/9780230362420

Balassa, B. (1986). Comparative Advantage in Manufactured Goods: A Reappraisal. *The Review of Economics and Statistics*, *68*(2), 315–319. doi: 10.2307/1925512

Baldacchino, G. (2006). Small Islands versus Big Cities: Lessons in the Political Economy of Regional Development from the World's Small Islands. *The Journal of Technology Transfer*, *31*(1), 91–100. doi: 10.1007/s10961-005-5015-5

Balland, P.-A., Boschma, R., Crespo, J., y Rigby, D. L. (2019). Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. *Regional Studies*, *53*(9), 1252–1268. doi: 10.1080/00343404.2018.1437900

Balland, P.-A., Boschma, R., y Frenken, K. (2015). Proximity and Innovation: From Statics to Dynamics. *Regional Studies*, *49*(6), 907–920. doi: 10.1080/00343404.2014.883598

Balland, P.-A., Broekel, T., Diodato, D., Giuliani, E., Hausmann, R., O'Clery, N., y Rigby, D. L. (2022). The new paradigm of economic complexity. *Research Policy*, *51*(3), 104450. doi: 10.1016/j.respol.2021.104450

Balland, P.-A., Jara-Figueroa, C., Petralia, S., Steijn, M. P. A., Rigby, D. L., y Hidalgo, C. A. (2020). Complex economic activities concentrate in large cities. *Nature Human*

*Behaviour*, *4*(3), 248–254. doi: 10.1038/s41562-019-0803-3

Balland, P.-A., y Rigby, D. L. (2017). The Geography of Complex Knowledge. *Economic Geography*, *93*(1), 1–23. doi: 10.1080/00130095.2016.1205947

Barabási, A.-L., y Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, *286*(5439), 509–512. doi: 10.1126/science.286.5439.509

Bathelt, H., y Li, P. (2020). Processes of building cross-border knowledge pipelines. *Research Policy*, *49*(3), 103928. doi: 10.1016/j.respol.2020.103928

Bathelt, H., Malmberg, A., y Maskell, P. (2004). Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, *28*(1), 31–56. doi: 10.1191/0309132504ph469oa

Batty, M., Barros, J., y Júnior, S. A. (2006). Cities: Continuity, transformation and emergence. En E. Garnsey y J. McGlade (Eds.), *Complexity and co-evolution: Continuity and change in socio-economic systems* (pp. 61–76). Northampton: Edward Elgar Publishing Ltd.

Bell, A., Fairbrother, M., y Jones, K. (2019). Fixed and random effects models: making an informed choice. *Quality & Quantity*, *53*(2), 1051–1074. doi: 10.1007/s11135-018-0802-x

Bellemare, M. F., Masaki, T., y Pepinsky, T. B. (2017). Lagged Explanatory Variables and the Estimation of Causal Effect. *The Journal of Politics*, *79*(3), 949–963. doi: 10.1086/690946

Belso-Martinez, J. A., Molina-Morales, F. X., y Martínez-Cháfer, L. (2015). Contributions of brokerage roles to firms' innovation in a confectionery cluster. *Technology Analysis & Strategic Management*, *27*(9), 1014–1030. doi: 10.1080/09537325.2015.1045858

Bergquist, K., Fink, C., y Raffo, J. (2018). Identifying and ranking the world's largest science and technology clusters. En S. Dutta, B. Lanvin, y S. Wunsch-Vincent (Eds.), *The global innovation index 2018: Energizing the world with innovation* (11.ª ed., p. 19). Geneva: Cornell University, INSEAD, and WIPO.

Bettencourt, L. M. A., Lobo, J., y Strumsky, D. (2007). Invention in the city: Increasing returns to patenting as a scaling function of metropolitan size. *Research Policy*, *36*(1), 107–120. doi: 10.1016/j.respol.2006.09.026

Bianchi, C., Galaso, P., y Palomeque, S. (2020). *Invention and Collaboration Networks in Latin America: Evidence from Patent Data* (n.º DT 04/20). Montevideo.

Bianchi, C., Galaso, P., y Palomeque, S. (2021). Patent Collaboration Networks in Latin America: Extra-regional Orientation and Core-Periphery Structure. *Journal of Scientometric Research*, *10*(1s), s59–s70. doi: 10.5530/jscires.10.1s.22

Bianchi, C., Galaso, P., y Palomeque, S. (2023). The trade-offs of brokerage in inter-city innovation networks. *Regional Studies*, *57*(2), 225–238. doi: 10.1080/00343404.2021.1973664

Bogers, M., Chesbrough, H., y Moedas, C. (2018). Open Innovation: Research, Prac-

tices, and Policies. *California Management Review*, *60*(2), 5–16. doi: 10.1177/0008125617745086

Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, *27*(1), 55–71. doi: 10.1016/j.socnet.2004.11.008

Boschma, R. (2004). Competitiveness of Regions from an Evolutionary Perspective. *Regional Studies*, *38*(9), 1001–1014. doi: 10.1080/0034340042000292601

Boschma, R. (2005). Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies*, *39*(1), 61–74. doi: 10.1080/0034340052000320887

Boschma, R. (2017). Relatedness as driver of regional diversification: a research agenda. *Regional Studies*, *51*(3), 351–364. doi: 10.1080/00343404.2016.1254767

Boschma, R. (2022). Designing Smart Specialization Policy: relatedness, unrelatedness, or what? En M. Anderson, C. Karlsson, y S. Wixe (Eds.), *Handbook of spatial diversity and business economics.* Oxford, UK: Oxford University Press. Forthcoming.

Boschma, R., Balland, P.-A., y Kogler, D. F. (2015). Relatedness and technological change in cities: the rise and fall of technological knowledge in US metropolitan areas from 1981 to 2010. *Industrial and Corporate Change*, *24*(1), 223–250. doi: 10.1093/icc/dtu012

Boschma, R., y Frenken, K. (2006). Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, *6*(3), 273–302. doi: 10.1093/jeg/lbi022

Boschma, R., y Lambooy, J. G. (1999). Evolutionary economics and economic geography. *Journal of Evolutionary Economics*, *9*(4), 411–429. doi: 10.1007/s001910050089

Bottai, C., y Iori, M. (2022). The Knowledge Complexity of the European Metropolitan Areas: Selecting and Clustering Their Hidden Features. *LEM Workig Papers Series*.

Brache, J., y Felzensztein, C. (2019). Geographical co-location on Chilean SME's export performance. *Journal of Business Research*, *105*, 310–321. doi: 10.1016/j.jbusres.2017.11.044

Breschi, S., y Lenzi, C. (2015). The Role of External Linkages and Gatekeepers for the Renewal and Expansion of US Cities' Knowledge Base, 1990–2004. *Regional Studies*, *49*(5), 782–797. doi: 10.1080/00343404.2014.954534

Breschi, S., y Lenzi, C. (2016). Co-invention networks and inventive productivity in US cities. *Journal of Urban Economics*, *92*, 66–75. doi: 10.1016/j.jue.2015.12.003

Breschi, S., Lissoni, F., y Malerba, F. (2003). Knowledge-relatedness in firm technological diversification. *Research Policy*, *32*(1), 69–87. doi: 10.1016/S0048-7333(02)00004-5

Britto, J. N. d. P., Ribeiro, L. C., Araújo, L. T., y Albuquerque, E. d. M. e. (2021). Patent citations, knowledge flows, and catching-up: Evidences of different national experiences for the period 1982–2006. *Science and Public Policy*, *47*(6), 788–802. doi: 10.1093/scipol/scaa041

Burt, R. S. (1992). *Structural holes: The social structure of competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Burt, R. S. (2004). Structural Holes and Good Ideas. *American Journal of Sociology*, *110*(2), 349–399. doi: 10.1086/421787

Cabello, S. (2022). *El camino de desarrollo de las ciudades inteligentes: una evaluación de Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México y São Paulo* (Inf. Téc.). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Campi, M., Dueñas, M., y Fagiolo, G. (2021). Specialization in food production affects global food security and food systems sustainability. *World Development*, *141*, 105411. doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105411

Cantner, U., y Graf, H. (2006). The network of innovators in Jena: An application of social network analysis. *Research Policy*, *35*(4), 463–480. doi: 10.1016/j.respol.2006.01.002

Cantner, U., Meder, A., y ter Wal, A. L. (2010). Innovator networks and regional knowledge base. *Technovation*, *30*(9-10), 496–507. doi: 10.1016/j.technovation.2010.04.002

Cao, Z., Derudder, B., Dai, L., y Peng, Z. (2021). 'Buzz-and-pipeline' dynamics in Chinese science: the impact of interurban collaboration linkages on cities' innovation capacity. *Regional Studies*, 1–17. doi: 10.1080/00343404.2021.1906410

Capone, F., Lazzeretti, L., y Innocenti, N. (2021). Innovation and diversity: the role of knowledge networks in the inventive capacity of cities. *Small Business Economics*, *56*(2), 773–788. doi: 10.1007/s11187-019-00268-0

Castaldi, C., Frenken, K., y Los, B. (2015). Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs: An analysis of US State-Level Patenting. *Regional Studies*, *49*(5), 767–781. doi: 10.1080/00343404.2014.940305

Castellacci, F., y Natera, J. M. (2016). Innovation, absorptive capacity and growth heterogeneity: Development paths in Latin America 1970–2010. *Structural Change and Economic Dynamics*, *37*, 27–42. doi: 10.1016/j.strueco.2015.11.002

Chaves, C. V., Leonardo Costa Ribeiro, Ulisses Pereira, dos Santos, y Albuquerque, E. d. M. e. (2020). Innovation systems and changes in the core-periphery divide: Notes on a methodology to determine countries' trajectories using science and technology statistics. *CEPAL Review*, *2020*(130), 43–61. doi: 10.18356/16840348-2020-130-3

Cimoli, M., y Katz, J. (2003). Structural reforms, technological gaps and economic development: a Latin American perspective. *Industrial and Corporate Change*, *12*(2), 387–411. doi: 10.1093/icc/12.2.387

Cimoli, M., y Porcile, G. (2009). Sources of learning paths and technological capabilities: an introductory roadmap of development processes†. *Economics of Innovation and New Technology*, *18*(7), 675–694. doi: 10.1080/10438590802564600

Cimoli, M., Primi, A., y Ferraz, J. (2005). Science and technology policies in open economies: The case of Latin America and the Caribbean. *Cepal*(October).

Cohen, W. M., y Levinthal, D. A. (1989). Innovation and Learning: The Two Faces of R&D. *The Economic Journal*, *99*(397), 569. doi: 10.2307/2233763

Cohen, W. M., y Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, *35*(1), 128. doi: 10.2307/2393553

Collins, H. (2010). *Tacit and explicit knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.

Confraria, H., y Vargas, F. (2019). Scientific systems in Latin America: performance, networks, and collaborations with industry. *The Journal of Technology Transfer*, *44*(3), 874–915. doi: 10.1007/s10961-017-9631-7

Content, J., y Frenken, K. (2016). Related variety and economic development: a literature review. *European Planning Studies*, *24*(12), 2097–2112. doi: 10.1080/09654313.2016.1246517

Cooke, P. (2001). Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, *10*(4), 945–974. doi: 10.1093/icc/10.4.945

Coscia, M., y Neffke, F. (2017). Network Backboning with Noisy Data. En *2017 ieee 33rd international conference on data engineering (icde)* (pp. 425–436). IEEE. doi: 10.1109/ICDE.2017.100

Coscia, M., y Rossi, L. (2019). The impact of projection and backboning on network topologies. En *Proceedings of the 2019 ieee/acm international conference on advances in social networks analysis and mining* (pp. 286–293). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/3341161.3342862

Cowan, R., David, P. A., y Foray, D. (2000). The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and Corporate Change*, *9*(2), 211–253. doi: 10.1093/icc/9.2.211

Crespi, G., y Dutrénit, G. (Eds.). (2014). *Science, Technology and Innovation Policies for Development*. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-04108-7

David, P. A., y Foray, D. (1996). Information Distribution and the Growth of Economically Valuable Knowledge: A Rationale for Technological Infrastructure Policies. En M. Teubal, D. Foray, M. Justman, y E. Zuscovitch (Eds.), *Technological infrastructure policy. economics of science, technology and innovation* (pp. 87–116). Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-94-015-8739-6_4

De Noni, I., Ganzaroli, A., y Orsi, L. (2017). The impact of intra- and inter-regional knowledge collaboration and technological variety on the knowledge productivity of European regions. *Technological Forecasting and Social Change*, *117*, 108–118. doi: 10.1016/j.techfore.2017.01.003

De Raco, S., y Semeshenko, V. (2019). *Labor mobility and industrial space in Argentina* (Vol. 6) (n.º 2). doi: 10.3934/jdg.2019008

de Araújo, I. F., Gonçalves, E., Taveira, J. G., de Araújo, I. F., Gonçalves, E., y Taveira, J. G. (2019). The Role of Patent Co-inventorship Networks in Regional Inventive Performance. *International Regional Science Review*, *42*(3-4), 235–280. doi: 10.1177/

0160017618770717

de Jong, J. P., Kalvet, T., y Vanhaverbeke, W. (2010). Exploring a theoretical framework to structure the public policy implications of open innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*, *22*(8), 877–896. doi: 10.1080/09537325.2010.522771

de la Mora, L. (2017). *Políticas para la atracción de inversión extranjera directa como impulsora de la creación de capacidades locales y del cambio estructural: caso México*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Delvenne, P., y Thoreau, F. (2017). Dancing without listening to the music: Learning from some failures of the 'national innovation systems' in Latin America. En S. Kuhlmann y G. Ordóñez-Matamoros (Eds.), *Research handbook on innovation governance for emerging economies: Towards better models* (pp. 37–58). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.

Derudder, B., y Taylor, P. J. (2016). Change in the World City Network, 2000–2012. *The Professional Geographer*, *68*(4), 624–637. doi: 10.1080/00330124.2016.1157500

Doloreux, D., y Shearmur, R. (2023). Does location matter? STI and DUI innovation modes in different geographic settings. *Technovation*, *119*, 102609. doi: 10.1016/j.technovation.2022.102609

Dosi, G. (1988). Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. *Journal of Economic Literature*, *26*(3), 1120–1171.

Dosi, G., Mathew, N., y Pugliese, E. (2020). What a firm produces matters: Processes of diversification, coherence and performances of Indian manufacturing firms. *Research Policy*, 104152. doi: 10.1016/j.respol.2020.104152

Drivas, K. (2022). The role of technology and relatedness in regional trademark activity. *Regional Studies*, *56*(2), 242–255. doi: 10.1080/00343404.2020.1808883

Duque Franco, I. (2021). Las smart cities en la agenda del planeamiento y la gobernanza urbana en América Latina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *30*(2), 280–296. doi: 10.15446/rcdg.v30n2.89479

Erbes, A., Robert, V., y Yoguel, G. (2010). Capacities, innovation and feedbacks in production networks in Argentina. *Economics of Innovation and New Technology*, *19*(8), 719–741. doi: 10.1080/10438590903040807

Essletzbichler, J. (2015). Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas. *Regional Studies*, *49*(5), 752–766. doi: 10.1080/00343404.2013.806793

Fagerberg, J., y Srholec, M. (2017). Capabilities, economic development, sustainability. *Cambridge Journal of Economics*, *41*(3), 905–926. doi: 10.1093/cje/bew061

Fan, F., Lian, H., y Wang, S. (2020). Can regional collaborative innovation improve innovation efficiency? An empirical study of Chinese cities. *Growth and Change*, *51*(1), 440–463. doi: 10.1111/grow.12346

Farinha, T., Balland, P.-A., Morrison, A., y Boschma, R. (2019). What drives the geography

of jobs in the US? Unpacking relatedness. *Industry and Innovation*, *26*(9), 988–1022. doi: 10.1080/13662716.2019.1591940

Felzensztein, C., Deans, K. R., y Dana, L. (2019). Small Firms in Regional Clusters: Local Networks and Internationalization in the Southern Hemisphere. *Journal of Small Business Management*, *57*(2), 496–516. doi: 10.1111/jsbm.12388

Fischer, B. B., Queiroz, S., y Vonortas, N. S. (2018). On the location of knowledge-intensive entrepreneurship in developing countries: lessons from São Paulo, Brazil. *Entrepreneurship & Regional Development*, *30*(5-6), 612–638. doi: 10.1080/08985626.2018.1438523

Fitjar, R. D., y Rodríguez-Pose, A. (2013). Firm collaboration and modes of innovation in Norway. *Research Policy*, *42*(1), 128–138. doi: 10.1016/j.respol.2012.05.009

Fleming, L., King, C., y Juda, A. I. (2007). Small Worlds and Regional Innovation. *Organization Science*, *18*(6), 938–954. doi: 10.1287/orsc.1070.0289

Fleming, L., y Sorenson, O. (2001). Technology as a complex adaptive system: evidence from patent data. *Research Policy*, *30*(7), 1019–1039. doi: 10.1016/S0048-7333(00)00135-9

Fleming, L., y Sorenson, O. (2004). Science as a map in technological search. *Strategic Management Journal*, *25*(89), 909–928. doi: 10.1002/smj.384

Florida, R., Adler, P., y Mellander, C. (2017). The city as innovation machine. *Regional Studies*, *51*(1), 86–96. doi: 10.1080/00343404.2016.1255324

Foray, D. (2004). *The Economics of Knowlegde*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Foray, D. (2014). *Smart Specialisation: Opportunities and Challenges for Regional Innovation Policy* (First ed.). London: Routledge. doi: 10.4324/9781315773063

Foray, D. (2019). In response to 'Six critical questions about smart spezialisation'. *European Planning Studies*, *27*(10), 2066–2078. doi: 10.1080/09654313.2019.1664037

Françoso, M. S., y Vonortas, N. S. (2022). Gatekeepers in regional innovation networks: Evidence from an emerging economy. *The Journal of Technology Transfer*. doi: 10.1007/s10961-022-09922-4

Freeman, L. C. (1991). Networks of innovators: A synthesis of research issues. *Research Policy*, *20*(5), 499–514. doi: 10.1016/0048-7333(91)90072-X

Frenken, K., Van Oort, F. G., y Verburg, T. (2007). Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, *41*(5), 685–697. doi: 10.1080/00343400601120296

Fritsch, M., y Wyrwich, M. (2021). Is innovation (increasingly) concentrated in large cities? An international comparison. *Research Policy*, *50*(6), 104237. doi: 10.1016/j.respol.2021.104237

Galaso, P. (2018). Network topologies as collective social capital in cities and regions: a critical review of empirical studies. *European Planning Studies*, *26*(3), 571–590. doi:

10.1080/09654313.2017.1406898

Galaso, P., y Kovářík, J. (2021). Collaboration networks, geography and innovation: Local and national embeddedness. *Papers in Regional Science*, pirs.12578. doi: 10.1111/pirs.12578

Galaso, P., y Rodríguez Miranda, A. (2020). The leading role of support organisations in cluster networks of developing countries. *Industry and Innovation*, 1–30. doi: 10.1080/13662716.2020.1856046

Galaso, P., Rodríguez Miranda, A., y Picasso, S. (2019). Inter-firm collaborations to make or to buy innovation. *Management Research: Journal of the Iberoamerican Academy of Management*, *17*(4), 404–425. doi: 10.1108/MRJIAM-12-2018-0893

Gallo, J. L., y Plunket, A. (2020). Regional gatekeepers, inventor networks and inventive performance: Spatial and organizational channels. *Research Policy*, *49*(5), 103981. doi: 10.1016/j.respol.2020.103981

German-Soto, V., y Gutiérrez Flores, L. (2015). A Standardized Coefficients Model to Analyze the Regional Patents Activity: Evidence from the Mexican States. *Journal of the Knowledge Economy*, *6*(1), 72–89. doi: 10.1007/s13132-012-0101-z

Giuliani, E., y Bell, M. (2005). The micro-determinants of meso-level learning and innovation: evidence from a Chilean wine cluster. *Research Policy*, *34*(1), 47–68. doi: 10.1016/j.respol.2004.10.008

Glaeser, E. L., Kallal, H. D., Scheinkman, J. A., y Shleifer, A. (1992). Growth in Cities. *Journal of Political Economy*, *100*(6), 1126–1152. doi: 10.1086/261856

Gomes Ferreira, C. H., Murai, F., Silva, A. P. C., Trevisan, M., Vassio, L., Drago, I., … Almeida, J. M. (2022). On network backbone extraction for modeling online collective behavior. *PLOS ONE*, *17*(9), e0274218. doi: 10.1371/journal.pone.0274218

Gonçalves, L., Teixeira, C., y Pique, J. M. (2022). Ruta N - fostering the innovation ecosystem of Medellín. *Journal of Evolutionary Studies in Business*, *7*(2), 133–159. doi: 10.1344/jesb2022.2.j109

Gould, R. V., y Fernandez, R. M. (1989). Structures of Mediation: A Formal Approach to Brokerage in Transaction Networks. *Sociological Methodology*, *19*, 89. doi: 10.2307/270949

Graf, H. (2011). Gatekeepers in regional networks of innovators. *Cambridge Journal of Economics*, *35*(1), 173–198. doi: 10.1093/cje/beq001

Graf, H., y Kalthaus, M. (2018). International research networks: Determinants of country embeddedness. *Research Policy*, *47*(7), 1198–1214. doi: 10.1016/j.respol.2018.04.001

Griliches, Z. (1990). Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. *Journal of Economic Literature*, *28*(4), 1661–1707.

Grillitsch, M., Asheim, B. T., y Trippl, M. (2018). Unrelated knowledge combinations: the unexplored potential for regional industrial path development. *Cambridge Journal of*

*Regions, Economy and Society*, *11*(2), 257–274. doi: 10.1093/cjres/rsy012

Grimpe, C., y Kaiser, U. (2010). Balancing Internal and External Knowledge Acquisition: The Gains and Pains from R&D Outsourcing. *Journal of Management Studies*, *47*(8), 1483–1509. doi: 10.1111/j.1467-6486.2010.00946.x

Guan, J., Zhang, J., y Yan, Y. (2015). The impact of multilevel networks on innovation. *Research Policy*, *44*(3), 545–559. doi: 10.1016/j.respol.2014.12.007

Guevara, M. R., Hartmann, D., Aristarán, M., Mendoza, M., y Hidalgo, C. A. (2016). The research space: using career paths to predict the evolution of the research output of individuals, institutions, and nations. *Scientometrics*, *109*(3), 1695–1709. doi: 10 .1007/s11192-016-2125-9

Gui, Q., Liu, C., y Du, D. (2018). Does network position foster knowledge production? Evidence from international scientific collaboration network. *Growth and Change*(September). doi: 10.1111/grow.12263

Guo, M., Yang, N., Wang, J., Zhang, Y., y Wang, Y. (2021). How do structural holes promote network expansion? *Technological Forecasting and Social Change*, *173*, 121129. doi: 10.1016/j.techfore.2021.121129

Hartmann, D., Guevara, M. R., Jara-Figueroa, C., Aristarán, M., y Hidalgo, C. A. (2017). Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality. *World Development*, *93*, 75–93. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.12.020

Hartmann, D., Zagato, L., Gala, P., y Pinheiro, F. L. (2021). Why did some countries catch-up, while others got stuck in the middle? Stages of productive sophistication and smart industrial policies. *Structural Change and Economic Dynamics*, *58*, 1–13. doi: 10.1016/j.strueco.2021.04.007

Hassink, R. (2010). Regional resilience: a promising concept to explain differences in regional economic adaptability? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, *3*(1), 45–58. doi: 10.1093/cjres/rsp033

Hassink, R., y Gong, H. (2019). Six critical questions about smart specialization. *European Planning Studies*, *27*(10), 2049–2065. doi: 10.1080/09654313.2019.1650898

Hausmann, R., y Hidalgo, C. A. (2011). The network structure of economic output. *Journal of Economic Growth*, *16*(4), 309–342. doi: 10.1007/s10887-011-9071-4

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., y Yildirim, M. A. (2013). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. New Hampshire: MIT Press.

Heo, P. S., y Lee, D. H. (2019). Evolution patterns and network structural characteristics of industry convergence. *Structural Change and Economic Dynamics*, *51*, 405–426. doi: 10.1016/j.strueco.2019.02.004

Hidalgo, C. A. (2018). From useless to keystone. *Nature Physics*, *14*(1), 9–10. doi: 10.1038/ nphys4337

Hidalgo, C. A. (2021). Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews*

*Physics*. doi: 10.1038/s42254-020-00275-1

Hidalgo, C. A., Balland, P.-A., Boschma, R., Delgado, M., Feldman, M. P., Frenken, K., ... Zhu, S. (2018). The Principle of Relatedness. En *Springer proceedings in complexity* (pp. 451–457). doi: 10.1007/978-3-319-96661-8_46

Hidalgo, C. A., y Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(26), 10570–10575. doi: 10.1073/pnas.0900943106

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A.-L., y Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, *317*(5837), 482–487. doi: 10.1126/science.1144581

Hill, A. D., Johnson, S. G., Greco, L. M., O'Boyle, E. H., y Walter, S. L. (2021). Endogeneity: A Review and Agenda for the Methodology-Practice Divide Affecting Micro and Macro Research. *Journal of Management*, *47*(1), 105–143. doi: 10.1177/0149206320960533

Innocenti, N., Capone, F., y Lazzeretti, L. (2020). Knowledge networks and industrial structure for regional innovation: An analysis of patents collaborations in Italy. *Papers in Regional Science*, *99*(1), 55–72. doi: 10.1111/pirs.12478

Isaksen, A. (2015). Industrial development in thin regions: trapped in path extension? *Journal of Economic Geography*, *15*(3), 585–600. doi: 10.1093/jeg/lbu026

Jackson, M. O. (2005). A Survey of Network Formation Models: Stability and Efficiency. En *Group formation in economics* (pp. 11–57). Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511614385.002

Jackson, M. O., y Wolinsky, A. (1996). A Strategic Model of Social and Economic Networks. *Journal of Economic Theory*, *71*(1), 44–74. doi: 10.1006/jeth.1996.0108

Jacobs, J. (1969). *The Economy of Cities* (First ed.). New York, NY: Vintage.

Janssen, M. J., y Frenken, K. (2019). Cross-specialisation policy: rationales and options for linking unrelated industries. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, *12*(2), 195–212. doi: 10.1093/cjres/rsz001

Jaramillo, A. C., Osorio, C. A. Z., Jaramillo, S. C., y Garzik, L. (2022). Medellín Innovation System. En L. Garzik (Ed.), *Successful innovation systems: A resource-oriented and regional perspective for policy and practice* (pp. 127–142). Vienna: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-80639-2_8

Jensen, M. B., Johnson, B., Lorenz, E., y Lundvall, B. Å. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, *36*(5), 680–693. doi: 10.1016/j.respol.2007.01.006

Johnson, B. (2008). Cities, systems of innovation and economic development. *Innovation*, *10*(2-3), 146–155. doi: 10.5172/impp.453.10.2-3.146

Johnson, B., Lorenz, E., y Lundvall, B. (2002). Why all this fuss about codified and tacit knowledge? *Industrial and Corporate Change*, *11*(2), 245–262. doi: 10.1093/icc/

11.2.245

Juhász, S., Broekel, T., y Boschma, R. (2021). Explaining the dynamics of relatedness: The role of co-location and complexity. *Papers in Regional Science*, *100*(1), 3–21. doi: 10.1111/pirs.12567

Kadlec, V., Květoň, V., Vlčková, J., Blažek, J., y Horák, P. (2022). Contrasting patterns and dynamics of patent offshoring in European regions. *The Journal of Technology Transfer*. doi: 10.1007/s10961-022-09968-4

Katz, J. S., y Ronda-Pupo, G. A. (2019). Cooperation, scale-invariance and complex innovation systems: a generalization. *Scientometrics*, *121*(2), 1045–1065. doi: 10.1007/s11192-019-03215-8

Kauffeld-Monz, M., y Fritsch, M. (2013). Who Are the Knowledge Brokers in Regional Systems of Innovation? A Multi-Actor Network Analysis. *Regional Studies*, *47*(5), 669–685. doi: 10.1080/00343401003713365

Khanna, T., Gulati, R., y Nohria, N. (1998). The dynamics of learning alliances: competition, cooperation, and relative scope. *Strategic Management Journal*, *19*(3), 193–210. doi: 10.1002/(SICI)1097-0266(199803)19:3<193::AID-SMJ949>3.0.CO;2-C

Kogler, D. F., Rigby, D. L., y Tucker, I. (2013). Mapping Knowledge Space and Technological Relatedness in US Cities. *European Planning Studies*, *21*(9), 1374–1391. doi: 10.1080/09654313.2012.755832

Koo, J. (2005). Knowledge-based Industry Clusters: Evidenced by Geographical Patterns of Patents in Manufacturing. *Urban Studies*, *42*(9), 1487–1505. doi: 10.1080/00420980500185249

Krugman, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy*, *99*(3), 483–499. doi: 10.1086/261763

Krugman, P. (2011). The New Economic Geography, Now Middle-aged. *Regional Studies*, *45*(1), 1–7. doi: 10.1080/00343404.2011.537127

Kwon, S.-W., Rondi, E., Levin, D. Z., De Massis, A., y Brass, D. J. (2020). Network Brokerage: An Integrative Review and Future Research Agenda. *Journal of Management*, *46*(6), 1092–1120. doi: 10.1177/0149206320914694

Laursen, K., y Salter, A. J. (2014). The paradox of openness: Appropriability, external search and collaboration. *Research Policy*, *43*(5), 867–878. doi: 10.1016/j.respol.2013.10.004

Li, M. (2013). Social network and social capital in leadership and management research: A review of causal methods. *The Leadership Quarterly*, *24*(5), 638–665. doi: 10.1016/j.leaqua.2013.04.005

Li, Y., y Rigby, D. (2023). Relatedness, Complexity, and Economic Growth in Chinese Cities. *International Regional Science Review*, *46*(1), 3–37. doi: 10.1177/01600176221082308

Liang, K.-Y., y Zeger, S. L. (1986). Longitudinal data analysis using generalized linear

models. *Biometrika*, *73*(1), 13–22. doi: 10.1093/biomet/73.1.13

Liao, Y.-C., y Phan, P. H. (2016). Internal capabilities, external structural holes network positions, and knowledge creation. *The Journal of Technology Transfer*, *41*(5), 1148–1167. doi: 10.1007/s10961-015-9415-x

Lobo, J., y Strumsky, D. (2008). Metropolitan patenting, inventor agglomeration and social networks: A tale of two effects. *Journal of Urban Economics*, *63*(3), 871–884. doi: 10.1016/j.jue.2007.07.005

Lundvall, B.-Å., Vang, J., y Joseph, K. (2009). Innovation System Research and Developing Countries. En *Handbook of innovation systems and developing countries* (cap. 1). Edward Elgar Publishing. doi: 10.4337/9781849803427.00006

Lybbert, T. J., y Xu, M. (2022). Innovation-adjusted economic complexity and growth: Do patent flows reveal enhanced economic capabilities? *Review of Development Economics*, *26*(1), 442–483. doi: 10.1111/rode.12816

Lyu, X., Zhou, P., y Leydesdorff, L. (2020). Eco-system mapping of techno-science linkages at the level of scholarly journals and fields. *Scientometrics*, *124*(3), 2037–2055. doi: 10.1007/s11192-020-03435-3

Ma, H., Wei, Y. D., Dai, L., y Xu, X. (2022). The proximity and dynamics of intercity technology transfers in the Guangdong–Hong Kong–Macau Greater Bay Area: Evidence from patent transfer networks. *Environment and Planning A: Economy and Space*, *54*(7), 1432–1449. doi: 10.1177/0308518X221104822

MacKinnon, J. G., y White, H. (1985). Some heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimators with improved finite sample properties. *Journal of Econometrics*, *29*(3), 305–325. doi: 10.1016/0304-4076(85)90158-7

Maisonobe, M., Grossetti, M., Milard, B., Eckert, D., y Jégou, L. (2016). The global evolution of scientific collaboration networks between cities (1999–2014). *Revue française de sociologie*, *57*(3), 417–441. doi: 10.3917/rfs.573.0417

Makkonen, T., Merisalo, M., y Inkinen, T. (2018). Containers, facilitators, innovators? The role of cities and city employees in innovation activities. *European Urban and Regional Studies*, *25*(1), 106–118. doi: 10.1177/0969776417691565

Malerba, F., y Orsenigo, L. (2000). Knowledge, innovative activities and industrial evolution. *Industrial and Corporate Change*, *9*(2), 289–314. doi: 10.1093/icc/9.2.289

Marchetti, D., Oliveira, R., y Figueira, A. R. (2019). Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context. *Cities*, *92*, 197–207. doi: 10.1016/j.cities.2019.04.001

Marshall, A. (1879). *The Pure Theory of Domestic Values*. London: London School of Economics and Political Science.

Martin, R. (1999). The new 'geographical turn' in economics: some critical reflections. *Cambridge Journal of Economics*, *23*(1), 65–91. doi: 10.1093/cje/23.1.65

Martin, R., y Sunley, P. (2006). Path dependence and regional economic evolution. *Journal*

*of Economic Geography*, *6*(4), 395–437. doi: 10.1093/jeg/lbl012

Martin, R., y Sunley, P. (2007). Complexity thinking and evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, *7*(5), 573–601. doi: 10.1093/jeg/lbm019

Martinus, K., Sigler, T., Iacopini, I., y Derudder, B. (2021). The brokerage role of small states and territories in global corporate networks. *Growth and Change*, *52*(1), 12–28. doi: 10.1111/grow.12336

Mewes, L., y Broekel, T. (2020). Technological complexity and economic growth of regions. *Research Policy*, 104156. doi: 10.1016/j.respol.2020.104156

Miguelez, E., y Moreno, R. (2015). Knowledge flows and the absorptive capacity of regions. *Research Policy*, *44*(4), 833–848. doi: 10.1016/j.respol.2015.01.016

Monath, N., Jones, C., y Madhavan, S. (2021). *PatentsView: Disambiguating Inventors, Assignees, and Locations* (Inf. Téc. n.º July). Arlington, VA: American Institutes for Research.

Monath, N., y McCallum, A. (2015). Discriminative hierarchical coreference for inventor disambiguation. En *Patentsview inventor disambiguation technical workshop, uspto, alexandria, va.*

Montaño, S. H., y González, E. D. (2007). La producción y el uso del conocimiento en México y su impacto en la innovación: análisis regional de las patentes solicitadas. *Análisis Económico*, *22*(50), 185–217.

Montero, L., y García, J. (2017). *Panorama multidimensional del desarrollo urbano en América Latina y el Caribe* (Inf. Téc.). Santiago de Chile: ECLAC.

Montgomery, C. A. (1994). Corporate Diversification. *Journal of Economic Perspectives*, *8*(3), 163–178.

Montobbio, F., y Sterzi, V. (2011). Inventing together: exploring the nature of international knowledge spillovers in Latin America. *Journal of Evolutionary Economics*, *21*(1), 53–89. doi: 10.1007/s00191-010-0181-5

Morales Valera, R. M., y Sifontes, D. A. (2014). Las patentes como resultado de la cooperación en l+D en américa latina: Hechos y desafíos. *Investigación y Desarrollo*, *22*(1), 22–38.

Morisson, A. (2019). Knowledge Gatekeepers and Path Development on the Knowledge Periphery: The Case of Ruta N in Medellin, Colombia. *Area Development and Policy*, *4*(1), 98–115. doi: 10.1080/23792949.2018.1538702

Mowery, D. C., y Oxley, J. E. (1995). Inward technology transfer and competitiveness: the role of national innovation systems. *Cambridge Journal of Economics*, *19*(1), 67-93. doi: 10.1093/oxfordjournals.cje.a035310

Muneepeerakul, R., Lobo, J., Shutters, S. T., Goméz-Liévano, A., y Qubbaj, M. R. (2013). Urban Economies and Occupation Space: Can They Get "There" from "Here"? *PLoS ONE*, *8*(9), e73676. doi: 10.1371/journal.pone.0073676

Neal, Z. P. (2012). The connected city: How networks are shaping the modern metropolis.

*The Connected City: How Networks are Shaping the Modern Metropolis*, 1–253. doi: 10.4324/9780203101728

Neal, Z. P. (2013). Identifying statistically significant edges in one-mode projections. *Social Network Analysis and Mining*, *3*(4), 915–924. doi: 10.1007/s13278-013-0107-y

Neal, Z. P. (2014). The backbone of bipartite projections: Inferring relationships from co-authorship, co-sponsorship, co-attendance and other co-behaviors. *Social Networks*, *39*(1), 84–97. doi: 10.1016/j.socnet.2014.06.001

Neffke, F., y Henning, M. (2013). Skill relatedness and firm diversification. *Strategic Management Journal*, *34*(3), 297–316. doi: 10.1002/smj.2014

Neffke, F., Henning, M., y Boschma, R. (2011). How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions. *Economic Geography*, *87*(3), 237–265. doi: 10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x

Neffke, F., Otto, A., y Weyh, A. (2017). Inter-industry labor flows. *Journal of Economic Behavior and Organization*, *142*, 275–292. doi: 10.1016/j.jebo.2017.07.003

Nelson, R. R., y Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, *6*(1), 36–76. doi: 10.1016/0048-7333(77)90029-4

Nelson, R. R., y Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard Business School Press, Cambridge.

Nepelski, D., y De Prato, G. (2015). Corporate control, location and complexity of ICT R&D: A network analysis at the city level. *Urban Studies*, *52*(4), 721–737. doi: 10.1177/0042098014534735

Niembro, A. (2020). Las disparidades entre los sistemas regionales de innovación en Argentina durante el periodo 2003-2013. *Economía Sociedad y Territorio*, *20*(62), 781–816. doi: 10.22136/est20201381

Obstfeld, D. (2005). Social Networks, the Tertius Iungens Orientation, and Involvement in Innovation. *Administrative Science Quarterly*, *50*(1), 100–130. doi: 10.2189/asqu.2005.50.1.100

Owen-Smith, J., y Powell, W. W. (2004). Knowledge Networks as Channels and Conduits: The Effects of Spillovers in the Boston Biotechnology Community. *Organization Science*, *15*(1), 5–21. doi: 10.1287/orsc.1030.0054

Pain, K., y Shi, S. (2021). Cities, networks, polycentrism: examining the place of polycentrism in spaces of flows. En Z. P. Neal y C. Rozenblat (Eds.), *Handbook of cities and networks* (p. 493). Edward Elgar Publishing.

Parrilli, M. D., y Alcalde Heras, H. (2016). STI and DUI innovation modes: Scientific-technological and context-specific nuances. *Research Policy*, *45*(4), 747–756. doi: 10.1016/j.respol.2016.01.001

Perruchas, F., Consoli, D., y Barbieri, N. (2020). Specialisation, diversification and the ladder of green technology development. *Research Policy*, *49*(3), 103922. doi: 10.1016/j.respol.2020.103922

Petralia, S., Balland, P.-A., y Morrison, A. (2017). Climbing the ladder of technological development. *Research Policy*, *46*(5), 956–969. doi: 10.1016/j.respol.2017.03.012

Pinheiro, F. L., Balland, P.-A., Boschma, R., y Hartmann, D. (2022). The dark side of the geography of innovation: relatedness, complexity and regional inequality in Europe. *Regional Studies*, 1–16. doi: 10.1080/00343404.2022.2106362

Pinheiro, F. L., Hartmann, D., Boschma, R., y Hidalgo, C. A. (2021). The time and frequency of unrelated diversification. *Research Policy*, 104323. doi: 10.1016/j.respol.2021.104323

Pintar, N., y Scherngell, T. (2022). The complex nature of regional knowledge production: Evidence on European regions. *Research Policy*, *51*(8), 104170. doi: 10.1016/j.respol.2020.104170

Polanyi, M. (1966a). The Logic of Tacit Inference. *Philosophy*, *41*(155), 1–18. doi: 10.1017/S0031819100066110

Polanyi, M. (1966b). *The tacit dimension*. London: University of Chicago Press.

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations* (First ed.). New York, NY: Free Press.

Pugliese, E., Cimini, G., Patelli, A., Zaccaria, A., Pietronero, L., y Gabrielli, A. (2019). Unfolding the innovation system for the development of countries: coevolution of Science, Technology and Production. *Scientific Reports*, *9*(1), 16440. doi: 10.1038/s41598-019-52767-5

Quatraro, F., y Usai, S. (2017). Knowledge flows, externalities and innovation networks. *Regional Studies*, *51*(8), 1133–1137. doi: 10.1080/00343404.2017.1337884

Rama, C., y Cevallos, M. (2016). Nuevas dinámicas de la regionalización universitaria en América Latina. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, *8*(17), 99. doi: 10.11144/Javeriana.m8-17.ndru

Rantisi, N. M. (2002). The Local Innovation System as a Source of 'Variety': Openness and Adaptability in New York City's Garment District. *Regional Studies*, *36*(6), 587–602. doi: 10.1080/00343400220146740

Rapini, M. S., da Motta e Albuquerque, E., Chaves, C. V., Silva, L. A., de Souza, S. G. A., Righi, H. M., y da Cruz, W. M. S. (2009). University–industry interactions in an immature system of innovation: evidence from Minas Gerais, Brazil. *Science and Public Policy*, *36*(5), 373–386. doi: 10.3152/030234209X442016

Reis, R. C., Gonçalves, E., y Taveira, J. G. (2018). Determinants of inventive collaborations in Brazilian interregional and international networks. *Revista Brasileira de Inovação*, *17*(2), 287–316. doi: 10.20396/rbi.v17i2.8649987

Rigby, D. L. (2015). Technological Relatedness and Knowledge Space: Entry and Exit of US Cities from Patent Classes. *Regional Studies*, *49*(11), 1922–1937. doi: 10.1080/00343404.2013.854878

Rigby, D. L., Roesler, C., Kogler, D. F., Boschma, R., y Balland, P.-A. (2022). Do EU regions

benefit from Smart Specialisation principles? *Regional Studies*, *56*(12), 2058–2073. doi: 10.1080/00343404.2022.2032628

Ríos-Flores, J. A., y Ocegueda Hernández, J. M. (2018). Effects of innovative capacity on the economic growth of the states in Mexico. *Estudios Fronterizos*, *19*. doi: 10.21670/ref.1813013

Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128* (First ed.). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Schilling, M. A., y Phelps, C. (2007). Interfirm Collaboration Networks: The Impact of Large-Scale Network Structure on Firm Innovation. *Management Science*, *53*(7), 1113–1126. doi: 10.1287/mnsc.1060.0624

Schuknecht, L., y Siegerink, V. (2020). The political economy of the G20 agenda on financial regulation. *European Journal of Political Economy*, *65*, 101941. doi: 10.1016/j.ejpoleco.2020.101941

Schulz, N. (2020). The politics of export restrictions: A panel data analysis of African commodity processing industries. *World Development*, *130*, 104904. doi: 10.1016/j.worlddev.2020.104904

Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development – An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle.* (R. Opie, Traduc.). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Schumpeter, J. A. (1943). *Capitalism, Socialism and Democracy*. London: Allen and Unwin.

Sigler, T. J., y Martinus, K. (2017). Extending beyond 'world cities' in World City Network (WCN) research: Urban positionality and economic linkages through the Australia-based corporate network. *Environment and Planning A: Economy and Space*, *49*(12), 2916–2937. doi: 10.1177/0308518X16659478

Sigler, T. J., Neal, Z. P., y Martinus, K. (2022). Brokerage as an urban and regional process between systems and scales. *Regional Studies*, 1–6. doi: 10.1080/00343404.2022.2093343

Simmie, J., Sennett, J., Wood, P., y Hart, D. (2002). Innovation in Europe: A Tale of Networks, Knowledge and Trade in Five Cities. *Regional Studies*, *36*(1), 47–64. doi: 10.1080/00343400120099852

Sorenson, O., Rivkin, J. W., y Fleming, L. (2006). Complexity, networks and knowledge flow. *Research Policy*, *35*(7), 994–1017. doi: 10.1016/j.respol.2006.05.002

Strumsky, D., y Thill, J.-C. (2013). Profiling U.S. metropolitan regions by their social research networks and regional economic performance. *Journal of Regional Science*, *53*(5), 813–833. doi: 10.1111/jors.12048

Uzzi, B., y Spiro, J. (2005). Collaboration and Creativity: The Small World Problem. *American Journal of Sociology*, *111*(2), 447–504. doi: 10.1086/432782

van der Wouden, F. (2022). Are Chinese cities getting smarter in terms of knowledge and

technology they produce? *World Development*, *150*, 105729. doi: 10.1016/j.worlddev .2021.105729

van der Wouden, F., y Rigby, D. L. (2019). Co-inventor networks and knowledge production in specialized and diversified cities. *Papers in Regional Science*, *98*(4), 1833–1853. doi: 10.1111/pirs.12432

Verginer, L., y Riccaboni, M. (2020). Cities and countries in the global scientist mobility network. *Applied Network Science*, *5*(1), 38. doi: 10.1007/s41109-020-00276-0

Wasserman, S., y Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8; Null, Ed.). Cambridge University Press.

Watts, D. J., y Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, *393*(6684), 440–442. doi: 10.1038/30918

Wen, H., Zhang, Q., Zhu, S., y Huang, Y. (2021). Inter- and intra-city networks: how networks are shaping China's film industry. *Regional Studies*, *55*(3), 533–545. doi: 10.1080/00343404.2020.1807492

Whittle, A., y Kogler, D. F. (2020). Related to what? Reviewing the literature on technological relatedness: Where we are now and where can we go? *Papers in Regional Science*, *99*(1), 97–113. doi: 10.1111/pirs.12481

WIPO. (2018). *World Intellectual Property Indicators 2018* (Vol. 1). Geneva: World Intellectual Property Organization. doi: 10.34667/tind.28222

Wolfe, D. A., y Gertler, M. S. (2004). Clusters from the Inside and Out: Local Dynamics and Global Linkages. *Urban Studies*, *41*(5-6), 1071–1093. doi: 10.1080/00420980410001675832

Yao, L., Li, J., y Li, J. (2020). Urban innovation and intercity patent collaboration: A network analysis of China's national innovation system. *Technological Forecasting and Social Change*, *160*, 120185. doi: 10.1016/j.techfore.2020.120185

Yoguel, G., y Robert, V. (2010). Capacities, Processes, and Feedbacks: The Complex Dynamics of Development. *Seoul Journal of Economics*, *23*(2), 187–237.

Youn, H., Strumsky, D., Bettencourt, L. M. A., y Lobo, J. (2015). Invention as a combinatorial process: evidence from US patents. *Journal of The Royal Society Interface*, *12*(106), 20150272. doi: 10.1098/rsif.2015.0272

Zhu, S., He, C., y Zhou, Y. (2017). How to jump further and catch up? Path-breaking in an uneven industry space. *Journal of Economic Geography*, 521–545. doi: 10.1093/jeg/lbw047

# Índice de figuras

2.1. Red de colaboración entre ciudades de América Latina . . . . . 26

3.1. Dos tipos de intermediario: a la izquierda una representación de agujero estructural y a la izquierda de un gatekeeper. La ciudad intermediaria está representada por el nodo rojo, el óvalo rojo de la derecha representa la región de América Latina y el óvalo azul representa otras regiones del mundo. . . 40
3.2. Red de conocimiento de las ciudades latinoamericanas. Los nodos negros representan ciudades situadas en América Latina, los nodos grises representan ciudades situadas fuera de la región. Los nodos aislados (es decir, las ciudades sin ninguna conexión) no están representados. . . . . 49
3.3. Clasificación de las ciudades según el índice de complejidad del conocimiento 50
3.4. Clasificación de las ciudades según su posición de gatekeeper . . . . . 50

4.1. . . . . 66
4.2. Efectos marginales de *estabilidad* y *alternativas*, en el modelo de la ecuación 4.5, medidos en los valores observados en los datos y ordenados por densidad de cercanía. . . . . 79
4.3. Efectos marginales de *estabilidad* y *alternativas*, en el modelo de la ecuación 4.6, medidos en los valores observados en los datos y ordenados por complejidad . . . . . 80

A.1. Análisis del número necesario de factores . . . . . 94

# Índice de cuadros


2.1. Indicadores de red. . . . . 23
2.2. Características de la red entre ciudades . . . . . 26
2.3. Regresiones binomiales negativas: Modelos 1, 2 y 3 . . . . . 27
2.4. Regresiones binomiales negativas: Modelos 4, 5 y 6 . . . . . 29
2.5. Regresiones binomiales negativas: Modelos 7, 8, 9 y 10 . . . . . 30

3.1. Variables . . . . . 47
3.2. Asociación de los agujeros estructurales con la complejidad de conocimiento de las ciudades . . . . . 51
3.3. Asociación de los gatekeepers con la complejidad de conocimiento de las ciudades . . . . . 52

4.1. Información a nivel de países, en orden decreciente por la cantidad de patentes. La misma patente se puede contar en más de un país, por lo cual el total es mayor que las 20.207 consideradas. Población por país tomada del Banco Mundial para 2018. . . . . 72
4.2. Ciudades, por país, consideradas en el análisis econométrico . . . . . 72
4.3. Resultados de las estimaciones econométricas para los modelos de las ecuaciones 4.5 y 4.6. Para simplificar la lectura se omiten los sub índices pero, como se explicó en esta sección, todas las variables independientes se utilizan rezagadas. Las estimaciones se realizan usando un modelo lineal generalizado, de tipo logit. En la tabla C.1 del anexo C se presentan otras especificaciones realizadas como ejercicio de robustez. . . . . 77

A.1. Análisis de correlación. . . . . 93
A.2. Resultados del análisis del factor de inflación de la varianza (FIV) para modelos seleccionados. . . . . 93
A.3. MSA para cada variable. En el análisis de la adecuación factorial Kaiser-Meyer-Olkin el MSA general es de 0.8 . . . . . 94
A.4. Test de Bartlett de homogeneidad de varianzas . . . . . 94
A.5. Ciudades de Latinoamérica incluidas en las redes. . . . . 95

A.6. Estadísticas descriptivas y análisis de correlación de las variables consideradas en los modelos econométricos. . . . . 96

B.1. Dimensiones relevantes de las ciudades consideradas, por ventanas temporales. 97

B.2. Estadísticos seleccionados de la red de ciudades, para cada ventana. El grado medio es el promedio de vínculos de cada ciudad, y el desvío de grado es el desvíos estándar de dicha distribución. La variable Componentes cuenta la cantidad de grupos de ciudades desconectadas del resto. La transitividad de la red mide la proporción de triángulos formados, entre los posibles. La asortatividad es una medida de homofilia/heterofilia de la red y, en este caso, se mide mide entre ciudades de Latino América y no Latino América. La densidad de vínculo la proporción de vínculos creados, entre los posibles. . 98

B.3. Ciudades por país y ventana temporal. En la tabla se indica el porcentaje de patentes de cada país que es considerado en cada ventana al tener en cuenta solo las de las ciudades seleccionadas. . . . . 99

C.1. Estimación de los efectos marginales, por métodos numéricos, para los modelos de las ecuaciones 4.5 y 4.6. Para cada variable el coeficiente representa el efecto marginal promedio, considerando a las restantes variables en sus valores observados. Para simplificar la lectura se omiten los sub índices pero todas las variables independientes se utilizan rezagadas. . . . . 101

C.2. En esta tabla los modelos 4 y 5 corresponden a los modelos 1 y 2 de la tabla 4.3, los cuales fueron usados para contrastar las hipóteis. Los modelos 1 a 3 muestran los resultados de incluir una a una las variables de densidad de cercanía, estabildiad y alternativas, sin considerar interacciones. . . . . 102

C.3. En esta tabla los modelos 3 y 4 corresponden a los modelos 1 y 2 de la tabla 4.3, los cuales fueron usados para contrastar las hipóteis. Los modelos 1 y 2 muestran los resultados de incluir una a una las variables de densidad de estabilidad y alternativas, así como también las interacciones entre ellas y con la densidad de cercanía. . . . . 103

C.4. En esta tabla el modelo 7 se corresponde con el modelo 2 presentado en la tabla 4.3. Los modelos 1 a 6 consideran las distintas combinaciones posibles de los tres efectos fijos utilzados. . . . . 104