

Transferencia tecnológica e innovación sectorial en México

Technology transfer and sectorial innovation in Mexico

Recibido: 11/julio/2022; aceptado: 14/diciembre/2022; publicado: 20/mayo/2023

<https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2023v38n98/Diaz>

*Héctor Eduardo Díaz Rodríguez**

*Mario Alberto Morales Sánchez***

RESUMEN

El presente estudio versa sobre la transferencia de conocimiento y la innovación en México. Parte de la idea de que uno de los insumos fundamentales de la innovación, es la capacidad para crear y transferir conocimiento. Así, la innovación depende de la forma en la que se crea y fluye el conocimiento dentro de los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI). Mediante las metodologías de teoría de grafos, econometría y análisis de clúster, se demuestra que México posee una capacidad limitada para generar y transferir conocimiento y su SNI se encuentra desarticulado, por lo que su tasa de innovación tecnológica es baja. Sin embargo, ello no implica que no exista innovación, antes bien, esta se encuentra focalizada en algunos sectores tecnológicamente avanzados y de muy alta productividad, lo que da lugar a la existencia de diferentes estilos de innovación. Se concluye que sin una política industrial orientada a la articulación del SNI, que contemple mayor gasto en Innovación y Desarrollo Tecnológico (IDT), México seguirá con pobres crecimientos económicos en el largo plazo.

Palabras clave: Transferencia tecnológica; Innovación; Investigación y Desarrollo Tecnológico; Teoría de grafos.

Clasificación JEL: O31; O38; C19.

ABSTRACT

This study is about knowledge transfer and innovation in Mexico. Consider the hypothesis that one of the fundamental inputs of innovation is the ability to create and transfer knowledge. Thus, innovation depends on the way in which knowledge is created and flows within National Innovation Systems (NIS). Using graph theory, econometrics and cluster analysis, it is shown that Mexico has a limited capacity to generate and transfer knowledge and its NIS is disjointed, and in consequence its rate of technological innovation is low. However, this does not imply that there is no innovation, but rather that it is focused on some technologically advanced and high-productivity sectors, giving rise to different styles of innovation. It is concluded that without an industrial policy oriented to the articulation of the NIS, which considers



Esta obra está protegida bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

* Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Economía. Correo electrónico: hectoruardo12@comunidad.unam.mx

** Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Economía. Correo electrónico: albertoms@economia.unam.mx

higher spending on Innovation and Technological Development (ITD), Mexico will continue with poor economic growth in the long term.

KeyWords: Technology transfer; Innovation; Research and Technological Development; Graph theory.

JEL Classification: O31; O38; C19.

INTRODUCCIÓN

Recientemente, diversas teorías económicas parecen converger en la premisa de la importancia de la innovación tecnológica como factor fundamental del crecimiento económico de largo plazo. Desde estas perspectivas, los procesos de innovación llevados a cabo en contextos geográficos e institucionales específicos son los que explican la aparición, ampliación y persistencia de trayectorias exitosas de crecimiento (Fagerberg, 1987; Fagerberg y Verspagen, 2002; Helpman, 2007; OECD, 2011). Son aquellos países capaces de generar altas tasas de innovación los que han logrado reducir la brecha de desarrollo con respecto a los líderes tecnológicos (OECD, 2010; 2011).

De esta forma, la innovación tecnológica es un proceso dinámico y endógeno dentro de un sistema complejo, articulado por distintos actores dotados con la capacidad de aprendizaje y que tienen intereses igualmente diversos. En ella influyen factores que van desde la capacidad inventiva de las empresas, hasta aspectos sociales, culturales, de mercado, de diseño de leyes y reglas, etcétera. En esa dirección, la innovación es concebida como el resultado colectivo de las formas en las que se organiza e incrementa el conocimiento en las empresas y en la sociedad (Dosi y Cimolli, 1994; Pérez, 2010; UNCTAD, 2021).

Esa organización en las sociedades modernas adquiere la forma de arreglos institucionales, que representan la estructura de incentivos de una sociedad y, en consecuencia, son los determinantes básicos del desempeño económico (North, 1994). La conjunción de los enfoques anteriores dio origen a la concepción teórica de los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI). En este sentido, Freeman (1987) establece que el SNI puede conceptualizarse como una red de instituciones públicas y privadas cuya función es principalmente la de promover e impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías; Mientras que Lundvall, (1992) plantea una idea más amplia al considerar que todo resultado innovador es una consecuencia directa de un proceso previo de aprendizaje organizacional, por lo que el SNI se encuentra conformado por todos los aspectos de la estructura económica y del entramado institucional que afectan dichos procesos de aprendizaje (Watkins, Papaioannou, Mugwagwa & Kale, 2015; Fagerberg, Lundvall & Srholec, 2018).

Los Sistemas Nacionales de Innovación no se mantienen al margen de los cambios ocurridos en las trayectorias económicas. Ocurre por lo regular lo contrario; aquellas modifican y determinan las trayectorias generales de los SNI y estos a su vez ejercen influencia en las trayectorias de crecimiento. En esa dirección, los cambios acaecidos a lo largo de los últimos 40 años en términos de la liberalización de los flujos comerciales, financieros y de conocimiento, han impactado las propias estructuras de los SNI.

En este periodo, el papel de las transferencias tecnológicas entre países se ha modificado de manera sustancial. Absorber los conocimientos técnicos del extranjero, importando maquinaria, conocimiento, tecnología e incluso, científicos y empresarios supone menos esfuerzo que desarrollar los conocimientos necesarios para su creación a partir de cero (Dosi y Cimolli, 1994). La absorción de conocimiento generado por otras organizaciones, sean estas otras empresas, centros de innovación y desarrollo, etc., es de suma importancia para la constitución de un SNI funcional con el desarrollo tecnológico (Cohen y Levinthal, 1990; Fagerberg, Lundvall & Srholec, 2018).

El proceso de creación y absorción de conocimiento en gran medida depende del llamado aprendizaje organizacional; es decir, el proceso mediante el cual los sujetos dentro de una organización adquieren y transforman la información interna y externa para generar patrones comunes de comportamiento y acción que se difunden y generalizan en toda la organización (Dosi, Faillo y Marengo, 2003; Fagerberg, Lundvall & Srholec, 2018).

No hay razón para suponer que los SNI son cerrados y no establecen relaciones simbióticas con otros sistemas de innovación. De la dirección de los flujos y la fuerza con la que ello ocurra, dependerá de la fortaleza o debilidad de cada sistema, ya sea para generar, absorber y transmitir conocimiento e innovación, o para subordinarse y depender de él.

Considerando los elementos anteriores, el presente estudio tiene como objetivo profundizar en la comprensión de las características particulares del Sistema Nacional de Innovación en México, primero, mediante el análisis de la matriz de transferencia tecnológica, y segundo, a través del análisis de la forma en la que ocurren los procesos de innovación a nivel de subsector. Ello permite establecer que existen diferentes “estilos de innovación” al interior de la economía mexicana.

Parte de la hipótesis de que la falta de desarrollo de capacidades endógenas y un Sistema Nacional de Innovación desarticulado, es un determinante fundamental de que México en términos agregados sea importador neto de conocimiento; sin embargo, ello no excluye la posibilidad de que existan sectores con altos niveles de inversión en Investigación y Desarrollo Tecnológico con alta capacidad innovadora.

Para tales fines, este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección uno se hace un análisis de la evolución del concepto de innovación hasta llegar a la moderna concepción del término y de sus factores determinantes. Ello permite establecer el marco analítico y teórico que sirve de soporte de este estudio. En la sección dos se ofrece una descripción de la metodología a utilizar, concretamente teoría de grafos, econometría y análisis de conglomerados. En la sección tres se analizan los resultados de la aplicación metodológica para, en la última sección, ofrecer las conclusiones y algunas posibles opciones iniciales de política pública.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Fue Joseph Schumpeter (1994) quien estableció de manera inicial que la innovación es el centro de crecimiento de las economías capitalistas; conceptualizaba a la innovación como un proceso endógeno que tiene lugar en condiciones de desequilibrio (Barletta, Pereira y Yoguel, 2013). El fenómeno de la innovación es llevado a cabo desde esta perspectiva por los empresarios emprendedores que llevan a cabo nuevas combinaciones de factores e insumos con la finalidad de obtener rentas extraordinarias.

Cuando ello ocurre, surgen nuevas formas de producir más eficientes que las anteriores, lo que impide la caída de la productividad marginal de los factores productivos. En ese punto hay rentas extraordinarias en favor de los empresarios innovadores y algunas empresas comienzan a adoptar las nuevas tecnologías de manera generalizada, mientras que otras, incapaces de competir, salen del mercado (Schumpeter, 1939).

Las ideas y conceptos desarrollados por Schumpeter serían retomados varios años después por Nelson y Winter (1982), quienes, junto con otros autores, desarrollarían conceptos claves para la moderna teoría de la innovación, tales como los de rutinas, reglas y capacidades tecnológicas, procesos de difusión tecnológica ligados a formas de competencia y sistemas de innovación.

Un elemento fundamental para entender la teoría de la innovación desde la perspectiva de Nelson y Winter (1982) es el concepto de rutinas, que son concebidas como patrones regulares, coordinados y predecibles en el comportamiento de las empresas. Las rutinas representan en sí mismas, habilidades de las organizaciones. Al igual que los genes biológicos, las rutinas organizacionales son características persistentes, replicables y seleccionables (Harper, 2018). Sin embargo, no todas las rutinas desempeñan las mismas funciones para las organizaciones. Para Nelson y Winter (1982), son tres las rutinas más importantes; por un lado, se encuentran las rutinas operativas que facilitan el qué hacer cotidiano y operativo de las empresas y en ese sentido, rigen su comportamiento de corto plazo. En segundo lugar, se establecen las rutinas de inversión, que determinan el acervo de capital y la tecnología de largo plazo de la empresa.

Por último, existen las rutinas de búsqueda o investigación, que son las que permiten la generación de innovaciones en las firmas.

Sin embargo, el concepto de rutinas resulta insuficiente para comprender a cabalidad la actividad de la empresa en un entorno competitivo. Las empresas no basan su comportamiento únicamente en decisiones automáticas; de lo contrario, no tendrían la posibilidad de generar soluciones diferentes a problemas ya existentes, y soluciones nuevas para problemas inesperados (Mantzavinos, 2001; Vromen, 2006). Así, se establece un aspecto cognitivo de las empresas, que consiste en la coexistencia permanente entre las acciones conscientes y las que son inconscientes o rutinarias; en algunas ocasiones incluso las actividades automáticas se encuentran precedidas de una elección provista de intencionalidad. Por su parte, Antonelli (2008; 2014), plantea que la generación de innovaciones tecnológicas se basa en gran medida en respuestas creativas (deliberativas) impulsadas por cambios en el entorno. Por lo tanto, la concepción evolutiva que prioriza el comportamiento rutinario es insuficiente para comprender la conformación de estratégicas dinámicas por parte de las empresas en el mercado.

El concepto de capacidades, propuesto también por la teoría evolutiva, confiere un matiz distinto al de rutinas organizacionales para analizar el desempeño empresarial, quitando peso al elemento inconsciente de la actividad innovadora. La obtención de conocimiento y su transformación en nuevas tecnologías, requiere el desarrollo de un conjunto de habilidades que se adquieren mediante un esfuerzo consciente y orientado a la realización de metas específicas. Las habilidades necesarias para utilizar el conocimiento tecnológico mediante esfuerzos de asimilación, uso, adaptación y cambio de las tecnologías existentes, es lo que se conoce como “capacidades tecnológicas” (Kim, 1997). De acuerdo con este autor las capacidades tecnológicas se subdividen en cuatro elementos esenciales, que denotan subconjuntos específicos de generación de habilidades necesarias para llevar a cabo procesos de cambio tecnológico.

El primero de ellos se denomina “capacidades de producción” y refiere todas aquellas capacidades necesarias para lograr una operación eficiente de la planta dentro de los parámetros tecnológicos habituales y para mantener y reparar el capital físico existente, así como las capacidades necesarias para adaptar y mejorar las tecnologías en uso en respuesta a las condiciones cambiantes del mercado. Implica también la realización de esfuerzos internos para absorber o imitar tecnologías de otras empresas.

El segundo son las “capacidades de inversión”, las cuales representan las habilidades necesarias para expandir la capacidad productiva y facilitar la generación de nuevos productos. Implica no solo la identificación, preparación y obtención de tecnología, sino también el diseño, la construcción y operación del equipo adquirido, así como la habilidad para realizar análisis internos de rentabilidad y viabilidad de nuevos proyectos y la capacidad ingenieril para ejecutarlos, coordinarlos y supervisarlos. El tercero se denomina “capacidades de vinculación” y refiere las habilidades necesarias para recibir y transmitir conocimiento por parte de otras empresas e instituciones tales como empresas proveedoras, empresas de servicios especializados, subcontratistas, consultores, institutos tecnológicos, etc. El cuarto lo constituyen las “capacidades de innovación” e implican el desarrollo de habilidades para crear nuevas tecnologías y ejecutarlas en la práctica.

La teoría de la innovación continuó evolucionando para incluir nuevos conceptos desarrollados en ámbitos teóricos circundantes, los cuales contribuyeron a considerar la generación de innovaciones como un proceso acumulativo y dependiente de la interacción de múltiples agentes, más que como el resultado de un esfuerzo aislado por parte de la empresa como agente innovador.

Sin duda, en este proceso intervienen tanto la audacia y pericia del empresario innovador, como el desarrollo de conocimiento científico y tecnológico realizado por científicos en centros de investigación. Pero también involucra la forma en la que fluye el conocimiento generado en las distintas esferas en las que se produce; es decir, la manera en la que se conectan los distintos actores del proceso de innovación (Nelson *et al.*, 2018).

Estos actores (empresas, empresarios, científicos, centros de investigación, etc.), poseen ciertas características que son importantes para desempeñar su función. Una de las más relevantes, es la capacidad de aprendizaje (Dosi, Faillo y Marengo, 2003; Hsu, Chen, Chiang & Shaffer, 2021). En esa dirección, la gestión del conocimiento representa un factor fundamental dentro de ese conjunto de capacidades, convirtiéndose en un elemento clave del aprovechamiento de las inversiones en I+D (Rigger, Meraz-Ruiz & Olague, 2021).

Ahora bien, el mantenimiento y realización de las actividades innovadoras requiere en el origen de financiamiento, y en el desenlace de que lo producido (conocimiento, productos o servicios nuevos, etc.), sean rentables en términos económicos para las empresas y socialmente redituables para el Estado. La forma en la que ocurre el financiamiento de actividades innovadoras depende de la percepción de oportunidades de ganancias por parte de las empresas y de la importancia que el Estado asigne a esas actividades como fuente de crecimiento.

La conjunción de los anteriores enfoques dio origen a la concepción teórica de los Sistemas Nacionales de Innovación (Chaminade, Lundvall & Haneef, 2018). Más allá de que el propio concepto implica concebir la innovación como resultado de fuerzas que actúan en un sistema, el hecho de que el acento sea puesto en una dimensión geográfica nacional obedece al hecho de que los Estados Nacionales han permitido el desarrollo de ambientes y entornos más o menos propicios para el desarrollo de instituciones que favorezcan la innovación (Mazzucato, 2013).

No se puede dejar de lado el hecho de que existen factores regionales (organizaciones locales, idiosincrasias localizadas, dotaciones de recursos, etc.), al interior de un país, que pueden establecer patrones y regularidades tan relevantes como los establecidos por los Estados Nación para la conformación de sistemas locales de innovación (Asheim, Grillitsch & Trippl, 2016), pero se asume como principio genérico que ello ocurre con mucha menor regularidad.

Para Lundvall y Johnson, (1994) y Marques, Braga, & Ratten, (2021), ello involucra tanto el nivel general de educación y destreza, capacidades de la fuerza laboral (variable similar a la de stock de capital humano de la teoría de crecimiento endógeno) la organización laboral, así como las relaciones industriales y de flujo de conocimiento, al igual que el sistema financiero y otras instituciones para financiarlas; es decir, la participación conjunta de actores como el Estado, el sector privado, las universidades y la sociedad civil para el desarrollo de procesos de transferencia tecnológica y generación endógena de conocimiento que se transforme de manera efectiva en un incremento de la capacidad de innovación (Marques, Braga, & Ratten, 2021; Pérez, 2019).

Si bien, hay aspectos generales y comunes en el proceso anteriormente descrito, también hay otros que son específicos y únicos, no replicables en contextos distintos en los cuales tienen origen. Ello da lugar a diferentes “estilos de innovación”, que no pueden ser entendidos a la luz de la generalidad, sino que requieren de un examen específico y estrictamente aplicable y válido para los actores, geografías y momento en el cual es realizado (Isaksen y Trippl, 2016).

A ello, es necesario sumar que muchas de las capacidades se adquieren a partir del vínculo con el sector externo, la intensidad en el uso de tecnología e incluso el tipo de políticas industriales seguidas previamente, y ello establece diferencias relevantes a nivel de sectores dentro de un mismo territorio (Carbajal y Almonte, 2017; Pérez, 2021).

II. DATOS Y METODOLOGÍA

La estrategia metodológica combina el uso varias técnicas de análisis, tales como análisis de grafos, análisis de clúster y econometría. El uso combinado de técnicas permite el análisis del fenómeno de estudio en distintas dimensiones. En principio, el análisis de grafos permite entender de manera sencilla y de forma visualmente clara el estado de la transferencia tecnológica en México a nivel agregado. El análisis macro es importante desde el punto de vista del dimensionamiento de fenómeno de estudio y muy valioso como insumo para el entendimiento del fenómeno; sin embargo, el análisis agregado puede ocultar datos relevantes a nivel de industrias que tienen distintos requerimientos de transferencia tecnológica, capacidad innovadora, niveles de inversión en IDT y otras variables relevantes (Carbajal y Almonte, 2017; Solleiro, Castañón & Martínez, 2020). Considerando lo anterior, el análisis de clúster nos permite entender y medir esas diferencias a nivel de subsector.

Por último, el análisis econométrico permite medir y establecer jerarquías entre las variables que ejercen impacto sobre los procesos de innovación en México, de tal suerte que el uso combinado de técnicas permite un análisis más detallado y la elaboración de diagnósticos más adecuados.

Datos de la ESIDET

Los datos utilizados para someter a contraste la hipótesis provienen de La Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico, publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La encuesta tiene como objetivo captar información relacionada con los recursos humanos y financieros que se destinan a las actividades de investigación y desarrollo tecnológico (IDT) en los sectores: productivo, privado no lucrativo, de educación superior y gobierno (INEGI, 2017), y representa el esfuerzo a nivel estadístico más importante en México por tratar de medir aspectos relacionados con la IDT y la innovación. Tiene representatividad a nivel nacional con un nivel de confianza superior al 90%, y permite la agregación de la información a nivel de estado de la república, tamaño de empresa y sector económico de la OECD.

La población objetivo de la encuesta son las empresas con más de 20 personas ocupadas, que laboran ya sea en el sector productivo o bien en instituciones de los sectores de educación superior, privado no lucrativo y de gobierno. La cobertura de temas de la ESIDET va desde características generales de la operación de las empresas, hasta preguntas específicas de innovación.

La metodología de cálculo de los indicadores se ajusta a lo establecido en la normatividad internacional establecida por la OECD (2015) en el Manual de Frascati y la OECD/EUROSTAT (2018) en el Manual de Oslo. La encuesta incluye información relacionada con la transferencia de tecnología. Esta puede ocurrir mediante la transferencia de técnicas o bien, de servicios.

Análisis de grafos

La teoría de grafos se considera una rama de la topología algebraica, inicialmente desarrollada por Euler. Un grafo puede ser definido como la relación funcional de un conjunto de puntos enlazados entre sí por segmentos que representan procesos o relaciones funcionales expresadas de forma matemática. Principalmente se utilizan para analizar las relaciones topológicas entre sus elementos (Cardozo, Gómez, y Parras; 2009).

La teoría de grafos encuentra múltiples aplicaciones prácticas, pero este artículo se concentra en aquellas relacionadas con las ciencias sociales (Wasserman y Faust, 1994). Con frecuencia, estas se utilizan para analizar propiedades estructurales de las relaciones que se analizan, de tal forma que permitan visualizar de manera sencilla las jerarquías, estructura, vínculos y dirección de las conexiones existentes

entre fenómenos. Este tipo de herramienta también permite predecir el comportamiento de los nodos (Robledo-Giraldo et.al., 2013).

De manera formal, un grafo en su versión más simple es una pareja ordenada de la forma $G = (N, E)$ en donde N representa un conjunto no vacío de vértices y E es un conjunto de enlaces en forma de aristas.

De acuerdo con Mitchell (2009), un grafo es un conjunto, no vacío, de objetos llamados nodos y una selección de conjuntos de vértices, llamados aristas que pueden poseer una dirección específica o no. Típicamente, un grafo se representa mediante una serie de puntos (los vértices) conectados por líneas (las aristas).

Los elementos constituyentes de la teoría de grafos son:

1. Aristas, que son las líneas que unen los vértices de un grafo. Por las características particulares de las aristas, estas se dividen en adyacentes, paralelas y cíclicas:
2. Vértices. Los vértices son los elementos que constituyen a un grafo; cada uno tiene una valencia característica, misma que corresponde al número de aristas que confluyen en dicho vértice.
3. Camino. Un camino es el conjunto de vértices que se interconectan por medio de aristas; se dice que dos vértices se encuentran conectados si es que existe un camino entre ellos.

Alternativamente, el grafo puede ser descrito con $G = (N, E)$ y donde $N = 5$ y $E = 6$, expresados como:

$$N = \{A, B, C, D, E\} \quad (1)$$

$$E = \{(A, C), (B, C), (C, D), (C, E), (D, B), (E, A)\} \quad (2)$$

Una manera alternativa de representar la relación del grafo 1, es mediante un modelo matricial, en donde la matriz W se denomina matriz de adyacencia o binaria. En ella, se representan los nodos en las filas y columnas. Si el elemento i está enlazado al elemento j entonces los elementos w_{ij} y w_{ji} tendrán el valor de 1, mientras que, si el vínculo es nulo o no existe, el componente de la matriz será cero; ello se debe a que la matriz de adyacencia es simétrica (tiene el mismo número de filas que de columnas) (Díaz, Morales y Sandoval, 2020).

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si } i, j \text{ están enlazados} \\ 0, & \text{si } i, j \text{ no están enlazados} \end{cases} \quad (3)$$

$i, j = 1, \dots, n$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$W_{ij} = W_{ji} \quad (5)$$

Una derivación de los grafos anteriormente descritos puede establecerse mediante las redes ponderadas. Este tipo de análisis permite mostrar los enlaces de manera valuada (Newman, 2018), de tal forma que cada uno representa una intensidad representada por un valor numérico; entre mayor es la intensidad de la asociación, mayor es la anchura del vínculo entre los nodos. De manera adicional, el tamaño de los nodos se asocia también con valores distintos en cada uno de los nodos.

Análisis de clúster

El análisis de clúster es una técnica estadística de análisis multivariado, que agrupa un conjunto de información, individuos o de variables en grupos o clústeres, de acuerdo con criterios definidos de distancia y similitud, de tal suerte que cada grupo queda integrado por unidades homogéneas y los grupos entre sí son

heterogéneos. La cercanía o distancia entre cada uno de los conglomerados, se establece en función de la distancia euclidiana medida como la raíz cuadrada de la suma de diferencias al cuadrado, de la forma:

$$D(X, Y) = \sqrt{\sum (X_i - Y_i)^2} \quad (6)$$

El tipo específico de análisis que aquí utilizamos es el de clúster de K-Medias; de acuerdo con Mackay (2003), este análisis cumple con un conjunto de características deseables para analizar conjuntos de información, como contar con poder de predicción, útil y fácil interpretación y los algoritmos de agrupamiento pueden servir como modelos de procesos de aprendizaje en los sistemas de redes neuronales.

El algoritmo del conglomerado de K-medias, permite agrupar N observaciones o datos pertenecientes a un espacio de I dimensiones, en K- clúster o conglomerados; cada clúster es parametrizado por un vector $M(k)$, que representa su media.

$$d(x, y) = \frac{1}{2} \sum (X_i - Y_i)^2 \quad (7)$$

El algoritmo de la ecuación 7 asigna a cada una de las observaciones a su media más próxima en dos etapas; primero el proceso de asignación, en el que cada dato n, es asignado a su media más próxima, de acuerdo con la función:

$$K^{(n)} = \operatorname{argmin}_k \{d(m^{(k)}, x^{(n)})\} \quad (8)$$

Segundo mediante la actualización, que consiste en estimar nuevas medias a partir de la incorporación de nuevos datos, a través de la ecuación:

$$m^{(k)} = \sum_k^{(n)} r X^{(n)} / r^{(k)} \quad (9)$$

donde $r(k)$ corresponde a la asignación de la media k:

$$r^{(k)} = \sum_k^{(n)} r \quad (10)$$

El proceso de iteración termina cuando todas las observaciones han sido asignadas a sus centros más próximos.

Regresión econométrica

El método de los mínimos cuadrados tiene algunas propiedades estadísticas que lo han convertido en uno de los métodos de análisis de regresión más poderosos y de uso corriente. En la presente investigación es el método que complementa el análisis de grafos y de clúster para dar una visión completa de las variables que inciden en la capacidad innovadora. De manera general, se establece que una variable se encuentra en función de un conjunto de variables teóricas de la forma:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k; \beta) \quad (11)$$

Cuando el tipo de relación que se establece entre las variables es una relación lineal, el modelo general adquiere la forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + u_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Donde:

$$\begin{aligned} y &= (y_1, y_2, \dots, y_n) \\ \beta &= (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \\ x &= \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} \\ u_i &= (u_1, u_2, \dots, u_3) \end{aligned}$$

Los parámetros β_i transmiten los efectos o impactos del conjunto de variables independientes x_i , sobre la variable dependiente y . Lo que se busca es que el conjunto de variables explicativas, se relacionen de manera cercana con la variable dependiente; en la medida en la que eso ocurra, el término de error u_i , tenderá a ser más pequeño.

El procedimiento de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), minimiza el error cuadrático de la función 13, mediante el procedimiento:

$$\min_{\beta_0, \beta_1, \beta_2} SRC(\beta_0, \beta_1, \beta_2) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i})^2 \quad (13)$$

III. RESULTADOS

Análisis de teoría de grafos de la matriz de transferencia tecnológica en México

Los elementos analizados en la revisión de la literatura dan cuenta de la complejidad en el análisis de los factores que, desde el punto de vista de los Sistemas Nacionales de Innovación, constituyen factores determinantes del dinamismo innovador (o falta de este) en una economía, en nuestro caso, la economía mexicana.

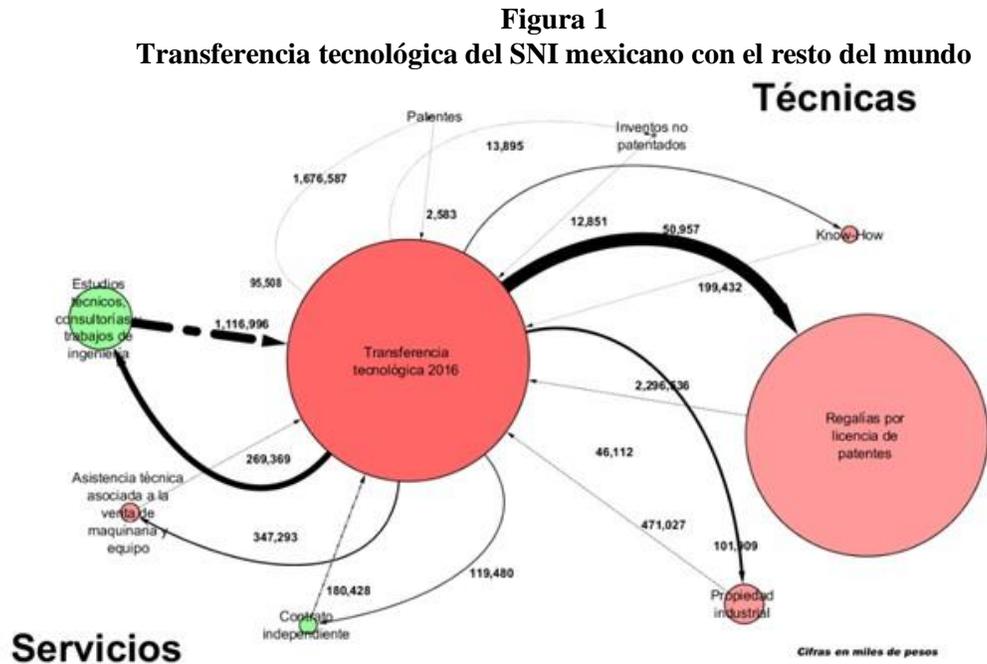
Uno de los primeros elementos que desde esa perspectiva resulta fundamental para entender a nivel agregado las particularidades de la innovación en México, es la forma en la que ocurre la transferencia de conocimiento. Ello permite analizar desde distintos niveles, la forma en la que se genera, transmite y absorbe el conocimiento científico y tecnológico, así como las formas específicas que adopta esa transferencia de conocimiento en al menos las siguientes dimensiones analíticas:

La relación del SNI de México con el resto del mundo, en términos de los montos de compras y ventas de la transferencia de conocimiento y tecnológica.

Las formas y dimensiones mediante las cuales ocurre la transferencia de tecnología y conocimiento (tipos de acuerdos de transferencia).

La dirección de cada una de esas formas de transferencia, que determina la proporción en la que un SNI es generador e importador al mismo tiempo, de conocimiento científico y tecnológico.

En esa dirección, la gráfica 1 muestra la aplicación de la teoría de grafos utilizando datos de la ESIDET, para cuantificar los flujos de transferencia tecnológica a nivel nacional, dividiéndolos en función del tipo de acuerdo comercial que da origen a la transacción. Las definiciones de cada uno de los nodos de acuerdo con el INEGI (2017) se han descrito en la sección Análisis de grafos



Fuente: Elaboración propia con datos de la ESIDET, INEGI, 2017, y el software Cytoscape.

La figura 1 muestra un SNI en México en una muy alta proporción deficitario en la relación exportación / importación de conocimiento.

Un círculo de color rojo (nodo) en la gráfica 1, representa déficit en la relación exportación/importación en ese rubro específico, mientras que un nodo verde representa superávit. Por su parte, el tamaño de la esfera mide la importancia relativa de ese rubro (en miles de pesos) con respecto al valor total de las transferencias tecnológicas.

El grosor de las líneas (aristas) miden el tamaño e importancia de cada uno de los flujos y la dirección de estos, en el sentido del nodo de origen y el nodo de destino. Una arista más gruesa indica un flujo mayor de un nodo hacia el otro. Por su parte, la dirección de la arista representa la dirección del flujo (arista continua para el caso de una salida de dinero y arista punteada para el caso de una entrada).

El nodo central representa la totalidad de recursos destinados a la transferencia tecnológica del SNI de México y los nodos adyacentes miden los rubros de origen y destino de esos flujos.

De manera específica, el grafo arroja la siguiente información: por un lado, el nodo más importante de la transferencia tecnológica en México se encuentra constituido por el pago de regalías y licencias por el uso de patentes, que representa, por mucho, el rubro más significativo de la matriz de transferencia. También se muestra que ese rubro es ampliamente deficitario, lo que implica que, para echar a andar una parte importante del aparato productivo en México, es necesario pagar regalías y licencias provenientes de innovaciones y técnicas que provienen del exterior.

El resto de los rubros es proporcionalmente inferior al licenciamiento y casi siempre deficitario para las variables analizadas. Solo existen tres rubros en los que México muestra un superávit en transferencia tecnológica; el mayor de ellos es el que corresponde a estudios técnicos, consultorías y trabajos de ingeniería, que consiste en la generación de conocimiento específico para la solución de problemas técnicos y científicos generado para clientes particulares (INEGI, 2017).

En este rubro, cobra especial importancia el trabajo realizado por centros públicos de investigación y universidades, que logran colaborar en proyectos internacionales, ya sea con organismos o empresas, para

la proveeduría de conocimiento especializado en alguna temática científica o tecnológica. Dichas entidades juegan un papel preponderante en la generación de conocimiento que pocas veces es aprovechado por organizaciones locales.

El segundo rubro (proporcionalmente menos significativo que el anterior) corresponde con contratos independientes; es decir, generalmente asistencia técnica que realizan algunas empresas para la solución de problemas específicos, que solicitan empresas extranjeras. El monto poco significativo de estas transferencias implica que son escasas las empresas nacionales que cuentan con las capacidades tecnológicas necesarias para generar productos basados en conocimiento que sean demandados por organizaciones internacionales.

Finalmente, el tercer rubro superavitario es el de inventos no patentados, que corresponde con conocimiento materializado en ciertos elementos técnicos que no han sido patentados por alguna razón, pero que son susceptibles de generar flujos monetarios para las empresas que los desarrollan. Cabe destacar que de los tres rubros superavitarios de transferencia tecnológica con que cuenta México, solo este último, el menos significativo en términos proporcionales, corresponde con el ámbito técnico o productivo, lo que muestra una clara falta de capacidades nacionales para generar nuevas combinaciones que se materialicen en la práctica.

De acuerdo con los datos presentados, la generación de conocimiento en México medido a través de la transferencia tecnológica con agentes externos es escaso, lo que implica una pobre articulación del sistema mexicano para fomentar la actividad inventiva. Si bien las patentes no reflejan todo el conocimiento que se genera en un sistema, lo que se muestra es que las organizaciones nacionales son altamente dependientes del conocimiento externo debido al menos a dos factores entrelazados: primero, el SNI en México no genera el conocimiento necesario para el desarrollo de innovaciones locales o, segundo, el sistema se encuentra en un grado tal de desarticulación que el conocimiento generado por agentes locales se aprovecha poco por los agentes dentro del mismo sistema.

Lo anterior, es apenas indicativo de una de las causas del lento crecimiento económico de México durante los últimos 40 años; de acuerdo con la teoría de la innovación, la transferencia tecnológica es uno de los factores clave para determinar el funcionamiento adecuado de los SNI. Puesto que la innovación tecnológica es, en última instancia, conocimiento materializado en nuevas técnicas y métodos (Rosenberg, 1982, Nelson *et al.*, 2018), y la acumulación de conocimiento es esencial para realizar el proceso de aprendizaje que dirige las diversas trayectorias tecnológicas (Antonelli, 2008), el flujo adecuado de conocimiento determina, en gran medida, el funcionamiento adecuado de un sistema de innovación y este de la capacidad de ese sistema para generar crecimiento.

Mientras esta situación prevalezca no habrá sinergia virtuosa entre los agentes locales que permita un desarrollo sólido del Sistema de Investigación a nivel nacional. La investigación sugiere que una de las razones de la falta de articulación entre los agentes generadores de conocimiento, es la inexistencia de políticas públicas anidadas en un marco institucional compatible con el desarrollo tecnológico del país.

El análisis del grafo 1 muestra también que la mayor parte de la transferencia tecnológica (cerca del 90%) ocurre a través del pago por el uso de técnicas, rubro en el que México es ampliamente deficitario, mientras que solo una pequeña parte del conocimiento es transferido por concepto de servicios (el 10% restante). Ello representa un indicador de la dependencia de México en cuanto a la generación de conocimiento. Si bien, los datos muestran información agregada para el conjunto de la economía mexicana, también son indicativos de lo que ocurre a nivel de sectores como el farmacéutico, el automotriz, e industrial en general, en donde México depende de la importación de diversas formas de conocimiento.

Una futura línea de estudio se establece en la investigación a nivel sectorial, para analizar cuáles de los sectores son más dependientes de la generación de conocimiento externo y facilitar el establecimiento de diagnósticos que permitan el desarrollo de políticas públicas sectoriales.

Análisis econométrico

A partir del análisis de grafos realizado y considerando lo expuesto en la revisión de la literatura, es posible analizar, dada la escasa generación de conocimiento interno mostrada, cuáles son los factores que determinan a nivel de subsector, la innovación tecnológica; para ello se realiza un análisis econométrico con datos de la ESIDET.

La teoría evolutiva de la innovación (véase revisión de la literatura), establece que la innovación tecnológica depende de un conjunto de factores interrelacionados, entre los que destacan el uso y apropiación de tecnología para el desarrollo de procesos productivos y de negocio de las empresas, los recursos invertidos para generar innovación y las capacidades de las organizaciones y de los agentes económicos.

Considerando lo anterior, se mide el nivel de innovación subsectorial, utilizando como variables explicativas el nivel de uso tecnológico, el gasto en investigación y desarrollo tecnológico, las capacidades organizacionales y la formación de recursos humanos. Las variables teóricas y las variables aproximadas de la ESIDET para el ejercicio se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1
Variables teóricas y proxys del modelo

VARIABLE TEÓRICA	VARIABLE PROXY ESIDET	NOMBRE
Innovación	Porcentaje de los ingresos de las empresas del subsector que provienen de la venta de productos mejorados o totalmente nuevos	Innova
Uso de tecnología	Inversión en tecnologías de la información y comunicación como porcentaje de la inversión total	TIC
Investigación y desarrollo tecnológico	Gasto en IDT como porcentaje del total de ingresos	IDT
	Personal dedicado a la IDT como porcentaje del total del empleo	PerIDT
Capacidades organizacionales	Existencia de un departamento de documentación de procesos	Proc
Capital humano	Gasto en formación de recursos humanos con doctorado como porcentaje del total de ingresos	RHD
	Gasto en formación de recursos humanos con maestría como porcentaje del total de ingresos	RHM
	Gasto en formación de recursos humanos con especialidad como porcentaje del total de ingresos	RHE

Fuente: Elaboración propia con variables de ESIDET.

Todas las variables fueron normalizadas (como porcentajes relativos de cada variable) para evitar distorsiones generadas por el tamaño del sector.

Dadas las relaciones teóricas mostradas en la revisión de la literatura, se espera que la relación entre innovación y cada una de las variables sea positiva, aunque con diferencias de grado. Así, se estima la siguiente función mediante mínimos cuadrados ordinarios:

$$\text{Innova} = \text{TIC} + \text{IDT} + \text{PerIDT} + \text{Proc} + \text{RHD} + \text{RHM} + \text{RHE} \quad (14)$$

Los resultados de la estimación se muestran en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2
Resultados generales del modelo 1

R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				Durbin-Watson
			Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
.776	.722	12.3395	14.332	7	29	.000	1.665

a. Predictores: (Constante), peridt, rhe, proc, rhd, tic, idt, rhm

b. Variable dependiente: innova

Fuente: Elaboración propia con datos de la ESIDET, INEGI, 2017

Cuadro 3
Resultados del modelo

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-5.08	4.84		-1.05	0.30	-14.97	4.81
rhe	3832.81	1499.33	0.23	2.56	0.02	766.34	6899.28
proc	24.04	11.06	0.24	2.17	0.04	1.42	46.65
tic	0.00	0.00	0.19	1.69	0.10	0.00	0.00
idt	0.00	0.00	0.39	3.44	0.00	0.00	0.00
peridt	21.92	27.27	0.08	0.80	0.43	-33.86	77.70
rhd	-73763.49	114158.25	-0.06	-0.65	0.52	-307243.32	159716.34
rhm	13737.33	9894.20	0.13	1.39	0.18	-6498.59	33973.25

a. Variable dependiente: innova

Fuente: Elaboración propia con datos de la ESIDET, INEGI, 2017

Como se puede apreciar, el modelo es estadísticamente significativo en su conjunto, con una relativamente alta bondad de ajuste (0.72) y no posee signos de autocorrelación serial de errores.

A nivel de las variables en lo individual, de las 7 variables explicativas, solo el porcentaje de empresas por subsector que poseen un departamento dedicado a la investigación y desarrollo tecnológico (variable IDT) y el número de organizaciones que cuentan con un departamento de documentación de procesos (variable PROC) resultaron ser estadísticamente significativas. Las variables ligadas a la calidad de los recursos humanos tales como porcentaje de empleados con doctorado y maestría (RHD, RHM, respectivamente), no son estadísticamente significativas; esta última variable muestra el signo contrario al esperado; solo la variable educativa de recursos humanos con especialidad resulta estadísticamente significativa. Por su parte, la variable de personal dedicado a IDT tampoco resultó tener significancia estadística.

Son varias las posibles razones que pueden explicar estos resultados; la primera de ellas se vincula al nivel de agregación de la información, que para el caso de la presente investigación es subsector. En ocasiones los promedios subsectoriales pueden esconder características importantes de las organizaciones en lo individual, por lo que el efecto de las variables explicativas puede difuminarse, sin que ello implique la inexistencia de innovación dentro de las organizaciones.

Otra probable explicación es que el porcentaje de las variables la fuerza de trabajo con altos niveles de escolaridad es tan bajo, que no alcanza a impactar a la variable de innovación o bien, que algunas de las funciones que desempeña la fuerza laboral no requiere de altos niveles de especialización, por lo que el impacto sobre la variable de innovación se difumina.

Considerando lo anterior, se corrió una nueva estimación, eliminando las variables que resultaron no ser estadísticamente significativas y dejando sólo aquellas que sí lo son a un nivel de 90%; Como resultado, se obtiene un mejor ajuste y un modelo que cumple con los supuestos de correcta especificación. Los resultados del nuevo modelo se muestran en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4
Resultados generales del modelo 2

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.909 ^a	.826	.783	10.8823

a. Predictores: (Constante), rhm, peridt, rhe, proc, rhd, idt, tic

Fuente: Elaboración propia con datos de la ESIDET, INEGI, 2017

Cuadro 5
Resultados del modelo 2

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	-6.158	4.698		-1.311	.199	-15.726	3.411
Rhe	3742.154	1438.595	.226	2.601	.014	811.832	6672.477
proc	24.295	10.931	.239	2.223	.033	2.030	46.560
Tic	.000	.000	.208	1.869	.071	.000	.001
Idt	.001	.000	.446	4.282	.000	.000	.001

a. Variable dependiente: innova

Fuente: Elaboración propia con datos de la ESIDET, INEGI, 2017

Los resultados muestran un modelo que logra explicar de forma relativamente correcta a la variable innovación (con los sectores OCDE como unidades de observación). Dada la magnitud de los coeficientes de estimación, se observa que la variable de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT) es la variable más robusta para explicar los procesos de innovación a nivel subsectorial. Por su parte, la variable de existencia de un departamento de documentación de procesos (que puede considerarse como proxy del nivel de madurez organizacional), incide significativamente en la explicación de la existencia de procesos de innovación.

Si bien estos resultados permiten delinear de manera general algunas de las variables que explican la existencia de procesos de innovación a nivel de subsector, cada uno de ellos posee características y particularidades que no son observables con los ejercicios econométricos propuestos, por lo que, para entender esas especificidades a nivel de subsector, se requiere de un análisis más detallado. Con la finalidad de analizar las similitudes y diferencias que guardan las actividades económicas en términos de la innovación, se recurre a continuación al análisis de clúster.

Análisis de clúster a nivel meso económico

Como queda claro en el análisis de grafos, el SNI en México es importador neto de conocimiento del exterior. Ello implica que las innovaciones generadas internamente y vendidas a otros SNI, son mucho menores con respecto a las innovaciones y conocimiento que México compra y absorbe del exterior. Siendo así, la pregunta inmediata que se trata de responder en esta investigación, es si ello implica que México es incapaz de innovar con esa estructura de sistema o bien, por el contrario, la innovación se encuentra localizada solo en algunas actividades inconexas que no alcanzan a permear en el conjunto de la economía. En esta sección, se responde a esa pregunta de investigación.

Para ello, se realiza un análisis de clúster con el objetivo de determinar si hay conjuntos de actividades económicas innovadoras, o no las hay y, en su caso, cómo se vinculan. Se utilizan datos por actividad económica provenientes de la ESIDET, con las variables siguientes: gasto en investigación y desarrollo tecnológico, ingresos provenientes de innovaciones, ingresos totales, inversión total, empleo,

número de empresas, inversión en activos fijos, inversión en TIC, e inversión en formación de personal. En principio, este tipo de análisis permite agrupar conjuntos de datos que comparten características que pueden no ser visibles en primera instancia. Los resultados del análisis de clúster con K-medias se muestran en el cuadro 6; los cálculos de las variables por clúster se encuentran en el Anexo (cuadros 7 y 8).

Cuadro 6
Análisis de Clúster

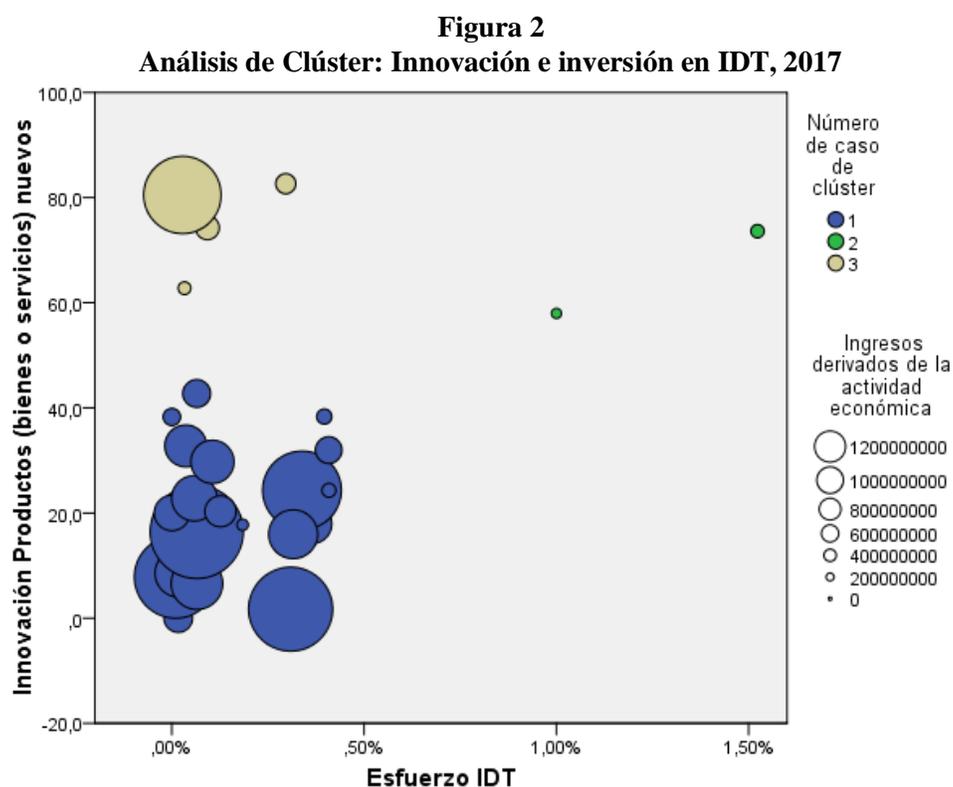
Historial de iteraciones ^a			
Iteración	Cambiar en centros de clústeres		
	1	2	3
1	.245	.054	.169
2	.011	0.000	.088
3	0.000	0.000	0.000

a. Convergencia conseguida debido a que no hay ningún cambio en los centros de clústeres o un cambio pequeño. El cambio de la coordenada máxima absoluta para cualquier centro es ,000. La iteración actual es 3. La distancia mínima entre los centros iniciales es 1,031.

Centros de clústeres finales			
	Clúster		
	1	2	3
Esfuerzo IDT Normalizado	.0761	1.000	.0737
Innovación normalizado	.2	.8	1.0

Fuente: Estimación propia con base en resultados de análisis de clúster con datos de la ESIDET, INEGI

La figura 2 muestra los resultados del análisis de clúster calculando 3 grupos. El tamaño de la burbuja representa los ingresos derivados de la actividad productiva, mientras que el color representa el clúster de pertenencia. Se pueden distinguir tres grandes conglomerados cuyo examen detallado se presenta a continuación.



Fuente: Elaboración propia con base en análisis de clúster con datos de ESIDET, INEGI, 2018.

Clúster 1. Baja investigación, y baja innovación

Por la concentración de empresas, empleo y otras variables que a continuación se detallan, el primer conglomerado tiene el peso relativo suficiente para explicar una parte muy importante del comportamiento agregado de la economía mexicana. En la figura 2 se encuentra marcado en color azul y se constituye por todas aquellas ramas que tienen un bajo esfuerzo en investigación y desarrollo tecnológico (IDT) y como resultado de ello, las ganancias generadas a partir de sus innovaciones representan una proporción relativamente pequeña de sus ingresos. Se integra por 32 sectores que representan el 93.6% de las empresas totales, el 91.3% del empleo y el 88.7% de los ingresos de las empresas de más de 20 empleados en México.

En términos de las variables relacionadas con la innovación y el desarrollo tecnológico, este conglomerado apenas invierte en promedio el 0.1% de sus ingresos en Investigación y Desarrollo Tecnológico (1 peso de cada 1,000 que genera), mientras que la inversión en Tecnologías de la Información y Comunicación también es relativamente baja (5.6% del total de su inversión en activos fijos).

Este conjunto de actividades tampoco genera inversiones relevantes en el desarrollo de capacidades de su fuerza laboral; de cada millón de pesos que genera en ingresos, apenas invierte 70 centavos en la formación de trabajadores con algún tipo de posgrado. Lo anterior, implica que prácticamente toda la formación de recursos e inversión en el desarrollo de capacidades formativas de los trabajadores, provienen de manera exclusiva de lo que pueda generar el Sistema Nacional de Innovación en México.

Las características de este conglomerado implican que 9 de cada 10 empresas en México no son innovadoras e invierten poco en generar conocimiento y el desarrollo de capacidades endógenas, hecho que, sin duda, determina una parte importante de la trayectoria de innovación de la economía en su conjunto.

Clúster 2. Actividades innovadoras y generadoras de conocimiento

A pesar de ser el clúster más pequeño tanto en número de empresas (1.2% del total), como en ingresos (0.47% del total) y empleo (0.6%), representa el conjunto de actividades más avanzadas en innovación y desarrollo tecnológico. Se encuentra integrado por solo dos sectores económicos¹, que tienen la característica de ser altamente innovadores, además de generar altos volúmenes de conocimiento mediante la inversión en IDT.

La intensidad de capital TIC puede ser utilizada como variable proxy de la intensidad tecnológica usada (activos TIC/total de activos). Para este conjunto de actividades, resulta ser muy alta en comparación con el resto de los conglomerados 27.5% contra 5.6 y 7.7%. Ello da cuenta de sectores tecnológicamente avanzados.

Las variables de innovación y desarrollo tecnológico de este conjunto de actividades económicas son atípicamente altas en relación con el resto. Como porcentaje de sus ingresos, invierten en promedio 60 veces más que el resto de los conglomerados para que su personal tenga estudios de posgrado, lo que habla de la importancia que el clúster asigna al desarrollo de capacidades endógenas.

Por otra parte, el número de firmas que cuentan con un departamento interno de IDT es 7 veces mayor que en el resto de los sectores, mientras que esfuerzo en IDT (gasto IDT/ingresos) es 12 veces mayor en relación con los demás conglomerados. Ello se ve reflejado, si bien por una ruta distinta, en la innovación que produce el clúster, en el que el 65% de sus ingresos, proviene del desarrollo y venta de productos y servicios totalmente nuevos.

Lo anterior da cuenta de un conjunto de actividades económicas tecnológicamente avanzadas, en donde las capacidades son un factor clave del aprovechamiento tecnológico y generadoras de conocimiento. Estos factores establecen una trayectoria o estilo de innovación distinto al resto de las actividades económicas. El tamaño del conglomerado hace que el impacto de este conjunto de actividades en la totalidad de la economía sea prácticamente insignificante.

Clúster 3. Innovación rentable e importación de conocimiento

El tercer clúster se encuentra integrado por 4 sectores², y puede denominarse como altamente innovador, pero con bajo esfuerzo IDT interno. Ese conglomerado se caracteriza por ser capaz de materializar en ingresos para la empresa, innovaciones que no requieren de grandes inversiones internas para ser desarrolladas; ello implica la existencia de capacidades para comercializar bienes y servicios que el mercado considera como “nuevos”, en donde los insumos de conocimiento para generar las innovaciones son principalmente importados.

Es un conglomerado integrado por empresas grandes, muchas de ellas filiales de firmas transnacionales que generan altos ingresos; ello se refleja en el hecho de que a pesar de concentrar solo el 5% de empresas, genera el 11% de los ingresos totales y el 8% del empleo nacional.

En términos de las variables de ciencia y tecnología, es un clúster que invierte poco en el desarrollo de este tipo de actividades (apenas 1 peso de cada 1,000 que genera en ganancias), pero es altamente innovador; el 75% de sus ingresos proviene de la venta de productos o servicios nuevos. Sin embargo, ello no deriva de esfuerzos en investigación internos, como lo muestra el hecho que apenas el 0.07% de las firmas que lo integran cuentan con un departamento interno dedicado a actividades de IDT.

¹ Los sectores OECD que integran este clúster son: 1. Computadoras y actividades relacionadas y 2. Investigación y desarrollo.

² Los sectores integrantes de este conglomerado son: 1. Intermediación financiera (incluyendo aseguradoras), 2. Madera y corcho (no muebles), 3. Maquinaria de oficina, contabilidad y computación, y 4. Pulpa, papel y productos de papel.

Tampoco se generan capacidades endógenas mediante la inversión en mayores niveles formativos de la fuerza de trabajo que lo integra; 1 peso de cada 900,000 que genera de ingresos lo invierte en este tipo de actividades.

Los datos anteriores muestran un estilo de innovación de este conjunto de actividades distinto de la ruta tradicional expuesta en la revisión de la literatura; importan conocimiento (más que generarlo internamente) y aprovechan las capacidades generadas al interior del SNI para producir innovaciones. Las empresas integrantes son capaces de materializar una alta proporción de las innovaciones en ingresos disponibles, que en promedio resultan ser los más altos comparados con el resto de los conglomerados.

La figura 2, muestra el comportamiento de los clústeres en términos de su capacidad de innovación y el esfuerzo en IDT. El tamaño de las burbujas mide los ingresos generados por cada sector económico y el color el conglomerado de pertenencia.

El análisis de clúster presentado en este apartado es congruente y refuerza los resultados obtenidos a partir del análisis de grafos. La abrumadora mayoría de empresas mexicanas realizan un casi nulo esfuerzo en inversión en I+D, con resultados magros en la generación de nuevos productos y procesos. Para estas empresas, la generación de nuevo conocimiento no forma parte de sus capacidades adquiridas. Dada esta característica y los escasos vínculos internos que permite el SNI mexicano, todo conocimiento requerido para su operación cotidiana, por más irrelevante que sea, (por ejemplo, la utilización de algún software poco especializado), provendrá del exterior. No solamente resultará más barato comprar que desarrollar, sino incluso comprarlo en el exterior que buscar proveedores locales.

No obstante, el tercer grupo de empresas contribuyen de manera significativa en el déficit de conocimiento constatado en el apartado anterior. Son empresas con altas tasas de innovación, pero con poco esfuerzo interno en actividades de I+D. Debido a que el desarrollo de nuevos productos y procesos requiere necesariamente la utilización intensiva de conocimiento, este grupo de empresas ha optado no solo por no desarrollarlo ellas mismas, sino también por obtenerlo fuera del sistema local. No fomentan interacciones virtuosas con proveedoras locales de conocimiento, más bien, licitan patentes externas para el desarrollo de sus actividades.

Como se ha mencionado, este sector se encuentra constituido por grandes empresas o conglomerados locales, que generalmente operan en mercados oligopólicos con pocos incentivos para la competencia vía la generación de conocimiento propio. El hecho de que este grupo de empresas genere grandes ganancias producto de una demanda cautiva y de que no establezcan vínculos de transferencia tecnológica con empresas locales, exhibe un fallo crucial del sistema de innovación: una incapacidad permanente de generar sinergias virtuosas entre empresas pequeñas y centros de investigación intensivos en conocimiento con las necesidades de la gran industria.

Ante la falta de los vínculos descritos anteriormente, el segundo grupo de empresas, aquellas con altas tasas de innovación consecuencia de un esfuerzo importante en actividades de I+D, no encuentran inventivos necesarios para establecer capacidades de transferencia tecnológica en el ámbito local. Estas empresas pueden explicar los escasos rubros superavitarios que tiene México en relación con la transferencia tecnológica con el resto del mundo. El escaso peso relativo de estas empresas en las variables descritas anteriormente demuestra que en México la trayectoria de desarrollo guiada por la innovación tecnológica se encuentra aún muy lejos de alcanzarse.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el Sistema Nacional de Innovación (SNI) de la economía mexicana es importador neto de conocimiento y tecnología de forma agregada; sin embargo, dentro de ella se exhiben distintos “estilos de innovación” a nivel meso económico. Por un lado, un conjunto de sectores bastante pequeños en términos de número de empresas, empleo y producción, pero que es altamente innovador y

tecnológicamente avanzado, tanto en la generación de conocimiento científico como de productos y servicios completamente nuevos para el mercado.

En el extremo opuesto, aproximadamente el 90% de las empresas que representan porcentajes similares de producción, empleo, inversión y otras variables, que mantienen inversiones en Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT), prácticamente nulas y como resultado de ello muy bajas tasas de innovación materializadas en ingresos.

En medio de ambos polos, se ubica una estrategia de innovación que si bien no invierte en IDT ni genera conocimiento, aprovecha la transferencia tecnológica del exterior y el conocimiento generado fuera del país para ser altamente innovador, además de poseer una alta habilidad para transformar esas innovaciones en su principal fuente de ingresos.

En términos de política pública esta falta de articulación entre las distintas estrategias de innovación permite extraer varias conclusiones. En primera instancia, el Estado mexicano debe incrementar los esfuerzos necesarios de vinculación entre los distintos tipos de clústeres con la finalidad de reducir la dependencia externa de conocimiento. Ello implica un compromiso explícito por establecer una política industrial con base en la generación de conocimiento, cuyo eje principal sea implementar una senda de desarrollo basada en la generación de innovación tecnológica en la que cada vez mayor número de empresas participen. Para ello, se pueden crear instituciones encargadas de establecer estructuras de incentivos para que actores privados (empresas) e institucionales (universidades y centros públicos de investigación) inviertan en generar conocimiento para reducir la transferencia de conocimiento externo.

Esto requiere el diseño de un marco institucional que provea los incentivos adecuados para fomentar la creación, transferencia y aprovechamiento de conocimiento local. Diversos programas concretos pueden ser implementados para el logro de este fin, tales como incentivos fiscales para aquellas empresas que generen conocimiento y/o aprovechen el conocimiento local para la creación de nuevas combinaciones, de manera destacada, en aquellos sectores del clúster 2.

Si bien, no existen “recetas” que puedan ser copiadas en contextos institucionales, geográficos, y con actores distintos de aquellos existentes en los espacios en los que tuvieron éxito, algunas lecciones pueden ser extraídas de políticas públicas que han mostrado ser exitosas en promover la generación de conocimiento, como es el caso de una mayor inversión en educación tecnológica y capacitación de trabajadores en los sectores específicos en los que la brecha con respecto a los líderes es menor (subsectores del clúster 2). Es ahí en donde el establecimiento de más y mejores vínculos de colaboración entre universidades y empresas del sector privado, se vuelve estratégico.

Algunas estrategias adicionales, tales como crear incentivos fiscales a aquellas empresas que demuestren ser más innovadoras o captar talento con orientación específica para la generación de conocimiento, pueden complementar lo anteriormente dicho.

Finalmente, es necesario el fortalecimiento del sistema educativo en todos sus niveles, pero principalmente en el apoyo decidido en la formación de especialistas formados en universidades y centros de investigación, por lo que es imprescindible un aumento sistemático y bien canalizado en el presupuesto destinado a la educación superior. Sin ello, es de esperarse que la dependencia de generación de conocimiento externo se acentúe, dada la velocidad de creación de nuevas tecnologías.

Es posible que las instituciones encargadas de promover y orientar el desarrollo de la innovación y los procesos que la detonan no sean suficientes, o no tenga la fuerza y atribuciones requeridas en su estado actual, por lo que en ese escenario se tendría que pensar en el desarrollo de instituciones adecuadas para tales fines, como sucedió en la caso de economías que buscaron generar crecimiento impulsado por la innovación en sectores estratégicos en el mediano plazo.

Sin estas medidas, es muy probable que la brecha de generación de conocimiento entre México y los países líderes siga ensanchándose, con consecuencias para el crecimiento económico de largo plazo, la generación de empleo y el intercambio deficitario de productos y servicios tecnológicos con el exterior.

REFERENCIAS

- Antonelli, C., (2008) *Localized Technological Change. Towards the economics of complexity*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203932001>
- Antonelli, C. (2014). La complejidad económica del conocimiento tecnológico, la innovación y el cambio estructural. En Barletta, F., Robert, V. and Yoguel, G. (Eds.) *Tópicos de la teoría evolucionista neoschumpeteriana de la innovación y el cambio tecnológico*.(Vol. 1). Miño y Dávila-Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires. ISBN 978-987-630-190-9. pp. 213-244.
- Asheim, B. T., Grillitsch, M., & Trippel, M. (2016). Regional innovation systems: Past–present–future. In *Handbook on the Geographies of Innovation*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781784710774.00010>
- Barletta, Pereira y Yoguel, 2013 De Schumpeter a los postschumpeterianos: viejas y nuevas dimensiones analíticas. *Problemas del Desarrollo*, 44(174), 35-59. [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(13\)71887-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(13)71887-X)
- Carbajal, Y. & Almonte, L. (2017). Manufacturing labor in the Central Region of Mexico. An estimation by great división. *Contaduría y Administración*. 62(3): 902-923 <https://doi.org/10.1016/j.cya.2017.05.004>
- Cardozo, O. D., Gómez, E. L., y Parras, M. A. (2009). Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte público de pasajeros en Resistencia (Argentina). *Revista Transporte y Territorio*, (1), 89-111. DOI: <https://doi.org/10.34096/rtt.i1.223>
- Chaminade, C., Lundvall, B. Å., & Haneef, S. (2018). *Advanced introduction to national innovation systems*. Edward Elgar Publishing.
- Cohen, Michael D. & Daniel A. Levinthal (1990) Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, No. 35, pp. 128-152. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Díaz, H. E., Morales, M. A., y Sandoval, S. (2020). Dinámica de la cadena global aeroespacial: un análisis de teoría de grafos. *Contaduría y administración*, 65(4), 1-24. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.2418>
- Dosi, Giovanni, Marco Faillo, & Luigi Marengo (2003) Organizational Capabilities, Patterns of Knowledge Accumulation and Governance Structures in Business Firms. An Introduction. *LEM, Working Paper Series*, num 11, Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa. <https://doi.org/10.1177/0170840608094775>
- Dosi, G., y Cimoli, M. (1994). De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación. *Comercio exterior*, 44(8), 669-82.
- Fagerberg, Jan (1987) “A technology gap approach to why growth rates differ”. *Research Policy*, No. 16, pp.87-99. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(87\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(87)90025-4)
- Fagerberg, Jan & Bart Verspagen. (2002) Technology-gapps, innovation-difusión and transformation: an evolutionary interpretation. *Research Policy*, No. 31, pp.1291-1304. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00064-1)
- Fagerberg, J., Lundvall, B. Å., & Srholec, M. (2018). Global value chains, national innovation systems and economic development. *The European Journal of Development Research*, 30, 533-556. <https://doi.org/10.1057/s41287-018-0147-2>
- Freeman Christopher (1987) *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*. London: Pinter.
- Harper, D. A. (2018). Innovation and institutions from the bottom up: an introduction. *Journal of Institutional Economics*, 14(6), 975-1001. <https://doi.org/10.1017/S174413741800019X>
- Helpman, E. (2007). *El misterio del crecimiento económico*. Antoni Bosch editor.

- Hsu, Y. S., Chen, Y. P., Chiang, F. F., & Shaffer, M. A. (2021). It takes two to tango: Knowledge transfer between expatriates and host country nationals. *Human Resource Management. Advancing Human Resource Research and Practice*. 61(2), 215-238. <https://doi.org/10.1002/hrm.22090>
- INEGI, (2017), Síntesis metodológica, Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico, INEGI, México, disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825109073>
- Isaksen, A., & Trippel, M. (2016). 4 path development in different regional innovation systems: A conceptual analysis. In M. Davide Parrilli, Rune Dahl Fitjar, Andrés Rodríguez-Pose (editors) *Innovation drivers and regional innovation strategies* (pp. 82-100). Routledge.
- Kim, Lou (1997) *Imitation to innovation. The dynamics of Korea's technological learning*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press. ISBN: 9780875845746.
- Lundvall, Bengt-Ake (Ed.) (1992) *National Systems of Innovations*. London: Pinter. ISBN: 9781783085965
- Lundvall, B. A., & Johnson, B. (1994). Sistemas nacionales de innovación y aprendizaje institucional. *Comercio exterior*, 44(8), 695-704.
- MacKay, D. J., & Mac Kay, D. J. (2003). *Information theory, inference and learning algorithms*. Cambridge university press.
- Mantzavinos, C., (2001) *Individuals, Institutions and Markets*. New York: Cambridge University Press.
- Marques, C., Braga, V., & Ratten, V. (2021). Technological transfer and spillovers within the RIS3 entrepreneurial ecosystems: a quadruple helix approach. *Knowledge Management Research & Practice*, 19(1), 127-136. <https://doi.org/10.1080/14778238.2020.1777909>
- Mazzucato, M., (2013) *The Entrepreneurial State. Debunking Public VS. Private sector Myths*. New York: Anthem Press. <https://doi.org/10.1428/76495>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press.
- Nelson, R, and S. Winter (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Nelson, R., Dosi, G., Helfat, C., Pyka, A., & Saviotti, P., (2018). *Modern evolutionary economics: An overview*. <https://doi.org/10.1017/9781108661928>
- Newman, M. (2018). *Networks*. Oxford University Press.
- North, D. C. (1994). El desempeño económico a lo largo del tiempo. *El Trimestre Económico*, 61(244 (4), 567-583. <https://www.jstor.org/stable/20856741>
- OECD/Eurostat (2018), *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition*, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- OECD (2015), *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
- OECD (2011) *Science, Technology and Industry Scoreboard*. París: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2011-en
- OECD (2010). *The OECD Innovation Strategy: Getting a Head Start on Tomorrow*. París: OECD Publishing. ISBN: 9789264084704.
- Pérez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185-202.
- Pérez, O., (2021). Innovation and technology transfer in enterprise sectors of Mexico. *TEC Empresarial*, 15(1), 20-35. <https://doi.org/10.18845/te.v15i1.5391>
- Pérez, O., (2019). Innovación y transferencia de tecnología en México. Un análisis empírico de datos panel. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(19). <https://doi.org/10.23913/ride.v10i19.503>

- Rigger, L., Meraz-Ruiz, L., y Olague, J. T. (2021). Investigación y desarrollo en Andalucía en el contexto español y europeo (2010-2017). *Investigación administrativa*, 50(128).
<https://doi.org/10.35426/iav50n128.10>
- Robledo-Giraldo, S., Duque-Méndez, N. y Zuluaga-Giraldo, J. I. (2013). Difusión de productos a través de redes sociales: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos. *Respuestas*, 18(2), 28-42. ISSN 0122-820X
- Rosenberg, N., (1982) *Inside the Black Box*. UK: Cambridge University Press.
- Solleiro, J. L., Castañón, R., y Martínez, L. E. (2020). Buenas prácticas de extensionismo y transferencia de tecnología-recomendaciones para el sistema de extensionismo agroalimentario mexicano. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 46, enero-junio, 508-522. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.303906>
- Schumpeter, J. A. (1939), *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. two volumes, New York: McGraw-Hill.
- Schumpeter, Joseph A. (1994). *Teoría del desenvolvimiento económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- UNCTAD, (2021), Informe sobre tecnología e información 2021, UNCTAD, ONU, ISBN: 978-92-1-113012-6
- Vromen, Jack. (2006) Organizational Routines and Individual Skills. Beyond Analogy. *Erasmus Institute for Philosophy and Economics, Working Papers*, (enero), pp. 1-18.
https://www.researchgate.net/profile/Jack-Vromen/publication/228909689_Organizational_routines_and_individual_skills_Beyond_analogy/links/0c960521b8cbae9a5e000000/Organizational-routines-and-individual-skills-Beyond-analogy.pdf
- Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>
- Watkins, A., Papaioannou, T., Mugwagwa, J., & Kale, D. (2015). National innovation systems and the intermediary role of industry associations in building institutional capacities for innovation in developing countries: A critical review of the literature. *Research Policy*, 44(8), 1407-1418.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.05.004>

ANEXO

Cuadro 7
Distribución de empresas, ingresos, empleo y activos por clúster

CLÚSTER	Distribución Empresas	Distribución Ingresos	Distribución Empleo	Inversión Total Activos Fijos
1	93.62%	88.71%	91.35%	91.90%
2	1.20%	0.47%	0.60%	0.33%
3	5.18%	10.83%	8.05%	7.77%
Total general	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Estimación propia con base en análisis de clúster, datos ESIDET

Cuadro 8
Distribución de gasto TIC, IDT e innovación por clúster

CLÚSTER	Gasto en TIC como % de la Inversión	Gasto en IDT como proporción de Ingresos	Porcentaje de ingresos totales obtenidos de la venta de productos de Innovación
1	5.6%	0.11%	17.7%
2	27.4%	1.26%	65.8%
3	7.7%	0.11%	75.1%
Total general	7.0%	0.17%	26.5%

Fuente: Estimación propia con base en análisis de clúster, datos ESIDET